



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Optimización de tiempos en la planificación de proyectos y
obras de arquitectura con BIM

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Tomás Fito, Daniel

Tutor/a: Juan Vidal, Francisco

Cotutor/a: Cerdá Pérez, Manuel

Cotutor/a externo: MARTINEZ GOMEZ, DAVID CARLOS

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura (Valencia)
Curso 2022-2023

“OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS EN LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS Y OBRAS DE ARQUITECTURA CON BIM”

Autor: Daniel Tomás Fito
Tutor: Francisco Juan Vidal
Co-Tutor: Manuel Cerdá Pérez

INDICE

- 1- Introducción:
 - 1.1-Justificación de la elección del tema
 - 1.2-Objetivos de trabajo
 - 1.3-Metodología

- 2- Fundamentos teóricos:
 - 2.1-Conceptos básicos de BIM y su evolución
 - 2.2-Introducción a la planificación de proyectos en 4D
 - 2.3-Beneficios del Uso de BIM y la planificación 4D
 - 2.4-Limitaciones del Uso de BIM y la planificación 4D

- 3- Desarrollo del tema:
 - 3.1-Estudio de caso: Proyecto para el desarrollo de la planificación
 - 3.2-Etapas de la planificación en 4D
 - 3.3-Herramientas de software utilizadas en la planificación de proyectos BIM en 4D
 - 3.4-Desarrollo de la planificación en 4D

- 4- Análisis y discusión:
 - 4.1-Evaluación de la eficacia de la planificación en 4D en proyectos de construcción
 - 4.2-Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

- 5- Mejora del proceso:
 - 5.1-Aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la planificación en 4D
 - 5.2-Inclusión de la inteligencia artificial en el proceso de planificación en 4D

- 6- Conclusiones y recomendaciones:
 - 6.1-Resumen de las principales conclusiones del trabajo
 - 6.2-Recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras en el proceso de planificación en 4D con BIM
 - 6.3-Reflexión sobre la importancia del uso de BIM y la planificación en 4D

- 7- Bibliografía y Referencias

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

La sociedad actual tiende a digitalizarse y desarrollarse tecnológicamente, en especial, en la gestión y tratamiento de la información.

La arquitectura y la construcción tienen una enorme importancia social y económica en el mundo. Sin embargo, en los últimos años no se han incluido grandes avances, siendo una de las industrias con menor índice de competitividad y productividad.

Desde hace unos años, la tecnología BIM se ha convertido en una herramienta esencial en la industria de la construcción, ya que permite la creación de modelos digitales en 3D que incluyen información detallada sobre el edificio. No obstante, el uso de BIM aún no está completamente extendido en la industria y existen muchos desafíos que afrontar en su implementación.

Uno de estos desafíos es la planificación del proyecto en BIM en 4D, lo que implica la incorporación del factor tiempo en la planificación y gestión del proyecto. Este enfoque puede ayudar a mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la industria de la construcción, reduciendo los costes, los tiempos de construcción y mejorando la calidad del proyecto.

Es un proyecto interdisciplinar que implica la colaboración entre diversos profesionales. Esto tiene como resultado el trabajo en equipo y, por tanto, una buena comunicación y cooperación entre las distintas disciplinas implicadas

1.2. Objetivo

El objetivo principal es incorporar el potencial de los modelos BIM para optimizar los tiempos en la planificación y ejecución del proyecto, incluyendo información relativa a las fases de colocación a los distintos elementos y generando una relación entre las tareas previstas.

Para ello, se ha estructurado el trabajo en varias partes. En primer lugar, se desarrollarán fundamentos teóricos sobre la metodología BIM, tanto la evolución como la introducción de la planificación en proyectos de construcción. Además, se expondrá la importancia de la planificación de un proyecto atendiendo al éxito del proyecto, y a los beneficios y limitaciones del uso de esta metodología.

En segundo lugar, se desarrollará el tema a partir del análisis de la planificación de proyectos BIM de estándar abierto IFC en 4D, de sus diferentes etapas, herramientas software y el estudio del caso de un proyecto implementando esta metodología.

Por último, se analizará la eficacia de la planificación en el proyecto y las diferentes ventajas que supone el empleo de la planificación del proyecto en BIM con el estándar abierto IFC. Asimismo, se propondrán diversas mejoras en el proceso, como por ejemplo, la implementación de la inteligencia artificial en el desarrollo del proceso.

1.3. Metodología

El formato IFC (2x3 / 4) dispone de una estructura específica para incorporar los parámetros de planificación. Para poder incorporar esta información correctamente, será necesario establecer una relación entre los IFC y la planificación, agrupando elementos por tareas y organizándolos según los plazos previstos.

Así, durante el proceso será necesario desvincular la planificación del presupuesto, que ha sido la base de la planificación tradicionalmente, y asociar las tareas y procesos directamente a los elementos del modelo.

Sin embargo, en el proceso de exportación se produce, generalmente, cierta pérdida de información relativa a niveles, GUID, etc. que será imprescindible analizar con el fin de mejorarla.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Conceptos básicos de BIM y su evolución

BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo que utiliza modelos digitales en 3D para la fase de proyecto y gestión de información de un edificio. Los modelos BIM contienen información detallada sobre la geometría, la estructura, los materiales, los sistemas y los procesos de construcción de un edificio. Estos datos se almacenan en un modelo centralizado y compartido por todos los miembros del equipo involucrados en el proyecto, lo que permite una colaboración más eficiente y una mejor toma de decisiones en todas las etapas del proyecto.

La evolución del BIM ha tenido un crecimiento exponencial y ha sido impulsada por el desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Los conceptos básicos del BIM se remontan a la década de 1970, cuando se desarrollaron los primeros programas de diseño asistido por ordenador (CAD) para la industria de la construcción. Sin embargo, el verdadero impulso del BIM se produjo a finales de la década de los años 90, con la creciente disponibilidad de software y herramientas de modelado 3D más avanzadas.

En la actualidad, BIM ha evolucionado hacia una metodología de trabajo más completa e integrada que abarca todas las fases del ciclo de vida de un edificio, siendo su finalidad mejorar los tiempos, desde el diseño hasta la construcción, la operación y el mantenimiento. La última evolución del BIM se centra en la incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial y la realidad aumentada para perfeccionar, aún más, la eficiencia y el proceso de construcción.

Lo que resulta realmente novedoso es que a este modelo 3D se le añaden nuevas dimensiones como la del tiempo, el coste, el análisis de la sostenibilidad y la gestión del ciclo de vida, generando un modelo completo de información.

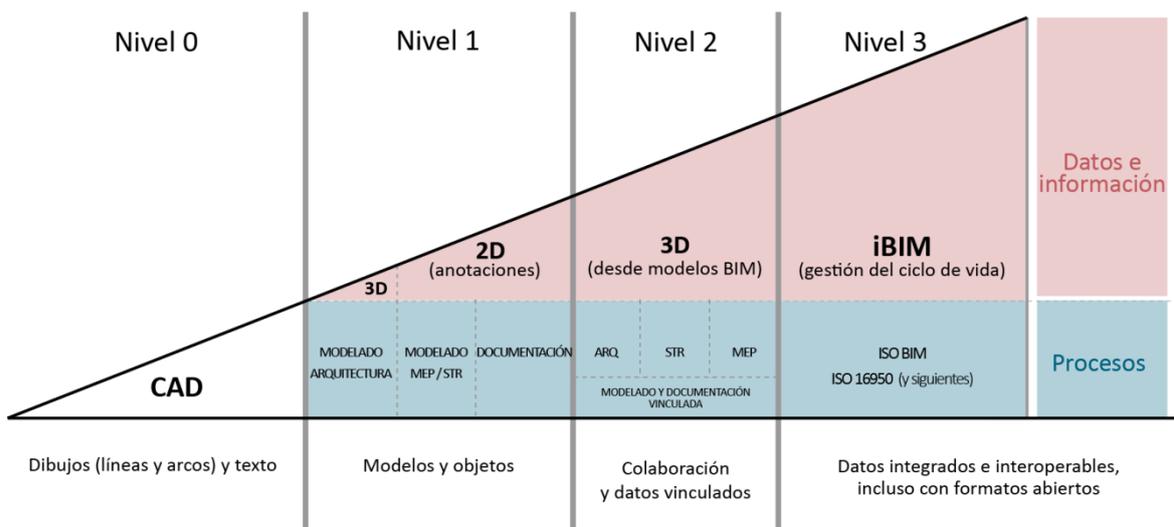


Figura 1. Niveles de Madurez (Salvador Moret Colomer, LinkedIn, 2020)

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la evolución de la metodología BIM se puede dividir en 4 niveles de madurez:

- **Nivel 0:** Nivel CAD. Usa la metodología de trabajo en formato CAD, esto permite generar planos y documentación del proyecto en 2D. Este nivel no se relaciona con la metodología BIM ya que, simplemente, utiliza dibujos lineales y textos.
- **Nivel 1:** se emplea la metodología BIM ya que genera la geometría 3D del proyecto, sin embargo, utiliza planos en formato para extraer toda la documentación. Este nivel carece de colaboración entre los integrantes del proyecto. No tienen relación las disciplinas entre sí, ni se exploran las ventajas de coordinación que supone tener una definición tridimensional del proyecto.
- **Nivel 2:** en este nivel toda la información se obtiene del modelo BIM en 3D. No es documentación CAD independiente y estática, sino que está integrada y es dinámica, consistente con la evolución del proyecto. Además, sí que existe colaboración entre los diferentes agentes del proyecto, por lo que permite separar el modelo BIM en varios modelos: arquitectura, estructura e instalaciones. De esta manera, se analizan por separado
- **Nivel 3:** este nivel permite la colaboración total entre todos los integrantes del proyecto, pudiéndose hacer por los formatos abiertos (como el formato de estándar abierto IFC) que eliminan la posibilidad de tener conflictos durante las diferentes fases del proyecto.

[1]

La incorporación de información al modelo tridimensional supuso una transformación a un modelo de información en el que se le puede dar una utilidad, no solo en el proceso de diseño, sino también durante la fase de operación. Esto permite detectar, a una edad temprana, las posibles incompatibilidades en el diseño.

Por todo ello, BIM tiene las ventajas de mejorar los procesos de diseño, perfeccionar los procesos de construcción, reducir los plazos y costes de la construcción, acrecentar los procesos de mantenimiento y disminuir los costes de operación. Por tanto, esta metodología de trabajo se caracteriza por:

Ser una única base de datos: La metodología BIM se basa en un modelo de datos centralizado que contiene toda la información necesaria para la construcción de un proyecto, desde la geometría del edificio hasta la información de los materiales y los sistemas.

