

INDUSTRIALIZACIÓN 4.0 SOSTENIBLE DE LA EDIFICACIÓN MODULAR CON MADERA LOCAL: METODOLOGÍA BIM Y DFMA

J. M. Caamaño González ^{1,2}, J. M. Nantón Varela ²

¹ COATAC (Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de A Coruña), A Coruña, España

² Grupo Malasa, Cerceda, España

RESUMEN

El sector de la edificación atraviesa una coyuntura crítica definida por la escasez de mano de obra especializada, la necesidad de reducir la incertidumbre en costes y plazos, y la urgencia de descarbonizar el parque inmobiliario. En este contexto, la construcción industrializada (offsite) en madera se consolida como la respuesta tecnológica y sostenible más eficaz. Esta comunicación presenta el caso de éxito de Grupo Malasa y su apuesta estratégica por la fabricación de viviendas modulares en sus instalaciones de Cerceda (Galicia), respaldada por una gran inversión económica en tecnología de vanguardia tanto de producción como de diseño, gracias a la metodología BIM.

Desde una doble perspectiva, como Arquitecto Técnico y BIM Manager, se expondrá cómo la metodología BIM actúa como el "sistema operativo" de la industrialización. Se detallará el flujo de trabajo implementado, basado en el Diseño para la Fabricación y el Ensamblaje (DfMA), que permite conectar directamente el modelo digital con la maquinaria de control numérico (CNC) y corte automatizado en Madera Contralaminada (CLT - Cross Laminated Timber) y Entramado Ligero (Light Wood Frame). Facilitando la trazabilidad de cada pieza producida y que compone el proyecto. Se analizará el uso del BIM no solo para el diseño geométrico, sino para la planificación de tiempos (4D), el control de costes (5D) y la gestión de la sostenibilidad (6D), optimizando el análisis y control de cada fase del ciclo de vida. Con el objetivo de monitorizar la huella de carbono para su reducción e inclusión en la economía circular.

Se presentarán los resultados obtenidos en la ejecución de proyectos recientes, destacando la reducción drástica de los tiempos de entrega y la eliminación de residuos en obra. Se pondrá en valor el uso de madera de proximidad de Galicia como recurso estratégico que impulsa la economía local. Asimismo, se demostrará cómo la fabricación en un entorno controlado permite alcanzar con rigor las exigencias de hermeticidad y aislamiento del estándar Passivhaus, garantizando una calidad constructiva superior a la obra tradicional.

El Rol del Arquitecto Técnico en la Era de la Industrialización y transformación tecnológica del sector conlleva una redefinición profunda de las competencias y responsabilidades del Arquitecto Técnico. La figura tradicional del "Aparejador" a pie de obra, centrada en la vigilancia de la ejecución material de procesos artesanales, evoluciona hacia un perfil de Ingeniero de Procesos de Edificación y Gestor de Activos Digitales. Pasando del Control de Ejecución al Control de Producción Industrial mediante la

Gestión de la Cadena de Suministro, el Control de Calidad Metrológico y la Seguridad y Salud Industrial. Desarrollando nuevas Competencias Digitales (como el rol del BIM Manager con formación en ejecución de obra) que aúna gestión de Datos y coordinación Interdisciplinar.

El caso de Grupo Malasa evidencia que la combinación de tecnología BIM, inversión en vanguardia y materiales sostenibles locales no solo es viable, sino que constituye una oportunidad única para que el Arquitecto Técnico lidere la transformación del sector hacia un modelo más eficiente, preciso y respetuoso con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: industrialización, bim, madera, sostenibilidad, arquitecto técnico.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación se encuentra en un punto de inflexión insoslayable. Tradicionalmente caracterizado por procesos artesanales in-situ, el sector se enfrenta hoy a una triple crisis: la acuciante escasez de mano de obra cualificada, la constante incertidumbre en el control de plazos y costes, y la necesidad urgente de descarbonizar una industria responsable de casi el 40% de las emisiones globales de CO₂. En este escenario, la continuidad del modelo de construcción convencional resulta técnica y económicamente inviable a largo plazo, haciendo imperativa la transición hacia un modelo de producción basado en la Industrialización 4.0. Este cambio de paradigma sistémico exige replantear no solo los métodos constructivos, sino también el rol de los profesionales implicados, donde el Arquitecto Técnico evoluciona desde la vigilancia de la ejecución a pie de obra hacia la figura de un ingeniero de procesos y gestor de activos digitales.