- Colaboración: El modelo de datos centralizado permite una colaboración más estrecha y eficiente entre todos los miembros del equipo de construcción, desde los arquitectos y los ingenieros hasta los contratistas y los subcontratistas.
- La eficiencia: Permite una mayor eficiencia en la gestión de proyectos, reduciendo los errores, los tiempos de respuesta y los costos asociados con los cambios.
- Gestión del ciclo de vida: También se utiliza para la gestión del ciclo de vida de un edificio, desde la fase del proyecto hasta la operación y el mantenimiento.
- Interoperabilidad: promueve la interoperabilidad entre diferentes softwares, lo que permite la integración de datos y la colaboración entre diferentes plataformas.
- Estándares: La metodología se basa en estándares como el estándar IFC (*Industry Foundation Classes*), que garantiza la interoperabilidad y la compatibilidad entre diferentes plataformas de software BIM.[2]

En BIM es importante clasificar un proyecto por su nivel de desarrollo donde utilizamos el término de “Level of Development” (LOD) o nivel de desarrollo.

En el blog titulado “*BIM y VDC para profesionales de este sector*”, resaltan que este concepto ha sido cambiado con el tiempo, en primer lugar, haciendo referencia al nivel de detalle. El cambio, fue por parte del *American Institute of Architects* (AIA) donde dejan de contar la información de un proyecto y lo pasan a definir con cinco categorías que dependen del objetivo para el que se ha elaborado el modelo. Estos niveles de desarrollo son:

- **LOD 100:** En este nivel se muestra una visión muy general del proyecto. Es el nivel de detalle más bajo donde se define la geometría y el área del edificio. Podríamos usar este nivel de desarrollo para la redacción de un estudio de detalle.
- **LOD 200:** En este nivel se especifican las cantidades, tamaños y forma del proyecto. Puede incluir información no gráfica. Este nivel corresponde a un anteproyecto.
- **LOD 300:** En este nivel el proyecto empieza a definirse de una manera más precisa, pero sin llegar a estar completo. El nivel de desarrollo alcanzado es el de un proyecto básico.
- **LOD 400:** En este nivel el proyecto tiene suficiente información como para ser construido. Las mediciones deben de ser exactas. Nivel de desarrollo de un proyecto de ejecución.
- **LOD 500:** Nivel donde ya se ha construido y el modelo virtual es una representación completa de lo construido. Este tipo de archivo se utiliza para el mantenimiento de este. Este nivel de desarrollo se identifica con el nivel de proceso constructivo finalizado “As-Built”. [3]

Por último, se van a explicar las cuatro dimensiones de las que va a tratar este trabajo final de grado donde BIM permite juntar toda la documentación en un solo archivo, es decir, si se modifica un dato, se cambia en todo el proyecto. Esto es posible gracias a las 7 dimensiones que se pueden implementar en un modelo BIM.

Este proyecto se centra en las cuatro dimensiones, tres de ellas relacionadas con el diseño y una cuarta que hace referencia al tiempo en la planificación del respectivo proyecto.

3ª DIMENSIÓN: EL ESPACIO

La industria está en evolución ya que se sustituyó el dibujo sobre el papel por planos virtuales por ordenador en formato (CAD), que permitía arreglar y rectificar los errores de una manera mucho más fluida. El problema es que siguen siendo planos con información no integrada, por lo que se crean software que permiten modelar el proyecto en 3 dimensiones y que integran toda la información en un único modelo, como Revit (Autodesk). Es importante el modelo en 3 dimensiones para gestionar un proyecto con las diferentes herramientas BIM.

Las ventajas de las tres dimensiones son:

- Mejora en la colaboración y comunicación entre los equipos ya que la tecnología BIM 3D permite a los diferentes equipos trabajar en un mismo modelo, lo que reduce la probabilidad de errores y conflictos.
- Permite una mayor precisión en el diseño del proyecto que permite a los equipos crear modelos en tres dimensiones de los proyectos, lo que les proporciona una visión más clara y precisa de cómo se verá el proyecto finalizado.
- Permite una mayor eficiencia en el uso de recursos para tener una visión clara y precisa de los materiales y recursos necesarios para el proyecto.
- Mejora en la calidad del proyecto con diseños más precisos, la tecnología BIM 3D puede mejorar la calidad del proyecto finalizado.
- La visualización 3D es otra ventaja que permite observar la obra terminada y ver el resultado final. Gracias a esta visualización se pueden hacer pruebas de espacios, materiales y simulaciones en el proyecto.

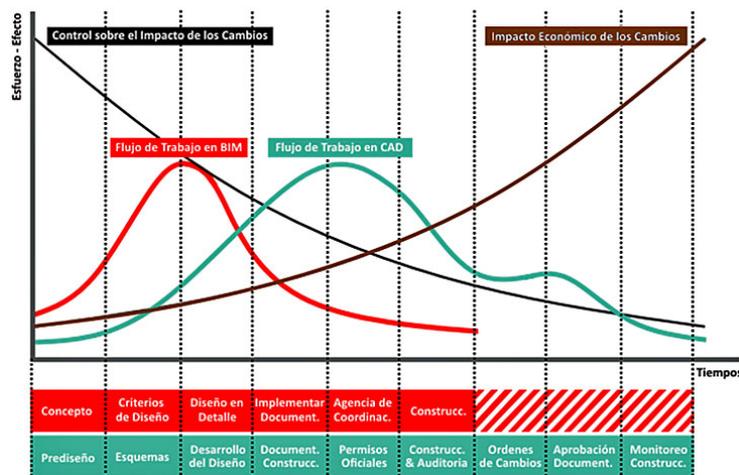


Figura 2. Curva de MacLeamy Extendida: Comparativa de flujos de trabajo en BIM y CAD (Pedro Ignacio Moreno Cuéllar y Emilio Sánchez Escámez, eSMARTCITY.es, 2016)

4ª DIMENSIÓN: EL TIEMPO

Se implementa con BIM la planificación del proyecto, la gestión y la simulación en 4D. Esto permite tener una visión general de los tiempos y la construcción del proyecto.

Las ventajas de la 4ª dimensión son:

- La planificación, gestión y optimización de los tiempos de ejecución en un proyecto. Esto permite reducir los tiempos de ejecución y planificar las fases del proyecto donde vinculas la información con el modelo BIM. El diagrama de GANTT permite crear una línea de tiempo donde se organizan los tiempos de construcción del proyecto vinculados con los objetos 3D del modelo BIM.
- Revisión de la evolución del proyecto durante la ejecución de obras por posibles retrasos en la ejecución. Con BIM 4D se puede gestionar estos problemas y reorganizar los tiempos con relación a los diferentes problemas. El tiempo como elemento que se puede controlar.
- Simulación y evaluación de escenarios donde la tecnología BIM 4D permite la simulación y evaluación de diferentes escenarios, lo que puede ayudar a los equipos a identificar posibles problemas y a tomar decisiones más informadas.
- Mejorar la comunicación entre los agentes involucrados en el proyecto. Es una herramienta que permite la colaboración y comunicación entre los protagonistas del proyecto.
- Reducción de costos y tiempos para obtener una planificación más precisa y colaborativa, la tecnología BIM 4D puede ayudar a reducir los costos y los tiempos del proyecto. [4]

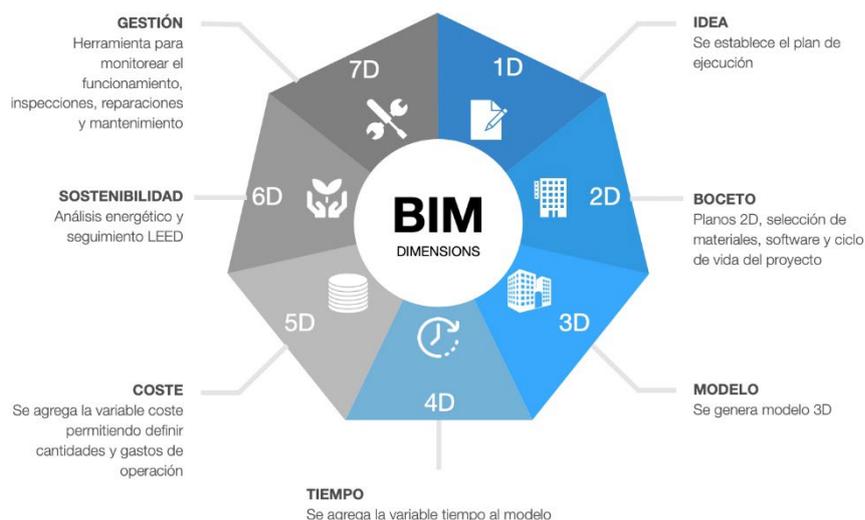


Figura 3. Dimensiones BIM (ORFISA Internacional Consulting)

2.2. Introducción a la planificación de proyectos en 4D

La planificación de proyectos en 4D es una metodología que combina el modelado en 3D y la gestión del tiempo para crear un modelo de construcción en cuatro dimensiones. La cuarta dimensión se refiere al tiempo, lo que significa que el modelo de construcción en 4D muestra cómo se desarrollará la construcción en el tiempo.

El objetivo de la planificación de proyectos en 4D es mejorar la eficiencia y la coordinación en la construcción mediante la creación de un modelo detallado de la secuencia de construcción. Esto permite a los equipos de construcción planificar la secuencia de construcción con anticipación y coordinar el flujo de trabajo para evitar conflictos y retrasos.

Además, la planificación de proyectos en 4D permite a los equipos de construcción simular diferentes escenarios de construcción para evaluar la mejor opción para el proyecto. Esto puede ayudar a tomar decisiones informadas y optimizar la secuencia de construcción.[5][6]

BIM es el proceso de creación de modelos de información o conjuntos de datos formados por información gráfica y no gráfica en un espacio digital compartido conocido como *Common Data Environment* (CDE). Una vez creado el modelo de información, se pueden agregar datos de diferentes componentes, para generar información precisa del programa. Este es el proceso que se conoce como BIM 4D.

BIM 4D implica que la información relacionada con el tiempo se asocie a diferentes componentes de un modelo de información. Incluir datos de atributos relacionados con el tiempo también permite crear imágenes en 3D del desarrollo de un proyecto, mostrando cómo se construirá. Esto tiene grandes beneficios en términos de planificación del trabajo de una manera segura y lógica que maximiza la eficiencia en el sitio. [7]

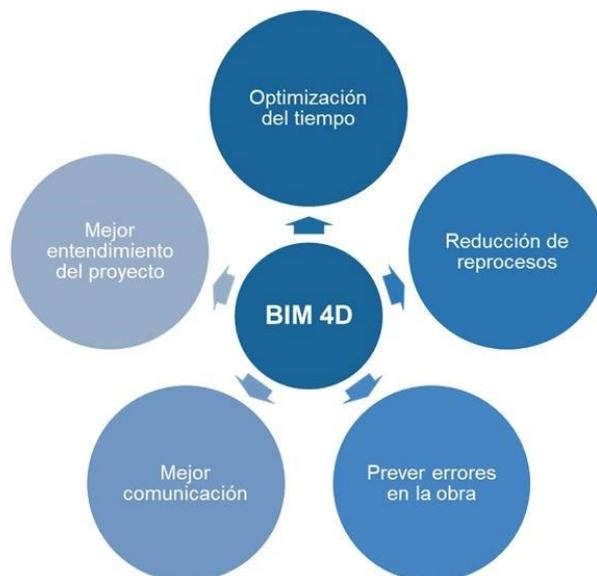


Figura 4. Ventajas de la Planificación de Obra aplicando el BIM 4D (Luken Quintana, INESA TECH, 2016)

2.3. Beneficios del uso de BIM y la planificación 4D

La implementación de la planificación 4D en BIM implica grandes beneficios para el desarrollo de la construcción y eficacia en los procesos del proyecto. Estos son:

- Planificación y programación: Todos los agentes que intervienen en el proceso tienen una visión completa del proyecto y la construcción desde el inicio hasta el final del proceso.
- Proporciona información: Es un modelo que proporciona información sobre los plazos y metodología del proyecto. Esto es una gran ventaja ya que permite obtener procesos más seguros.
- Actualización en tiempo real: Permite minimizar el tiempo para la toma de decisiones, cambios y actualizaciones. Esto permite que la comunicación entre los agentes del proyecto se vuelva más sencilla y clara.
- Prevención y resolución de conflictos: Al ser un modelo de información compartida aporta transparencia y definen las responsabilidades de todas las figuras involucradas. Tiene la capacidad de detectar problemas antes de que conviertan en errores mayores.
- Seguimiento en los cambios: Mediante una línea de tiempo donde se reducen los tiempos en la construcción y fase de diseño.

La estimación y planificación del tiempo de construcción es fundamental para optimizar las diferentes fases en las etapas de la construcción. El diagrama de Gantt y Pert para la gestión de la duración de una obra, es recomendable ya que permite una visión global de los tiempos de construcción. [8][9]

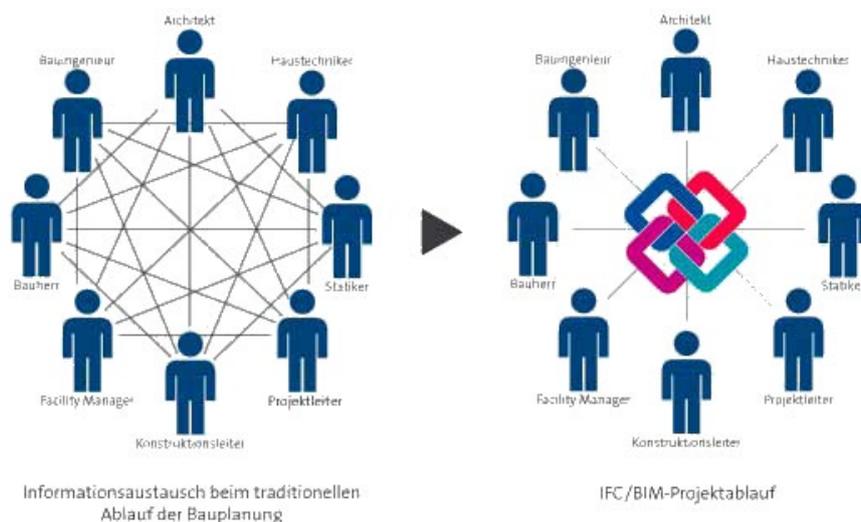


Figura 5. Formato IFC Principios y Usos (Gabriel Conejera, buildBIM, 2018)

2.4. Limitaciones del uso de BIM y la planificación 4D

Alguna de las limitaciones más comunes en la planificación 4D en proyectos en BIM son:

- La precisión de los datos: La precisión de la planificación del proyecto se puede ver afectada por la imprecisión o desactualización de los datos iniciales.
- Complejidad y tiempo de aprendizaje: El uso de software y herramientas específicas para la planificación pueden suponer un aprendizaje significativo. Los profesionales deben adquirir conocimientos técnicos especializados para aprovechar al máximo las capacidades de planificación en 4D, lo que conlleva tiempo y recursos adicionales.
- Limitaciones de los recursos informáticos: La creación y manipulación de modelos en 4D puede requerir un hardware y software informático más potente. Modelos complejos y grandes requieren equipos con grandes capacidades de procesamiento y almacenamiento.
- Colaboración efectiva: Si no se establece una buena comunicación y colaboración adecuada, pueden existir dificultades para compartir y actualizar la información en tiempo real, por lo que puede afectar a la eficacia de la planificación y del proyecto.
- Limitaciones de la interoperabilidad: Aunque se han establecido estándares como el formato IFC (*Industry Foundation Classes*) para facilitar la interoperabilidad de los modelos BIM, pueden surgir problemas de compatibilidad entre diferentes plataformas y software. Esto puede afectar a la calidad y precisión de la planificación.[10][11]

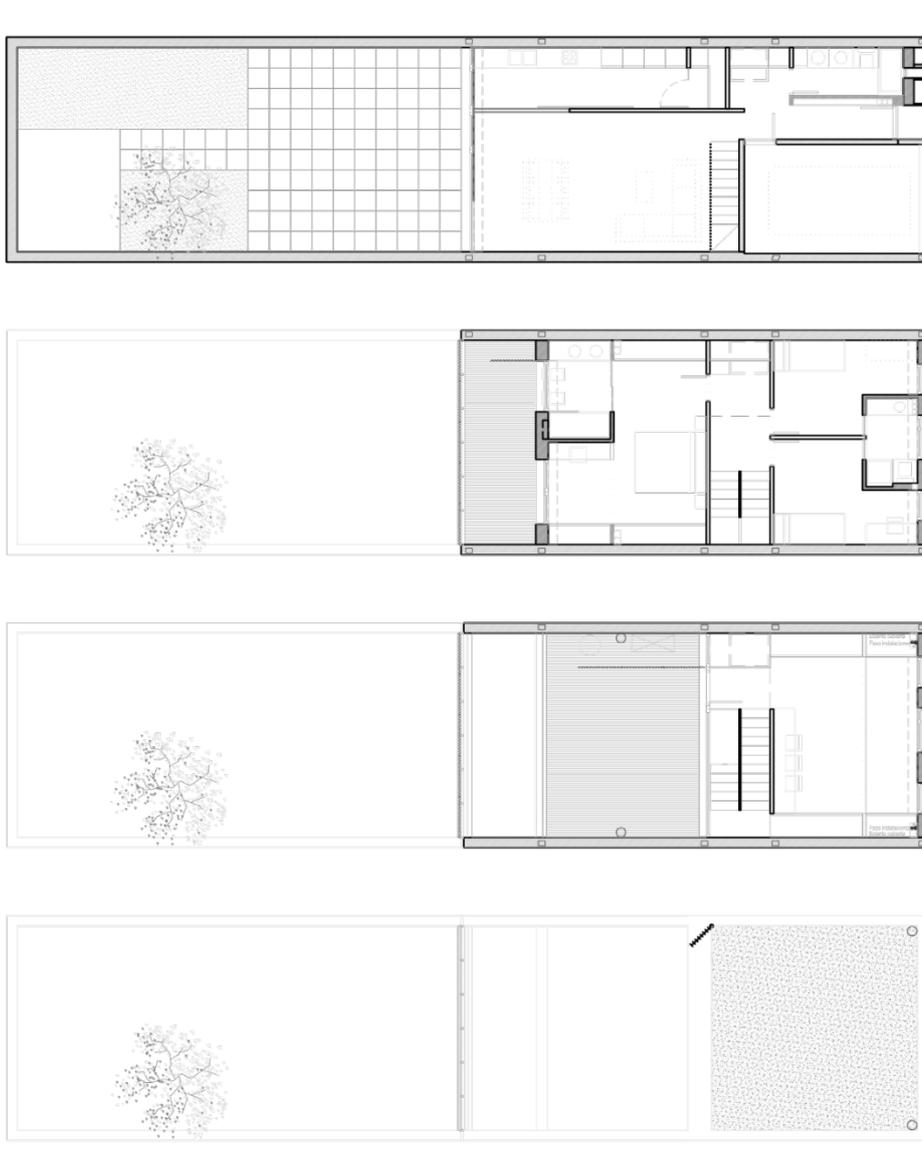
3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Estudio de caso: Proyecto para el desarrollo de la planificación

Para este trabajo se va a realizar un estudio de un caso real en el que se modelará el proyecto en Revit y se realizará la planificación en 4D.

Se trata de un proyecto del arquitecto Manuel Cerdá Pérez realizado en su estudio de arquitectura MCP. Es un proyecto entre medianeras que cuenta con una planta baja con garaje, comedor, cocina y zona de lavabo y baño. Una primera planta con dos habitaciones individuales y una doble con acceso a una terraza. Por último, cuenta con una segunda planta dedicada a zona de estudio y vinculada a otra terraza.

Para elaborar el estudio es necesario conocer el proyecto de cerca por lo que, en primer lugar, se proporcionan las plantas y las secciones del proyecto básico.



Esquema 1. Plantas extraídas de Proyecto Básico del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.



Esquema 2. Secciones y Alzados extraídos del Proyecto Básico del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.

Una vez descubierto el proyecto básico, es obligatorio conocer cómo se va a construir para llevar a cabo la planificación en 4D. Para ello, se va a estudiar la memoria constructiva y el proyecto de ejecución para poder seguir los pasos y los procesos en la planificación.

A partir de la memoria y el proyecto de ejecución se modela el proyecto en Revit en 3D, adjudicando al modelo los diferentes sistemas constructivos, materiales y secciones para facilitar la planificación a la hora de exportar el proyecto en IFC al programa para realizarla.

En la parte de la memoria constructiva del proyecto de ejecución se van a adjuntar diferentes tablas indicando los sistemas constructivos, los materiales y las diferentes capas de los cerramientos, forjados y cubiertas del proyecto. De este proyecto de ejecución se extraen las principales tipologías constructivas presentes en la vivienda.