Para este doble reto, la construcción industrializada (off-site) en madera estructural es la solución óptima. El entramado ligero invierte el proceso: el gemelo digital anticipa cualquier error para garantizar una ejecución milimétrica en fábrica. Aquí, Galicia [1] lidera la transición al aportar el 50% de la madera nacional, elevando el pino local a material de ingeniería con baja huella de carbono.

Pero industrializar exige un ecosistema digital sólido, no solo trasladar oficios a una nave. La integración BIM [2] y DfMA [3] es el verdadero motor. El DfMA concibe el edificio como producto manufacturable desde fases tempranas, no solo como un diseño arquitectónico, sino como un producto manufacturable y ensamblable. Mientras que el modelo BIM garantiza la trazabilidad total en sus dimensiones 4D, 5D y 6D.

Para ilustrar empíricamente esta metodología, este artículo analiza desde la perspectiva de la arquitectura técnica el objetivo principal del caso de estudio "Taller de Artistas", un complejo fabricado por Grupo Malasa en sus instalaciones de Cerceda (Galicia) que partió de un concepto arquitectónico y requirió el esbozo completo de base a nivel de procesos (como descomponer el proyecto para su producción) y procedimientos para llevar a cabo la logística de diseño de fabricación, transporte y ensamblado eficiente. Reduciendo los tiempos a través de la eficiencia en el uso de los recursos humanos y materiales. Exponiendo el objetivo principal del proyecto: industrializar los máximos procesos en la transición de la obra tradicional a procesos modulares off-site, sustentados en BIM y DfMA. Mostrando como impacta directamente en la eficiencia del ciclo de vida del proyecto. Mediante el análisis y de datos operativos reales, se busca demostrar cómo estos sistemas constructivos garantizan de forma sistemática altos estándares de eficiencia energética (tipo Passivhaus),

reduciendo drásticamente los plazos de ejecución respecto a la obra convencional y asegura un control de calidad y residuos inalcanzable en la construcción in-situ.

2. METODOLOGÍA

El proyecto “Taller de Artistas” fue concebido arquitectónicamente como un edificio a producir de la manera más eficiente posible con la madera como material principal. El proyecto arquitectónico tradicional se parametriza y descompone en unidades transportables: las paredes pasan a ser piezas ensambladas y el edificio, una secuencia logística. En este modelo, la precisión sustituye a la improvisación para evitar fracasos financieros. A esto se le denomina industrialización 4.0 [4], y exige el Design Freeze (congelamiento del diseño) antes de iniciar la obra.

El proyecto constaba de dos volúmenes (uno a dos aguas y dos plantas; otro de planta baja a un agua) unidos por un paso de cubierta plana. La estructura se concibió libre de elementos internos, confiando su carga a una envolvente de entramado ligero. El objetivo de esta comunicación es mostrar cómo se abordó el proyecto con premisas de industrialización y los nuevos procesos implantados; y cómo, partiendo de estas ideas, se procedió a diseñar las soluciones constructivas (piezas y ensamblajes) para aunar la eficiencia en la producción, transporte y montaje. Esto requirió desarrollar un sistema de pórticos, paneles y acabados (listones verticales) de manera paramétrica mediante metodología BIM, eliminando incertidumbres y reduciendo tiempos de montaje. Asimismo, facilitó la trazabilidad integral en las fases de diseño para fabricación y ensamblaje, monitoreo logístico, planificación (tareas de producción, transporte y ejecución), control económico y los objetivos medioambientales (reduciendo plazos y huella de carbono).



Figura 1. Fotos de proyecto: **(a)** Estructura. **(b)** Cerramiento. **(c)** Resultado. **Fuente:** Elaboración Propia

2.1. Diseño para la Fabricación (DfMA)

El DfMA es clave para conectar arquitectura y fabricación estandarizando soluciones. Diseña el edificio y su montaje para minimizar el trabajo in-situ, riesgos e impacto ambiental, reduciendo las piezas y uniones. Equilibrando viabilidad, estructura y manipulación. Esta estandarización nunca limita el diseño; genera economías de escala repitiendo componentes técnicos optimizados.

La eficiencia de la industrialización 4.0 [5] depende del trabajo trasladado a fábrica, definiendo cuatro niveles: Panel Abierto (solo estructura), Panel Cerrado (con instalaciones), Panel Terminado (revestido y hermético) y Módulo 3D (unidades completas). Este proyecto optimizó logística en el primer nivel, utilizando madera de pino gallego para simplificar estructura y envolvente en cuatro elementos estandarizados. Para poder lograr el denominado sistema de entramado ligero. En la siguiente tabla se recogen los cuatro tipos de piezas desarrollados, secciones y funciones:

Tabla 1. Elementos constructivos empleados

	Sección	Uso
Viga	225 x 75 mm	Sistema estructural de pórticos. Elementos verticales y de cerchas.
Rastrel	68 x 30 mm	Arriostado de pórticos.
Marco	330 x 30 mm	Marcos de carpinterías (puertas y ventanas).
Tablero	1000 x 1000 mm	Formación de fachadas y cubiertas.

Este sistema se basa en una red de elementos lineales de madera de pequeña sección (pies derechos y soleras) arriostados por rastreles y tableros estructurales (OSB o contrachapado). Lo que destacar por la ventaja de su ligereza para manipulación por parte de los usuarios. Reduciendo los equipos humanos y los medios auxiliares. Lo que, sumado a la industrialización [6] en los procesos de producción, ha colaborado a reducir los costes económicos globales frente a sistemas tradicionales.

El proyecto requirió diseñar y producir 48 pórticos para unificar cubierta, envolvente y estructura en solo tres variantes volumétricas. Con tan solo 6 tipos de vigas de sección única, adaptadas a los huecos de carpintería. Lo que simplificó enormemente la fabricación y montaje. Bajo este sistema, las variaciones se reducen exclusivamente a los huecos de carpintería sin alterar la base constructiva.

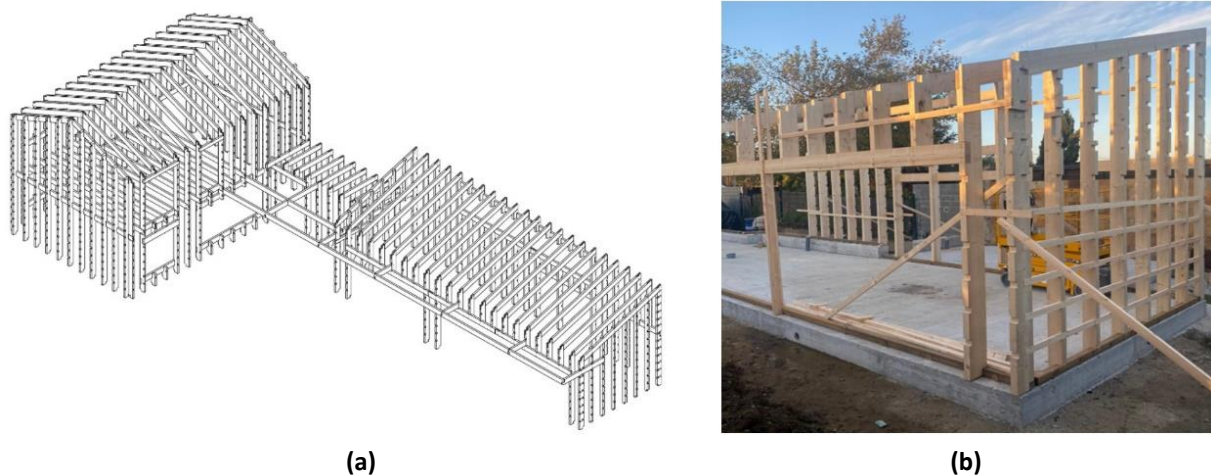


Figura 2. Fotos de proyecto: **(a)** Despiece de pórticos. **(b)** Proceso de montaje. **Fuente:** Elaboración Propia

Esto ha sido posible gracias al uso de varias de las dimensiones de la metodología BIM, que ayudó a mantener un fuerte control en aspectos económicos, desarrollo de las soluciones constructivas, planificación de transporte y ensamblaje. Simultáneamente, generado datos para el cálculo empírico del control de la sostenibilidad (volumen de madera preciso, cálculo de CO₂), estimación de consumos energéticos de los procesos de producción y del propio proyecto arquitectónico durante su uso.