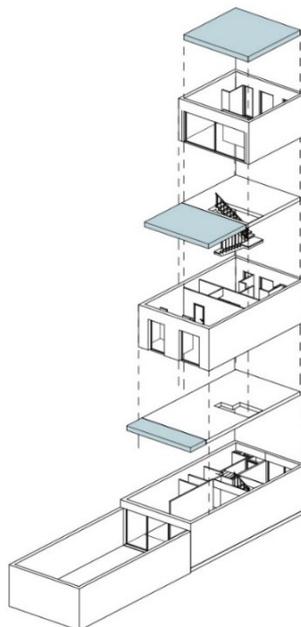
- Estructura: Esta compuesta por pilares metálicos en forma de cajón con perfiles UPN. Los forjados están compuestos por losas alveolares + una capa de compresión en todas las plantas.
- Fachadas: Están compuestas desde el interior con placas de yeso laminado, lana de roca como aislamiento térmico, una fábrica de ladrillo de medio pie, aislante término EPS + revoco blanco acabado tipo SATE.
- Cubierta: Compuesta por una placa de yeso laminado como acabado interior, aislante térmico EPS fijado al forjado de losa alveolar + capa de compresión, formación de pendientes, lámina impermeabilizante, XPS de resistencia a la compresión y grava blanca.
- Cubiertas terrazas: Compuesta por una placa de yeso laminado como acabado interior, aislante térmico EPS fijado al forjado de losa alveolar + capa de compresión, formación de pendientes, lámina impermeabilizante, XPS de resistencia a la compresión, cámara de aire y pavimento flotante sobre plots.
- Medianera del garaje: Formadas por doble placa de yeso laminado, cámara de aire, y tabicón de ladrillo hueco doble.
- Tabiques interiores: Formados por una doble placa de yeso, lana mineral y doble placa de yeso.

En primer lugar, hablaremos de la composición de las diferentes cubiertas y cerramientos:

Cubierta plana transitable: Terraza de planta primera				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Pavimento flotante sobre plots	0.010		
2	Cámara de aire ventilada horizontal	-	-	0.090
3	Mortero regularización	0.040		
4	XPS resistencia a la compresión 300 kPa	0.050	0.034	
5	Capa antipunzonamiento	0.003		
6	Lámina impermeabilizante	0.003		
7	Hormigón de pendientes	0.030		
8	Losa alveolar con capa de compresión (16+5)	0.210		
9	EPS fijado a forjado	0.080	0.035	-
10	Cámara de aire sin ventilar horizontal para pasos de instalaciones	El necesario por otros criterios	-	0.180
11	Placa de yeso laminado	0.009		
12	Pintura con suficiente opacidad color a definir DF	0.001		
U (W/m² K)				0.22

Cubierta plana no transitable: de segunda planta				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Grava blanca	0.050		
2	Geotextil antipunzonamiento	0.003		
3	XPS resistencia a la compresión 300 kPa	0.100	0.034	-
4	Geotextil protección impermeabilizante	0.003		
5	Lámina impermeabilizante	0.003		
6	Hormigón de pendientes	0.100		
7	Losa alveolar con capa de compresión (16+5)	0.210		
8	Cámara de aire sin ventilar horizontal para pasos de instalaciones	El necesario por otros criterios	-	0.180
9	Placa de yeso laminado	0.009		
10	Pintura con suficiente opacidad color a definir DF	0.001		
U (W/m² K)				0.25

Tabla 1. Extraída de Proyecto de Ejecución del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.

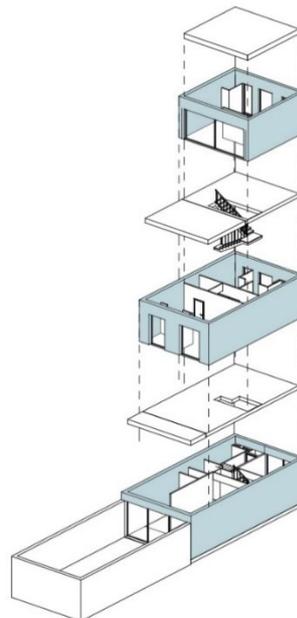


Esquema 3. Esquema propio del proyecto extraído modelo 3D en Revit

Forjado exterior: en dormitorios de primera planta				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Baldosa de gres	0.010		
2	Mortero de agarre	0.010		
3	Hormigón armado antifisuramiento del suelo radiante	0.070		
4	EPS huevera del suelo radiante	0.020	0.035	-
5	Losa alveolar con capa de compresión (16+5)	0.210		
6	SATE CON FIJACIONES QUÍMICAS Y MECÁNICAS, CON CERTIFICADO DE GARANTÍA DECENAL DEL MATERIAL, INSTALADO FIRMADO POR FABRICANTE	Mortero de agarre colocado en las placas de aislamiento térmico aplicado con llana dentada de acero inoxidable sin discontinuidades a lo largo de toda la placa	0.010	
7		Aislamiento térmico EPS Grafito + espigas penetrando en fábrica cerámica un mínimo de 4cm	0.080	0.035
8		Malla de armado del mortero de fibra de vidrio	0.001	
9		Capa de imprimación y fondo de acabado	0.001	
10		Revoco blanco de acabado del SATE Textura "a definir por DF"	0.001	
			U (W/m² K)	0.33

Muros de Fachada: Fachada calle y patio				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	SATE CON FIJACIONES QUÍMICAS Y MECÁNICAS, CON CERTIFICADO DE GARANTÍA DECENAL DEL MATERIAL, INSTALADO FIRMADO POR FABRICANTE	Revoco blanco de acabado del SATE Textura "a definir por DF"	0.001	
2		Capa de imprimación y fondo de acabado	0.001	
3		Malla de armado del mortero de fibra de vidrio	0.001	
4		Mortero de aplicación de malla de fibra de vidrio	0.001	
5		Aislamiento térmico EPS Grafito + espigas penetrando en fábrica cerámica un mínimo de 4cm	0.080	0.034
6	Mortero de agarre colocado en las placas de aislamiento térmico aplicado con llana dentada de acero inoxidable sin discontinuidades a lo largo de toda la placa	0.010		
7	Fábrica de ladrillo perforado 1/2 pie	0.115		
8	Enfoscado de mortero hidrófugo M10	0.010		
9	Cámara de aire no ventilada (subestructura del pladur con peyadas de fijación de aislamiento interior)		-	0.18
10	Lana de roca aislamiento absorbente acústico	0.050	0.040	-
11	Doble placa de yeso laminado (13 + 13 mm)	0.026		
112	Pintura con suficiente opacidad color a definir DF	0.001		
			U (W/m² K)	0.25

Tabla 2. Extraída de Proyecto de Ejecución del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.

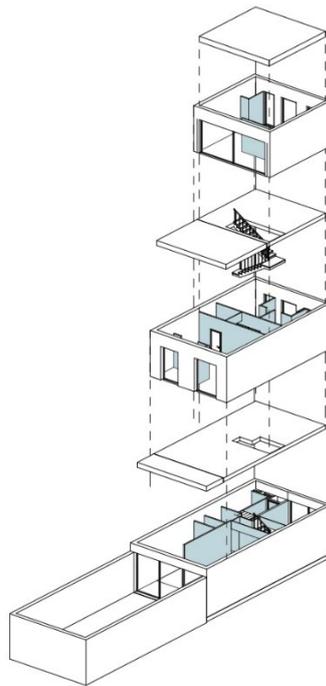


Esquema 4. Esquema propio del proyecto extraído del modelo 3D en Revit

Medianeras: Medianera del garaje				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Tabicón LH doble	0.090		
2	Mortero de cemento	0.010		
3	Cámara de aire no ventilada (subestructura del pladur con peyadas de fijación de aislamiento interior)			0.180
4	Doble placa de yeso laminado (13 + 13 mm)	0.026		
5	Pintura con suficiente opacidad color a definir DF	0.001		
U (W/m² K)				1.50

Tabiques interiores 1				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Doble placa de yeso laminado (13 + 13 mm)	0.026		
2	Lana de roca (entre perfiles de subestructura del pladur)	0.050	0.040	-
3	Doble placa de yeso laminado (13 + 13 mm)	0.026		
U (W/m² K)				0.63

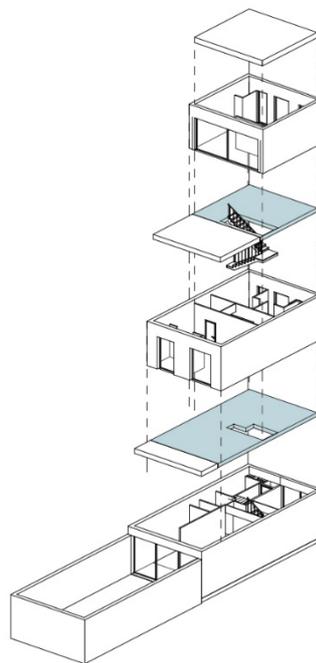
Tabla 3. Extraída de Proyecto de Ejecución del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.



Esquema 5. Esquema propio del proyecto extraído del modelo 3D en Revit

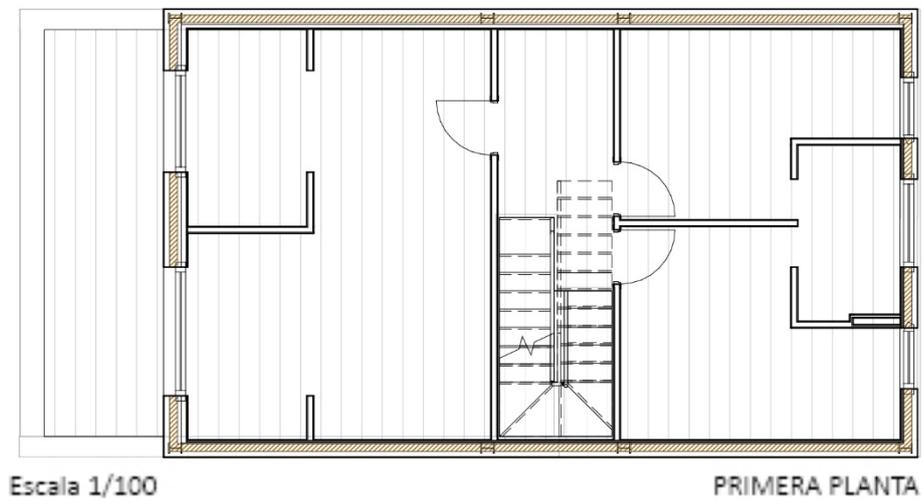
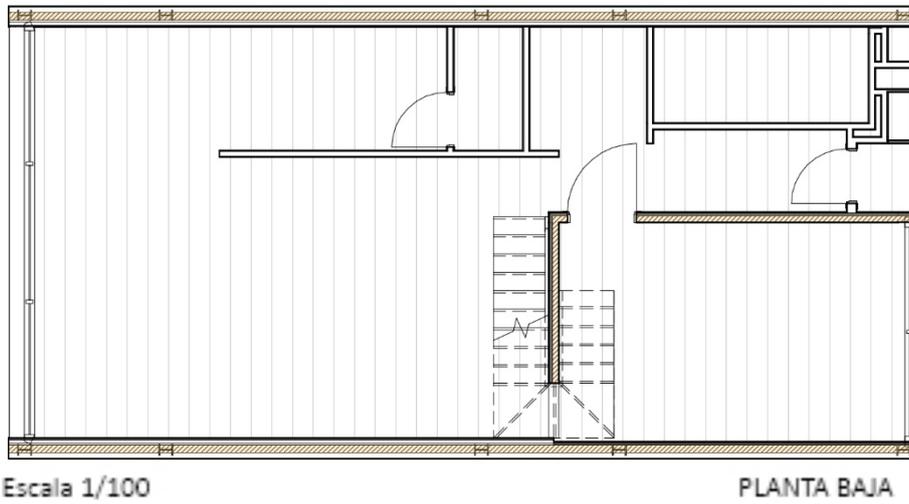
Forjado intermedio: entre plantas				
	Material	Espesor Mínimo (m)	Conductividad Máxima λ (W/mK)	Res Térmica
1	Baldosa cerámica	0.010		
2	Mortero de agarre	0.010		
3	Hormigón armado antifisuramiento del suelo radiante	0.070		
4	EPS huevera del suelo radiante	0.020	0.035	-
5	Losa alveolar con capa de compresión (16+5)	0.210		
6	Cámara de aire sin ventilar horizontal para pasos de instalaciones	El necesario por otros criterios	-	0.180
7	Placa de yeso laminado	0.009		
8	Pintura con suficiente opacidad color a definir DF	0.001		
			U (W/m² K)	0.89

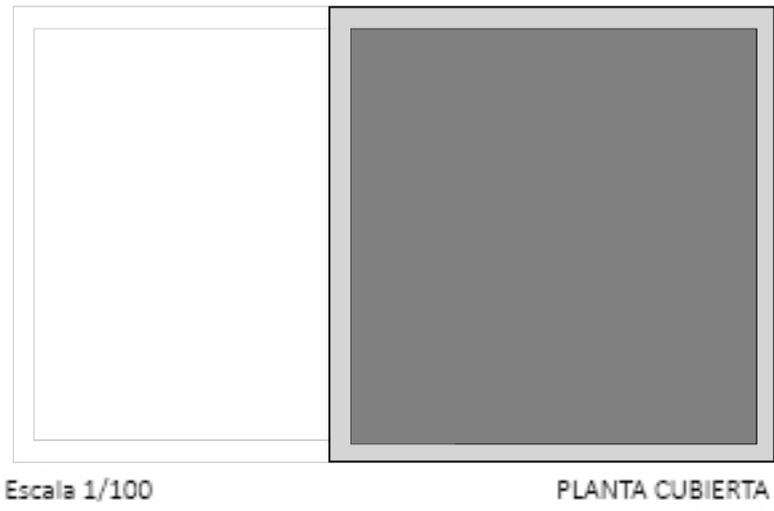
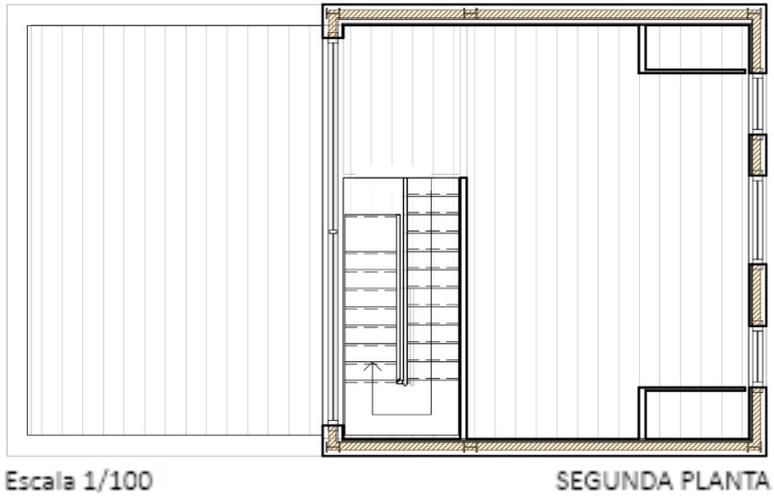
Tabla 4. Extraída de Proyecto de Ejecución del Profesor y Arquitecto Manuel Cerdá Pérez.

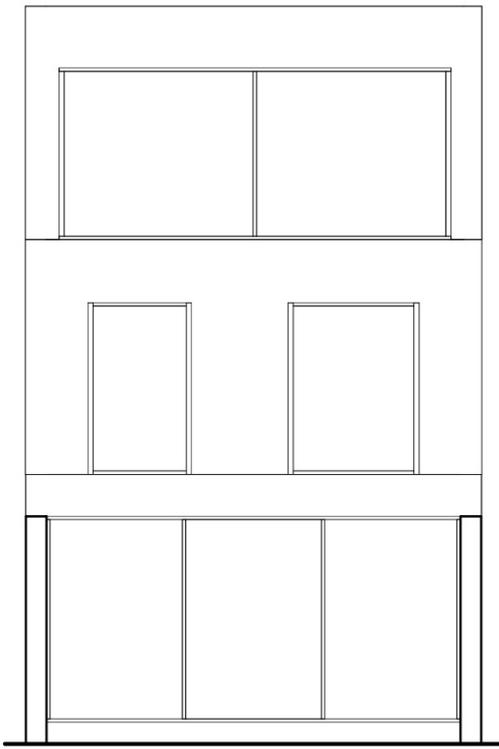


Esquema 5. Esquema propio del proyecto extraído del modelo 3D en Revit

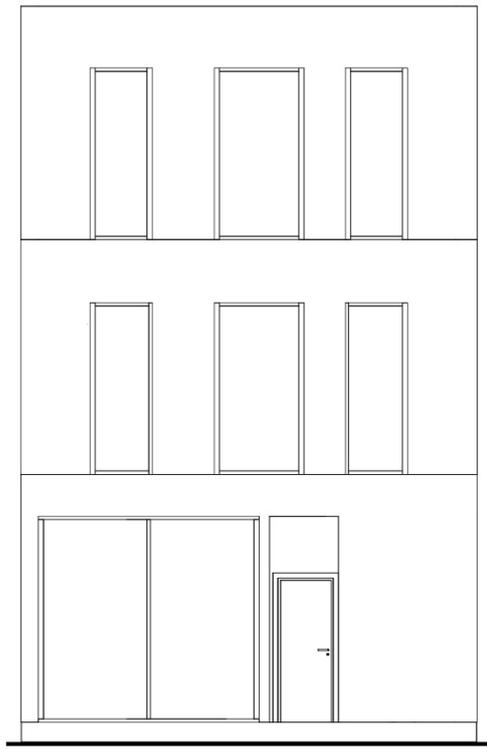
Para acabar con la parte gráfica del proyecto, se adjuntan los planos de las diferentes plantas, secciones y alzados extraídos del modelo 3D de Revit. Estas plantas, alzados y secciones son propias extraídas del modelo 3D de Revit.