2.2. Integración BIM (3D, 4D, 5D, 6D) para el control y producción eficiente

El uso de BIM [7] en diseño ha permitido la creación de un gemelo digital preciso, transformando la construcción tradicional en un proceso industrializado y predictivo centrado en tres objetivos: diseño y cuantificación de materiales, proceso logístico y montaje; y control de la sostenibilidad. Esto permitió de manera colaborativa para el equipo interviniente simplificar secciones y uniones, facilitando el diseño de ejecución y generando vistas exactas para el montaje (qué pieza, qué orientación y en qué pórtico); monitorear los tiempos y costes de producción on-site y off-site (el control económico o BIM 5D unifica todos los gastos logísticos y operativos directamente a los equipos CNC [8] para evitar sobrecostes y afinar al máximo la rentabilidad); y garantizar el cumplimiento de criterios sostenibles tanto en el proceso productivo como en la vida útil del edificio. Reduciendo desperdicios y monitorizando la huella de carbono para aprovechar al cien por cien el potencial de la madera como sumidero de CO₂.

2.2.1. BIM para el diseño paramétrico

El modelado 3D simplificó enormemente los procesos tradicionales de ejecución manual a determinar digitalmente las variables de longitud de las vigas de madera, y puntos de unión entre elementos. Las ventajas observadas se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Elementos constructivos empleados

	Descripción Técnica	Impacto en el Proyecto
Dimensiones de Paneles	Ajuste a las mesas de fabricación y límites de transporte vial.	Optimización del uso de material y reducción de residuos.
Soluciones Constructivas	Uso de escuadrías y distanciadores estandarizados para pies derechos y vigas y colocación de rastreles	Rapidez en la programación de maquinaria CNC.
Conexiones	Estandarización de herrajes, tornillería y sistemas de izaje de los elementos ensamblados	Seguridad en el montaje y reducción de tiempos de grúa.

Además de integrar estructura y envolvente en un diseño estandarizado mediante la simplificación de los elementos necesarios, se ha desarrollado cuidadosamente la unión y el encaje interno de cada componente para facilitar tanto su producción en fábrica como el montaje en obra. Se ha reducido a solo seis los tipos de encuentros principales requeridos dentro de tres grupos (uniones de pórtico, arriostramientos y huecos de carpintería), lo que disminuye significativamente la incertidumbre sobre su comportamiento y permite maximizar el control de calidad durante el desarrollo de cada pieza.

A medida que se avanzaba en el proceso de diseño paramétrico, se facilitaba cada nuevo pórtico que se diseñaba, al poder reutilizar las soluciones previamente generadas. Esto justifica de por sí las ventajas de trabajo bajo esta metodología, al seleccionar rápidamente de la biblioteca creada el encuentro más eficiente constructivamente, apoyado en la experiencia previamente obtenida. La simplificación del sistema agiliza la fabricación y el montaje al eliminar incertidumbres. Un control crítico de la materia prima en fases iniciales permite contabilizar con precisión total los elementos de unión (clavos, tornillos y placas), anticipando el proceso de ensamble y reduciendo drásticamente los desperdicios de recortes de madera [9].

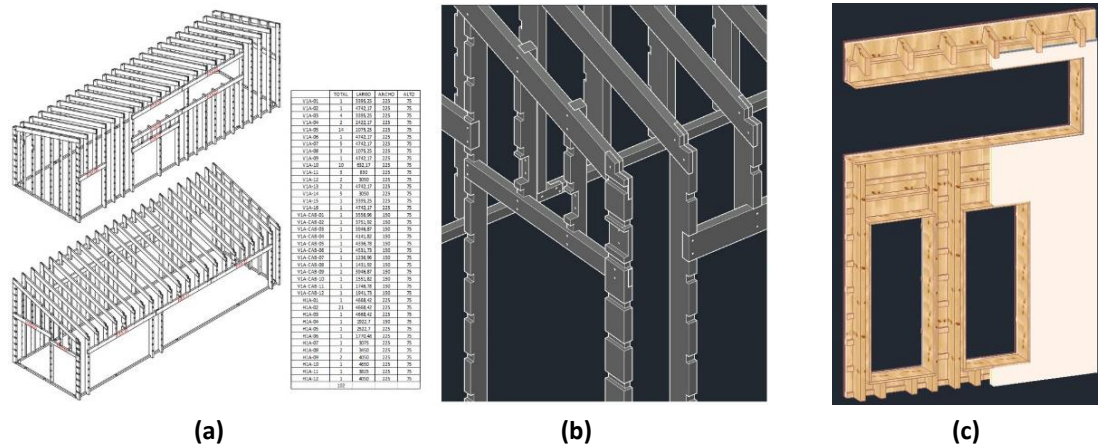


Figura 3. Fotos de modelado: **(a)** Perspectiva y recuento de elementos. **(b)** Control paramétrico de encuentros. **(c)** Detalle sección parcial de elementos de cierre. **Fuente:** Elaboración Propia