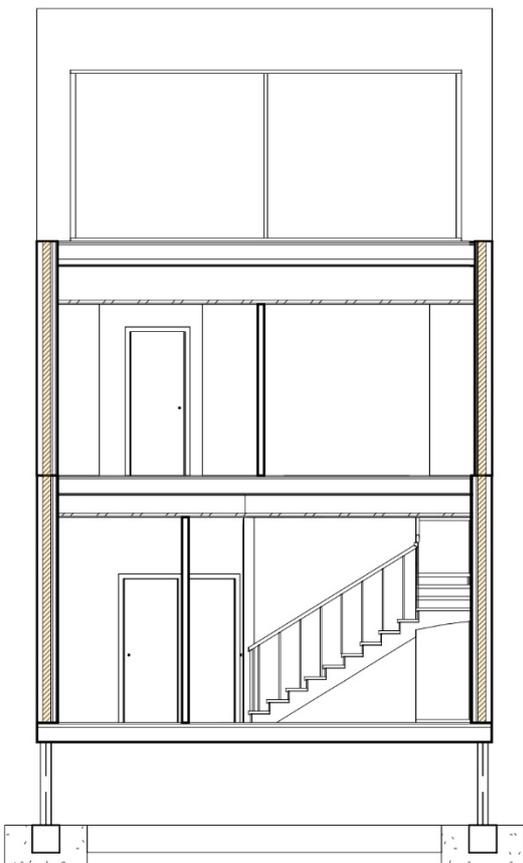




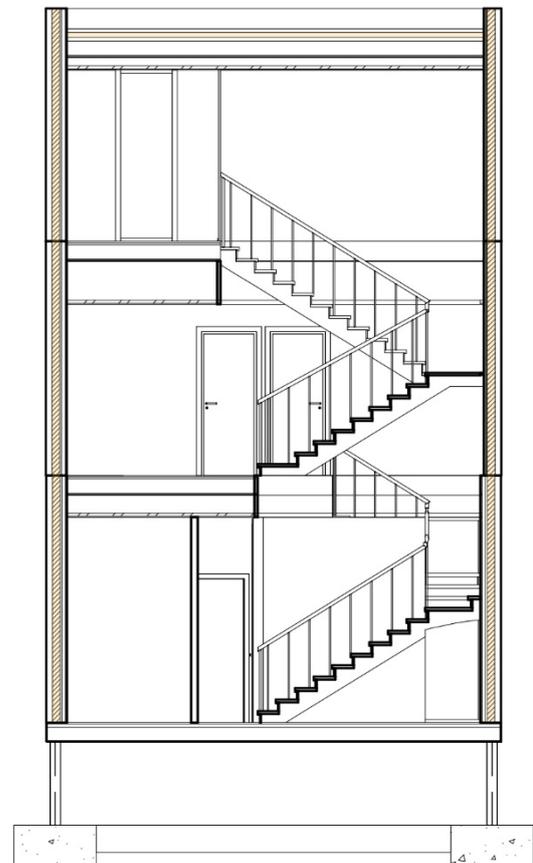
Escala 1/100 ALZADO INTERIOR



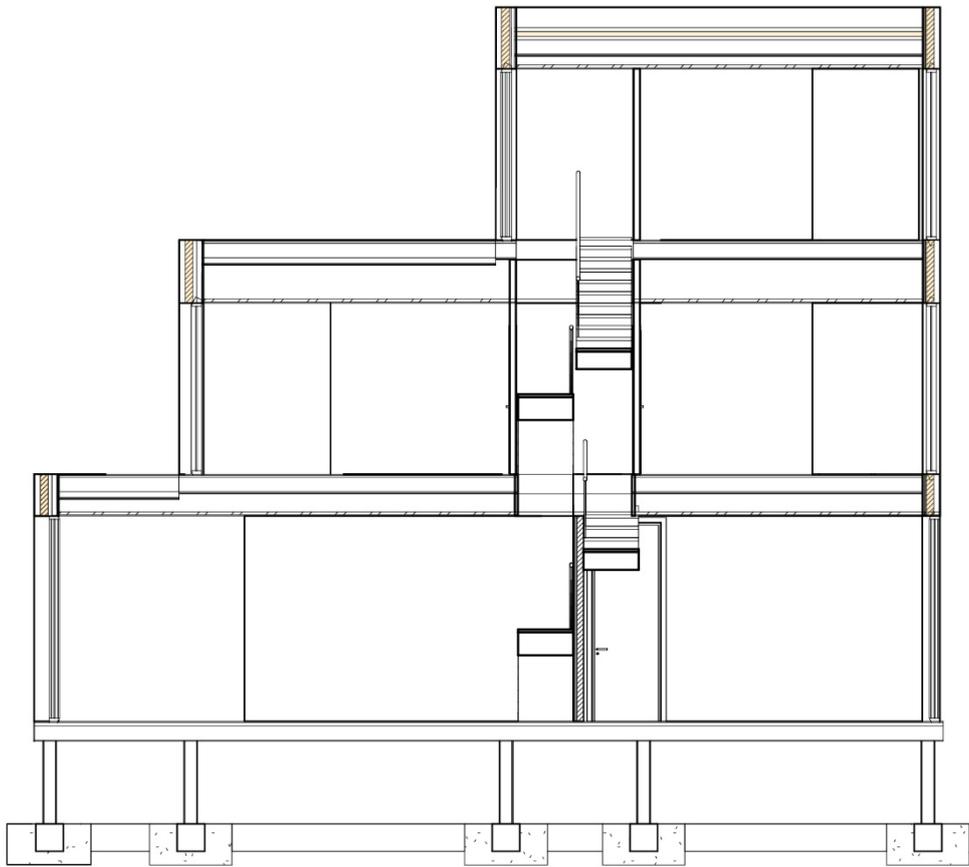
Escala 1/100 ALZADO EXTERIOR



Escala 1/100 SECCIÓN TRANSVERSAL



Escala 1/100 SECCIÓN TRANSVERSAL



Escala 1/100

SECCIÓN LONGITUDINAL

3.2. Etapas de la planificación en 4D

Para realizar la planificación de un proyecto se requiere un programa especializado que permita realizar la planificación del proyecto. El intercambio de datos entre los diferentes programas es bidireccional, certificado y con sistemas de planificación estándar.

- 1- Realizar el modelo 3D en Revit: Para realizar la planificación del proyecto, primero debemos tener modelado el proyecto en 3D en un programa BIM que permita el intercambio de datos con el programa con el que se hará la planificación. En este caso, será necesario importar el proyecto en formato IFC para no perder información en la transferencia de datos. Es importante modelar todo el proyecto siguiendo los sistemas constructivos y detalles que indica el proyecto de ejecución para realizar la planificación real del proyecto.
- 2- Importar el modelo 3D: Para realizar la planificación es necesario que el formato del archivo tenga interoperabilidad con los formatos estándar. Los formatos más utilizados son los archivos BIM de importación directa a través del formato de estándar abierto IFC.
- 3- Vinculación de datos: Es necesario asignar diferentes fases a los recursos del modelo 3D en el programa de la planificación. Una vez asignados los recursos a las fases de la planificación, se inicia la organización de los procesos constructivos en un diagrama de Gantt. Toda esta información tendrá vinculada un tiempo de inicio y final de construcción, organizando un diagrama completo de la obra.
- 4- Creación de animaciones 4D: Se puede reproducir a tiempo real el proceso constructivo de la obra, ya que el programa de la planificación permite visualizar las secuencias de la construcción en un modelo 3D vinculado con el tiempo.
- 5- Gestionar y ejecutar el proyecto: Con este proceso se pueden identificar problemas y conflictos antes de que se inicie la obra del proyecto. Esto permite reducir los tiempos en la obra y realizar una construcción mucho más eficiente. Además, permite hacer revisiones y resolver problemas que puedan ocurrir durante el proceso de la construcción.

3.3. Herramientas de software utilizadas en la planificación de proyectos BIM en 4D

Para realizar el modelado 3D del proyecto del caso de estudio y la planificación 4D del proyecto se han usado diferentes softwares. La intercomunicación de datos entre Revit y Synchro es esencial para el proceso de planificación.

Revit actúa como el punto de partida, donde se crea el modelo 3D detallado y se incorpora información sobre la geometría y los atributos de los elementos de construcción. Una vez que el modelo está completo, se exporta en un formato compatible con Synchro. En este caso utilizamos el formato estándar IFC, que incluye toda la información relevante sobre el proyecto.

Synchro, por su parte, utiliza estos datos para vincular el modelo 3D de Revit con la información de programación y tiempos del proyecto, lo que resulta en un modelo 4D que muestra la secuencia de construcción a lo largo del tiempo. Esta intercomunicación permite a los profesionales visualizar y analizar cómo se desarrollará el proyecto en diferentes etapas, lo que facilita la toma de decisiones y la optimización de la planificación.

Cualquier cambio realizado en el modelo 3D de Revit se refleja automáticamente en Synchro, lo que garantiza que ambos modelos estén siempre sincronizados y actualizados. Esta colaboración entre Revit y Synchro mejora significativamente la eficiencia y precisión en la planificación 4D y facilita la gestión de proyectos de construcción de manera más efectiva.

En primer lugar, hablaremos del programa Revit:

Es una herramienta de modelado en 3D desarrollada por Autodesk que se ha convertido en el centro de la metodología BIM en la industria de la construcción. Su función principal es permitir la creación de modelos BIM detallados y precisos de edificios y estructuras. Con Revit, los profesionales pueden modelar la geometría de los elementos de construcción, así como incorporar información adicional sobre materiales y estructurales.

Esto resulta en un modelo 3D que contiene un conjunto de datos que abarca todo el ciclo de vida del edificio. Una de las utilidades más destacadas de Revit es su capacidad para facilitar la colaboración entre múltiples equipos y disciplinas.

Varios usuarios pueden trabajar en el mismo modelo simultáneamente, lo que mejora la coordinación y la comunicación entre arquitectos, ingenieros, contratistas y otros involucrados en el proyecto. Además, Revit ofrece herramientas para realizar análisis energéticos y de rendimiento de los edificios. Esto permite evaluar la eficiencia energética y realizar mejoras para reducir el consumo de energía y las emisiones de carbono.

En segundo lugar, hablaremos del programa Synchro:

Es una plataforma específicamente diseñada para la planificación 4D y gestión de proyectos en la industria de la construcción. Su función principal es vincular el modelo 3D de Revit con la información de la programación del proyecto, lo que resulta en un modelo 4D que muestra la secuencia de construcción a lo largo del tiempo.

Esta funcionalidad permite a los profesionales la capacidad de visualizar y comprender cómo se desarrollará el proyecto en diferentes etapas, lo que es esencial para la toma de decisiones informada. Synchro también ofrece herramientas para analizar y optimizar la secuencia de construcción en función de restricciones de tiempo y recursos. Se pueden realizar simulaciones y visualizar los recursos y actividades en un cronograma interactivo, lo que permite ajustar y mejorar la planificación para maximizar la eficiencia en el sitio de construcción.

Además, Synchro facilita la gestión de recursos y logística al permitir la planificación y programación de la disponibilidad y el uso de equipos y materiales en el momento y lugar adecuados. Esto ayuda a reducir los tiempos de espera y a minimizar los costos en el proyecto.

3.4. Desarrollo de la planificación en 4D

En este apartado veremos el proceso de desarrollo de la planificación en 4D, donde se desarrollará la eficiencia y la toma de decisiones para el proyecto. Después de exportar el modelo 3D de Revit en formato IFC a Synchro, se establecen unos tiempos de construcción a los diferentes elementos de la obra donde se generará un modelo virtual en el que la construcción se despliega secuencialmente.

Esta planificación se genera a partir de la creación de diferentes fases y asignación de tareas a los diferentes elementos del modelo. Al realizar la planificación observamos cómo la planificación en 4D revoluciona la forma en que concebimos, ejecutamos y gestionamos los proyectos de construcción, proporcionando un enfoque que optimiza los recursos, reduce los riesgos y fomenta la colaboración interdisciplinaria.

En primer lugar, se han establecidos unos tiempos orientativos de construcción de los diferentes elementos que forman parte del proyecto. Para organizar de una forma más eficiente los elementos, el modelo se han dividido por plantas y por fases de construcción como la cimentación, la estructura (formada por los pilares y los forjados), los cerramientos, los tabiques interiores y los acabados de cada planta. En esta tabla se observan los tiempos de construcción estimados para cada elemento, que estarán reflejados en la planificación realizada en Synchro.

ELEMENTO	PLANTA BAJA	PRIMERA PLANTA	SEGUNDA PLANTA
CIMENTACIÓN	1-2 Semanas	1-2 Semanas	1 Semanas
PILARES	1-2 Semanas	1-2 Semanas	1 Semanas
FORJADO	2-3 Semanas	2-3 Semanas	2 Semanas
CUBIERTA	0 Semanas	0 Semanas	2 Semanas
CERRAMIENTOS	3- 4 Semanas	3- 4 Semanas	3 Semanas
INSTALACIONES	2-3 Semanas	2-3 Semanas	2 Semanas
TABIQUES	1- 2 Semanas	1- 2 Semanas	1 Semanas
ACABADOS	3- 5 Semanas	3- 5 Semanas	3 Semanas

TOTAL POR PLANTA	11- 18 Semanas
TOTAL GENERAL	33- 57 Semanas

Tabla 5. Tabla Propia de estimación de los tiempos de la construcción

Una vez establecidos los tiempos de la construcción de los diferentes elementos, se divide el proyecto en Synchro en diversas fases a las que se le asignan un tiempo estimado de construcción.

Cada fase va asignada a un elemento de la construcción. Estos elementos van agrupados por plantas y por fases constructivas en el proyecto para facilitar la estimación de cada tiempo de construcción y para organizar los elementos del proyecto.

Ya que Synchro tiene una visión global de toda la planificación, se pueden ajustar los tiempos de construcción y a la vez permitir realizar varias fases en el mismo tiempo sin necesidad de molestarse unas a otras. Esto permite reducir los tiempos de la construcción, abaratar costes y hacer un proyecto más eficiente.

Gracias a la planificación 4D, los tiempos en la construcción se reducen de una manera considerable y se reduce la pérdida de tiempo entre las diferentes fases de construcción.

En primer lugar, se inicia el proyecto desde la cimentación, por lo que se establecen unos tiempos de la construcción empezando por las zapatas y vinculando su acabado a las vigas de atado. Una vez terminadas las zapatas y las vigas de atado se colocan los pilares de arranque donde apoyará el forjado sanitario.

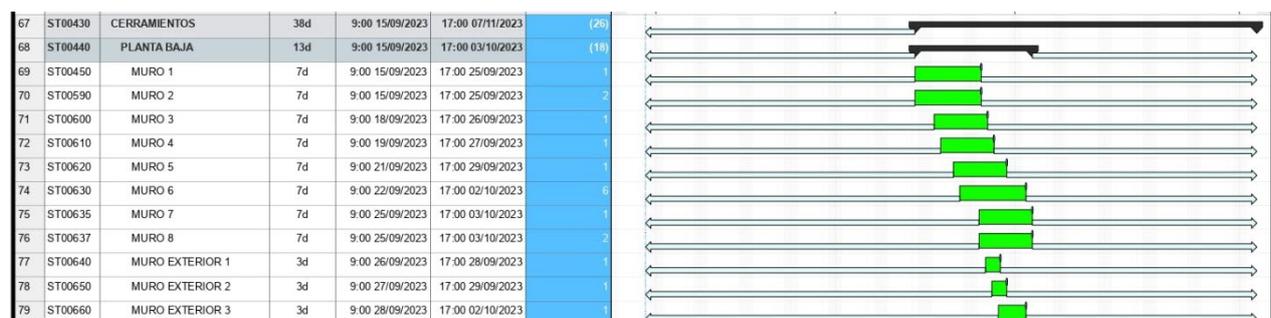
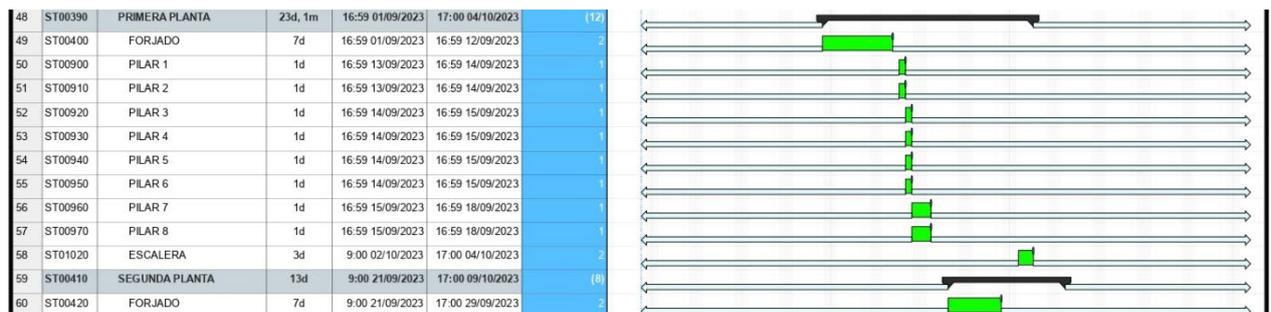
	ID	Nombre	Duración	Inicio	Final	Recursos 3D	jul.					ago.		sep.		oct.		nov.							
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1	ST00020	CIMENTACIÓN	19d	9:00 01/08/2023	17:00 25/08/2023	(29)																			
2	ST00030	ZAPATAS	6d	9:00 01/08/2023	17:00 08/08/2023	(10)																			
3	ST00040	ZAPATA 1	2d	9:00 01/08/2023	17:00 02/08/2023	1																			
4	ST00090	ZAPATA 2	2d	9:00 01/08/2023	17:00 02/08/2023	1																			
5	ST00100	ZAPATA 3	2d	9:00 02/08/2023	17:00 03/08/2023	1																			
6	ST00110	ZAPATA 4	2d	9:00 02/08/2023	17:00 03/08/2023	1																			
7	ST00120	ZAPATA 5	2d	9:00 03/08/2023	17:00 04/08/2023	1																			
8	ST00130	ZAPATA 6	2d	9:00 03/08/2023	17:00 04/08/2023	1																			
9	ST00140	ZAPATA 7	2d	9:00 04/08/2023	17:00 07/08/2023	1																			
10	ST00150	ZAPATA 8	2d	9:00 04/08/2023	17:00 07/08/2023	1																			
11	ST00160	ZAPATA 9	2d	9:00 07/08/2023	17:00 08/08/2023	1																			
12	ST00170	ZAPATA 10	2d	9:00 07/08/2023	17:00 08/08/2023	1																			
13	ST00050	VIGA CENTRADORA	4d	9:00 08/08/2023	17:00 11/08/2023	(7)																			
14	ST00060	VIGA 1	2d	9:00 08/08/2023	17:00 09/08/2023	1																			
15	ST00180	VIGA 2	2d	9:00 08/08/2023	17:00 09/08/2023	1																			
16	ST00190	VIGA 3	2d	9:00 08/08/2023	17:00 09/08/2023	1																			
17	ST00200	VIGA 4	2d	9:00 08/08/2023	17:00 09/08/2023	1																			
18	ST00210	VIGA 5	2d	9:00 10/08/2023	17:00 11/08/2023	1																			
19	ST00220	VIGA 6	2d	9:00 10/08/2023	17:00 11/08/2023	1																			
20	ST00230	VIGA 7	2d	9:00 10/08/2023	17:00 11/08/2023	1																			
21	ST00070	PILARES DE ARRANQUE	3d	9:00 14/08/2023	17:00 16/08/2023	(10)																			
22	ST00080	PILAR 1	1d	9:00 14/08/2023	17:00 14/08/2023	1																			
23	ST00240	PILAR 2	1d	9:00 14/08/2023	17:00 14/08/2023	1																			
24	ST00250	PILAR 3	1d	9:00 14/08/2023	17:00 14/08/2023	1																			
25	ST00260	PILAR 4	1d	9:00 15/08/2023	17:00 15/08/2023	1																			
26	ST00270	PILAR 5	1d	9:00 15/08/2023	17:00 15/08/2023	1																			
27	ST00280	PILAR 6	1d	9:00 15/08/2023	17:00 15/08/2023	1																			
28	ST00290	PILAR 7	1d	9:00 16/08/2023	17:00 16/08/2023	1																			
29	ST00300	PILAR 8	1d	9:00 16/08/2023	17:00 16/08/2023	1																			
30	ST00310	PILAR 9	1d	9:00 16/08/2023	17:00 16/08/2023	1																			
31	ST00320	PILAR 10	1d	9:00 16/08/2023	17:00 16/08/2023	1																			
32	ST00330	FORJADO SANITARIO	7d	9:00 17/08/2023	17:00 25/08/2023	(2)																			
33	ST00340	FORJADO 1	7d	9:00 17/08/2023	17:00 25/08/2023	1																			

Una vez acabada la parte de la cimentación junto al forjado sanitario, se inicia la construcción de los pilares de planta baja. Vinculados los elementos de los pilares de planta baja al forjado de primera planta, para finalizar la construcción de los pilares e iniciar la ejecución del primer forjado. Al acabar esta parte de la estructura se inicia la construcción de la escalera de planta baja a primera planta.



Al finalizar la estructura de planta baja y el forjado de primera planta, se inicia la ejecución de la estructura de los pilares de la primera planta y el forjado de la segunda planta. Una vez finalizados estos elementos y vinculados en el programa se inicia la ejecución de la escalera de primera planta a segunda planta.

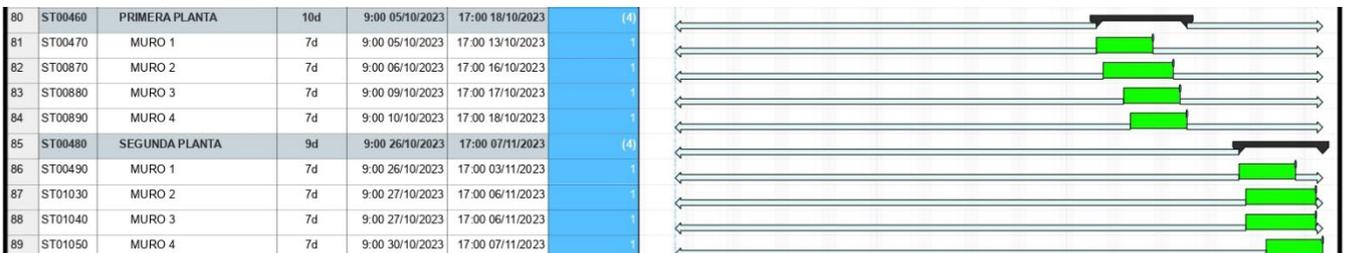
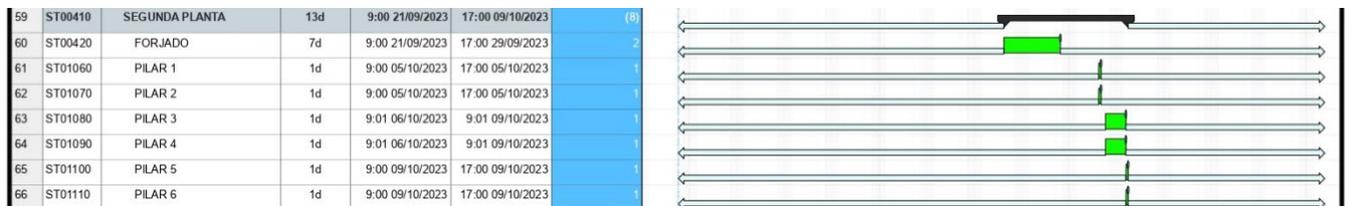
Para reducir los tiempos en la construcción, una vez terminada la estructura de planta baja y mientras se construye la estructura de primera planta, se inicia la ejecución de los cerramientos de planta baja, esto permite ahorrar tiempos y costes en la construcción por la organización y planificación de la obra. Estos elementos de cerramientos estarán vinculados a la estructura de planta baja para que su inicio coincida con su finalización.



Siguiendo con el proceso, al finalizar la ejecución de los pilares de primera planta y el forjado de segunda planta, se inicia la ejecución de los pilares de la segunda planta y de la cubierta. Estos elementos están vinculados en Synchro de forma de que al finalizar unos se inicien otros.

Manteniendo la misma filosofía de la planta anterior, al mismo tiempo que se ejecutan los pilares de la segunda planta y la cubierta, se construyen los cerramientos de la primera planta. Así, se ahorra tiempo de ejecución y costes de obra.

Al acabar la estructura de la segunda planta y la cubierta se ejecutan los cerramientos de la última planta. Todos los elementos de esta planificación estarán vinculados por si a la hora de ejecutar el proyecto en tiempo real no se siguen los pasos establecidos, es decir, hasta que un elemento no se acabe de ejecutar, el siguiente elemento vinculado a él, no se empezará a ejecutar.



En último lugar, tenemos la parte de tabiques y acabados que estarán vinculados, cada uno de ellos, por plantas. Al finalizar los elementos de cerramiento de cada planta, se inicia la parte de ejecución de los tabiques, puertas, falsos techos y vidrios.

Cada uno de estos elementos sigue un proceso constructivo y están vinculados a la finalización de los cerramientos de cada planta, independientemente de la ejecución de las demás plantas.