Este proceso ha resultado una innovación a nivel interno debido a abordar de una manera completamente diferente un proyecto arquitectónico completo. Permitiendo tomar decisiones de productividad y asignación de recursos en fases previas a la obra. Pasando de procesos pasivos (envío de material y adaptación insitu) al prediseño y envío preciso de lo requerido. Permitiendo tanto el control de materiales como la medición exhaustiva del impacto medioambiental. Pudiéndose observar la semejanza precisa entre la Figura 3 y 4 de lo diseñado y lo producido.

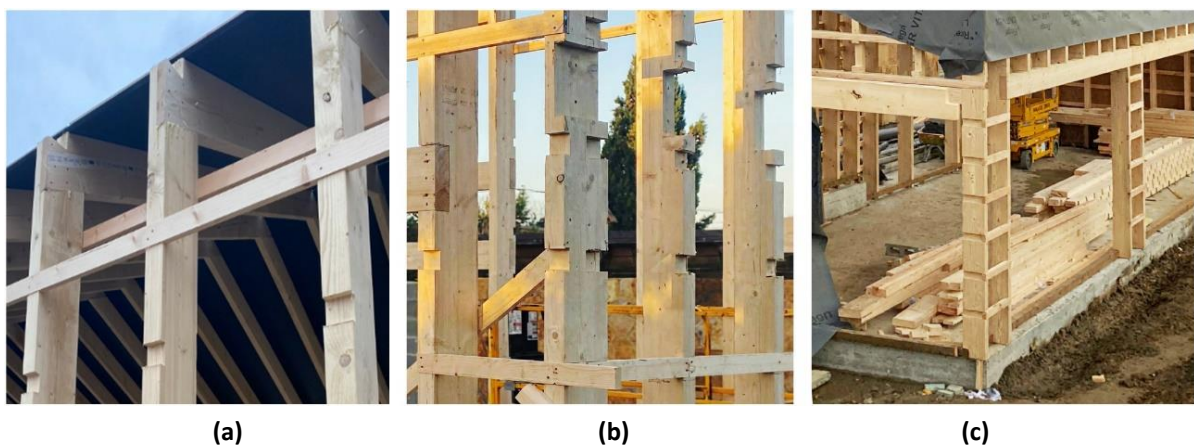


Figura 4. Fotos de ejecución: **(a)** Detalle de encuentro en cubierta. **(b)** Detalle de encuentros. **(c)** Acopio de las diferentes piezas de montaje. **Fuente:** Elaboración Propia

Poder diseñar bajo este entorno ha permitido el monitoreo en tiempo real de las cantidades de materias requeridas, así como estimar el tiempo requerido de producción de cada una de estas piezas. Esto ha facilitado enormemente la planificación de stock para requerimientos logísticos y el control de costes interno y presupuestario. A mayores, al contar con actualizaciones automáticas durante el modelado, se ha podido monitorear los requisitos medioambientales de la propia madera, minimizando los desperdicios al diseñar no solo el proyecto, sino, el aprovechamiento en fábrica de las materias primas. Esto arroja los datos globales recogidos en la tabla del proyecto respecto a la madera empleada:

Tabla 3. Elementos constructivos empleados

	Elementos (Ud)	Volumen (m ³)	Longitud (m)	% del Volumen Total
Zona 2 Aguas (Nave Principal)	121	8,09	480,80	55,00%
Zona 1 Agua (Volumen Anexo)	113	5,48	337,7	37,40%
Zona Techo Recto (Conector)	27	1,12	66,4	7,60%
TOTAL	261	14,7	884,9	100%

2.2.2. BIM para el proceso de montaje y logística

El modelo generado ha permitido planificar la ejecución de forma gradual al definir cada pórtico y sus componentes de manera independiente, de manera secuencial a lo planificado para la ejecución. Simultáneamente, ayudó a optimizar la logística de envío de material a obra y los equipos de montaje. Maximizando los tiempos eficientes de estas tareas. Esto se traduce a nivel corporativo en un nuevo nivel de coordinación exhaustivo entre oficina técnica, fábrica y logística, ajustada a las necesidades reales de montaje, evitando el acopio innecesario de material en la obra y protegiendo sus propiedades técnicas.

Ayudando a minimizar el stock manufacturado y optimiza el transporte. El resultado es un proceso constructivo altamente eficiente que reduce costes al eliminar tiempos muertos entre la fabricación, el transporte y la ejecución final.

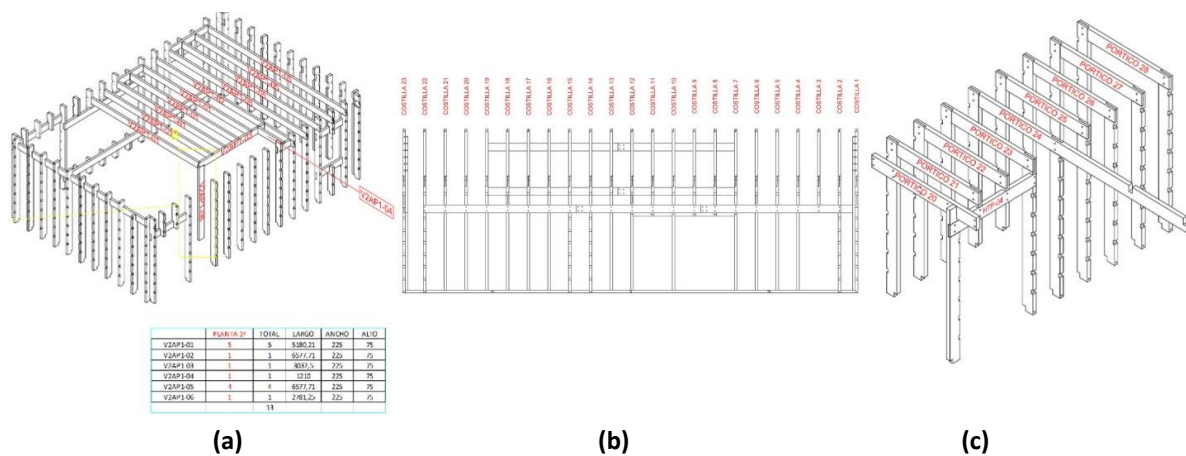


Figura 5. Capturas del gemelo digital **(a)** Definición de elementos y tabla. **(b)** Numeración de los diferentes pórticos. **(c)** Detalle de pórticos de cubierta plana. **Fuente:** Elaboración Propia

El transporte conecta la ingeniería digital con el territorio; ignorar sus límites (puentes, giros, pendientes) dispara los costes. En Galicia y Europa, las dimensiones máximas sin escolta (2,60 m de ancho y 4,20 m de alto) han sido determinantes para definir el diseño modular y el nivel de acabado de este proyecto. La logística se basa en el modelo Just-in-Time: el plan de carga del camión sigue el orden inverso al montaje. Esto evita manipulaciones innecesarias en obra, protege las piezas y garantiza una ejecución directa y eficiente.



Figura 6. Fotos de ejecución: **(a)** Estado inicial de acopio. **(b)** Ejecución de pórtico. **(c)** avance de ejecución.

Fuente: Elaboración Propia

Por todo ello, ha sido necesario implementar en los procesos de desarrollo un apartado específico (una tarea específica) que se encargue de analizar los posibles riesgos y limitaciones entre fábrica y lugar de destino del proyecto. Requiriendo realizar un análisis previo obligatorio de todo el recorrido y limitar la modulación dimensiones de las piezas de mayor tamaño del presente y futuros proyectos a estos condicionantes.

En el caso que nos atañe, al simplificar el proyecto en piezas longitudinales, el impacto de esta consecuencia ha sido mínimo, adaptándose a los volúmenes de carga de camiones de capacidad volumétrica media. Eliminando la necesidad de transportes especiales o permisos de circulación específicos.

2.2.3. BIM como control de la sostenibilidad

La integración de la dimensión BIM 6D trasciende la representación geométrica, erigiéndose como una auditoría ambiental paramétrica para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) al permitir el cálculo del carbono biogénico embebido [10]. A partir del modelo, se ha cuantificado un volumen exacto de 14,70 m³ de madera estructural de pino gallego. Considerando su capacidad biogénica, estas especies secuestran aproximadamente 1 t CO₂ eq/m³. En consecuencia, la estructura opera como un sumidero de carbono que encapsula 14,7 toneladas de CO₂ equivalente, métrica que neutraliza un impacto comparable a 120.000 km recorridos por un vehículo de combustión. Asimismo, el enfoque constructivo "en seco" minimiza drásticamente la huella hídrica inherente a los fraguados de la obra tradicional, un indicador crítico para alcanzar certificaciones como BREEAM, LEED o Passivhaus. Incluso geométricamente, definir áreas de la envolvente compacidad térmica y métricas exactas de puentes térmicos. Además, integra metadatos clave como transmitancias (valores U), Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) y trazabilidad de origen, garantizando un respaldo auditable indispensable para validar la eficiencia energética y circular

Por otro lado, la sinergia BIM-DfMA revoluciona la cadena de suministro. La cubicación digital precisa permite optimizar la estiba mediante empaquetado de alta densidad (flat-pack), ajustándose estrictamente a las tolerancias de los gálibos de transporte. Dado que los 14,70 m³ presentan una masa de apenas 7,5 toneladas, la totalidad de la estructura se moviliza en portes mínimos mediante tráiler estándar. Este flujo Just-in-Time contrasta radicalmente con la ineficiencia in-situ, caracterizada por el aprovisionamiento fragmentado de materiales pesados. Se estima que esta consolidación logística mitiga la emisión de más de 1,1 toneladas adicionales de CO₂ derivadas exclusivamente del transporte.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El enfoque de industrialización adoptado ha permitido reducir los tiempos de ejecución frente a la construcción tradicional. Minimizando costes financieros, mano de obra y desperdicios, gracias a un control de producción y ensamblaje sin precedentes. Donde la clave es el solapamiento de tareas. mientras se realiza la cimentación in-site, la planta fabrica las piezas off-site. Minimizando la intervención manual y optimizando la entrega, beneficiando a constructora y cliente. En base a la experiencia previa corporativa en proyectos similares, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 4. Elementos constructivos empleados

	Construcción Tradicional	Industrialización 4.0	Mejora Estimada
Diseño	15% del tiempo total.	40% del tiempo total.	Mayor inversión inicial en calidad y control.
Estructura	Secuencial. Post cimentación.	Paralela. En fábrica.	Reducción del 50% del plazo de ejecución.
Acabados	Crítica. Interferencias.	Integrada.	Coordinación de errores antes de ejecución.
Residuos	~34% del material	< 5% del material.	Mejora drástica en sostenibilidad.

De manera global, es apreciable un control en áreas clave de los procesos constructivos: control, tiempo, desperdicios y calidad. El aumento del nivel de acabado es parejo a la reducción de estos aspectos clave, lo que permite dar respuesta a la coyuntura actual de escasez de mano de obra, edificaciones residenciales y costes globales de ejecución. A través del modelo BIM, se han cuantificado 48 pórticos estructurales compuestos por 261 elementos (884,91 metros lineales). El volumen total de 14,70 m³ de madera técnica es el dato maestro para la logística, la carga de fuego y la masa térmica del edificio.

La estrategia de Diseño para la Manufactura y el Ensamblaje (DfMA) destaca por su alta estandarización: el 93,8% de las piezas (245 Ud.) comparten una sección única de 225 x 75 mm. Esta uniformidad optimiza el corte por CNC, minimiza mermas, simplifica el stock y elimina errores en el montaje al unificar componentes y uniones. La distribución de la masa maderera no es uniforme, sino que responde a las exigencias geométricas y de carga específicas de cada zona funcional. La Nave Principal, resuelta con una cubierta a dos aguas, representa la mayor densidad constructiva, aglutinando el 47,5% del volumen total. La variabilidad dimensional en los cabios de esta zona denota una adaptación precisa a la geometría de la cubierta. Por su parte, el volumen anexo de cubierta a un agua se resuelve mediante una seriación de pórticos que permite una transmisión de cargas regular.

Las zonas de transición, entreplantas y estructuras exteriores completan la articulación del conjunto, tal como se detalla en el desglose por zonas.



Figura 7. Resultados: **(a)** Vista aérea de la cubierta. **(b)** Vista general de cuerpos a dos y un agua. **(c)** Detalle de volumen intermedio. **Fuente:** Elaboración Propia

Frente al mito de la corta vida útil, este proyecto demuestra que el entramado ligero supera los 85 años de durabilidad sin intervenciones estructurales mayores, gracias a tres "Líneas de Defensa": Diseño (Alejar la madera del agua mediante aleros generosos y zócalos altos, Envoltorio (Hermeticidad) con barreras que permiten la difusión de vapor, y Mantenimiento (protocolos preventivos basados en la documentación As-Built digital (BIM) entregada al usuario).

4. CONCLUSIONES

La transformación hacia la industrialización 4.0 sostenible de la edificación modular en madera representa el hito más relevante para el Arquitecto Técnico en las últimas décadas. Y este proyecto ha permitido aprender respecto a las tareas tradicionales ligadas a la carpintería de madera. A través del análisis de este proyecto realizado y la revisión de lo aprendido, se extraen las siguientes conclusiones fundamentales:

- **Nuevo Perfil Técnico:** El Arquitecto Técnico evoluciona de supervisor de obra a ingeniero de procesos digitales, con el dominio de BIM y DfMA como competencia crítica.
- **Calidad Sistémica:** La fabricación off-site elimina la aleatoriedad, permitiendo alcanzar estándares Passivhaus de forma sistemática y garantizando el confort del usuario.
- **Soberanía Material:** La madera local de Galicia es la única tecnología rentable para la descarbonización. El entramado ligero transforma el recurso forestal en un activo de ingeniería.
- **Logística como Diseño:** El transporte y el izaje son ahora variables de diseño obligatorias; un proyecto industrializado solo es viable si es transportable.
- **Ciclo de Vida:** El modelo digital actúa como un manual dinámico que asegura una vida útil de más de 80 años con costes mínimos de mantenimiento.
- **Realidad Operativa:** La Industrialización 4.0 es la respuesta necesaria a un mercado que ya no tolera las ineficiencias, retrasos y desperdicios de la construcción tradicional.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia Gallega de la Industria Forestal, "Guía para el fomento de la madera en la contratación pública de edificaciones sostenibles", Centro de innovación y servicios tecnológicos de la madera de Galicia, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, España, noviembre 2023.
- [2] M. Epelde Merino, ARIC-Clúster Construcción La Rioja, "No solo bim: introducción de nuevas tecnologías para avanzar hacia la industrialización y sostenibilidad de la construcción", CONTART 2024, Ibiza, España, 2024.
- [3] M. Golański, J Juchimiuk, A. Podlasek, A. Starzyk, "Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) in Timber Construction: Advancing Energy Efficiency and Climate Neutrality in the Built Environment", *Energies* 2025, 18(23), 6332, 2025.
- [4] Agencia Gallega de la Industria Forestal, "Soluciones innovadoras en madera estructural", Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, España, 2022.
- [5] F. Lorca, *Guía de diseño e industrialización en madera*, Primera edición, Santiago de Chile, Centro de Innovación en Madera UC, CIM UC, junio 2024.
- [6] Asociación Española de Construcción Industrializada, *Guía de edificación industrializada*, Madrid, España: noviembre 2023.
- [7] R. Bastida Vialcanet, F. Piqué Anguera, *Impactos de la construcción industrializada desde una triple perspectiva: económica, medioambiental y social*, Cátedra de vivienda digna y sostenible, Barcelona School of management, Barcelona, abril 2025.
- [8] S. Muñiz, E. Mosquera y A. Corral, "Construcción de una vivienda de madera con el sistema UBUILD", *Informes de la construcción*, Vol. 74, Nº. 565 (enero-marzo), 2022.
- [9] M. Jesús Rodríguez de Sancho, "En madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI", Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid 2023.
- [10] J. Bugarin, E. Correal, C. Ferrer, V. Guallart, G. Guerra, D. Ibañez, I. Jimeno, F. Riola, E. Rojas, M. Salka, A. Santana, "Informe 2025 sobre la construcción con madera masiva", Mass Madera, Built by nature, Madrid, Informe, 2025.