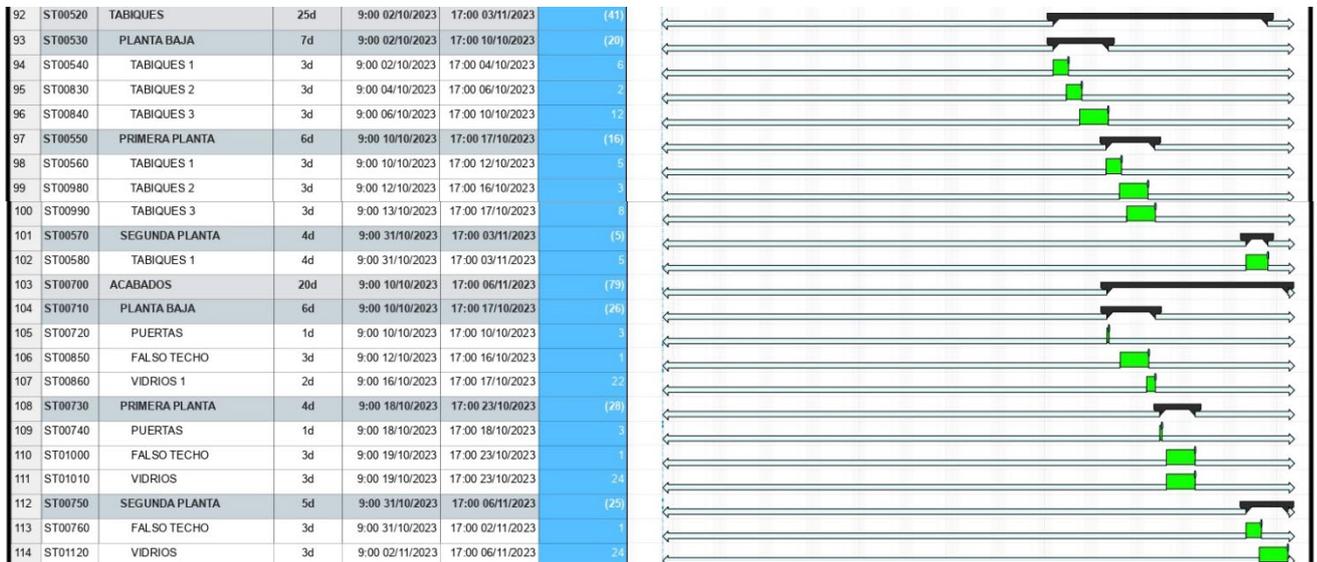


Tabla 6. Tablas propias extraídas de Synchro tras finalizar la planificación del proyecto

4. ANÁLISIS Y DISCURSIÓN

4.1. Evaluación de la eficacia de la planificación en 4D en proyectos de construcción

Para hacer una evaluación de la eficacia de la planificación 4D estudiada en este proyecto, es importante hablar de dos de las principales ventajas que destacan al realizar una planificación 4D en Synchro. Estos resultados se analizarán de la planificación extraída de Synchro y en especial destacamos la reducción del tiempo y la mejora de la eficiencia del proyecto.

En cuanto a la reducción del tiempo observamos que es uno de los impactos más notables de la planificación por la reducción efectiva del tiempo requerido para la ejecución de proyectos de construcción. La visualización de las tareas en una secuencia cronológica permite una identificación temprana de posibles conflictos y retrasos. Al tener una representación visual precisa de la planificación, se pueden anticipar de manera proactiva los problemas, minimizando así los tiempos.

Esta anticipación permite en una mayor fluidez en la ejecución del proyecto, eliminando la necesidad de ajustes sobre la marcha que normalmente consumen tiempo y recursos. La capacidad de realizar simulaciones y ajustes antes de la construcción real permite refinar la planificación de manera continua, asegurando que las actividades estén alineadas y no haya conflictos entre ellas. Como resultado, los proyectos pueden completarse en plazos más cortos, lo que a su vez reduce los costos generales y aumenta la competitividad.

La eficiencia es la parte más importante de cualquier proyecto. La planificación 4D fomenta la eficiencia al facilitar una mejor asignación de recursos y una utilización óptima de la mano de obra, los materiales y los equipos. Al vincular las fases de construcción con los elementos modelados en 3D, los equipos pueden identificar los recursos requeridos en cada etapa y asegurarse de que estén disponibles cuando se necesiten.

Además, la planificación mejora la comunicación interdisciplinaria al proporcionar una representación visual compartida de la planificación. Los equipos de diseño y construcción pueden colaborar de manera más efectiva al entender las restricciones y desafíos de cada fase. Esto minimiza las sorpresas de último minuto y reduce la probabilidad de retrabajo, lo que a su vez aumenta la eficiencia global del proyecto.

4.2. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

(Descripción de los ODS relacionados, explicación de como el trabajo contribuye a la implementación de los ODS, análisis de cómo la implementación de los ODS puede mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la industria de la construcción, reflexión sobre la importancia de considerar los ODS en la planificación de proyectos de construcción)

ODS 9 – Industria, Innovación e Infraestructura: El trabajo se enfoca en el uso de tecnologías innovadoras, como BIM y la planificación en 4D, para mejorar la industria de la construcción y la infraestructura.

ODS 11 – Ciudades y Comunidades Sostenibles: El trabajo tiene el objetivo de mejorar la planificación de proyectos de construcción para crear ciudades y comunidades más sostenibles y resilientes.

ODS 12 – Producción y Consumo Responsable: Al mejorar la eficiencia y la planificación de proyectos de construcción, se pueden reducir los desperdicios y promover un consumo responsable de los recursos naturales.

ODS 13 – Acción por el Clima: Al mejorar la eficiencia y la planificación de proyectos de construcción, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la mitigación del cambio climático.

ODS 17 – Alianzas para Lograr los Objetivos: El trabajo puede promover la colaboración entre diferentes sectores, incluyendo el gobierno, la industria de la construcción, las empresas de software, para lograr un desarrollo sostenible y mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción. [12]

5. MEJORA DEL PROCESO

5.1. Aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la planificación en 4D

Con el fin de mejorar los procesos de la planificación 4D, donde se combina el modelado 3D con la gestión del tiempo para crear un enfoque integral en la planificación del proyecto y en un mundo en constante evolución tecnológica, las nuevas tecnologías emergentes prometen llevar la planificación 4D a un nivel superior. Entre las nuevas tecnologías que pueden ayudar a mejorar los procesos de la planificación 4D destacamos la realidad virtual, los gemelos digitales, el internet de las cosas (IoT) y sobre todo la inteligencia artificial. Todas estas tecnologías ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la precisión, eficiencia y toma de decisiones en el proceso de la planificación 4D.

- Realidad Virtual (RV): Esta tecnología permite a los diferentes equipos de construcción visualizar y experimentar los modelos en 4D de manera más inmersiva. Con la Realidad Virtual, los usuarios pueden sumergirse en un entorno virtual y explorar el modelo en tiempo real. Permite la visualización de todo el proceso de la planificación para poder detectar posibles errores de una manera más precisa y visualizar la secuencia de los procesos constructivos en la realidad.[13]
- Gemelos digitales: Son réplicas virtuales de los proyectos en tiempo real que combinan datos en vivo y modelos 3D y 4D. Estos gemelos digitales permiten controlar el progreso de la construcción en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones basada en datos y la detección de problemas. Un gemelo digital acumula datos, dibujos, especificaciones, documentos, modelos analíticos y datos de recursos de gestión empresarial. Estos gemelos digitales pueden planificar el futuro mediante simulaciones y detectar oportunidades de mejora.[14]
- Internet de las cosas (IoT): Es el proceso que permite conectar los elementos físicos cotidianos al Internet. Los dispositivos del IoT que se encuentran dentro de esos objetos físicos suelen pertenecer a una de estas dos categorías: son interruptores o son sensores. La integración del IoT en la planificación 4D permite la recopilación de datos en tiempo real de sensores y dispositivos instalados en el sitio de construcción. Estos datos pueden utilizarse para monitorear el progreso de la construcción, la ubicación de los equipos y materiales, y la eficiencia de los recursos, lo que mejora la precisión de la planificación y permite una toma de decisiones más informada.[15]
- Inteligencia Artificial (IA): La IA puede desempeñar un papel importante en la planificación 4D al analizar y optimizar la secuencia de construcción, identificar posibles conflictos, y realizar predicciones sobre el rendimiento del proyecto. La IA puede procesar grandes cantidades de datos en tiempo real y generar recomendaciones basadas en patrones y aprendizaje automático. Ya que esta tecnología está en auge y puede mejorar el proceso de la planificación 4D considerablemente, hablamos de esta tecnología y su implementación más a fondo en el siguiente apartado.

5.2. Inclusión de la Inteligencia Artificial en el proceso de planificación en 4D

La inteligencia artificial (IA) es un campo de estudio que se centra en el desarrollo de algoritmos y sistemas capaces de simular algunas de las capacidades humanas de percepción, razonamiento, aprendizaje y toma de decisiones. La IA utiliza diversas técnicas, como el aprendizaje automático (*machine learning*), el procesamiento del lenguaje natural para desarrollar sistemas que pueden aprender de los datos y mejorar su rendimiento a lo largo del tiempo.

En planificación en 4D, la inteligencia artificial puede procesar grandes cantidades de datos en tiempo real, puede ayudar a analizar y optimizar la secuencia de construcción, identificar posibles conflictos y retrasos, y realizar predicciones sobre el rendimiento del proyecto.

El aprendizaje automático es una rama importante de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender de los datos sin ser programados explícitamente. Al entrenar modelos de aprendizaje automático con datos históricos de proyectos de construcción, la IA puede identificar patrones, tendencias y relaciones ocultas que pueden influir en la planificación en 4D.

Otra área en la que la inteligencia artificial puede mejorar la planificación 4D en BIM es la optimización de la logística de construcción. La IA puede analizar los datos de transporte, el flujo de materiales y la disponibilidad de recursos para sugerir la mejor manera de gestionar la entrega de materiales y equipos en el sitio de construcción. Esto ayuda a reducir los tiempos de espera, minimizar los costos y mejorar la coordinación general del proyecto.

Es importante destacar que la inteligencia artificial no solo se utiliza para realizar análisis y generar recomendaciones, sino que también puede aprender y adaptarse con el tiempo. Al utilizar técnicas de aprendizaje automático, los modelos de IA pueden mejorar su precisión y rendimiento a medida que se les proporcionan más datos y se les retroalimenta con los resultados de las decisiones tomadas. [16]

Implementar la inteligencia artificial en la planificación 4D implica una serie de beneficios que ayudarán a la optimización y mejora del proyecto. Entre muchas ventajas de esta tecnología destacamos:

- Mejora la precisión de la planificación: La inteligencia artificial puede analizar grandes cantidades de datos y modelos para identificar posibles conflictos, errores o problemas de programación. Esto ayuda a mejorar la precisión de la planificación y reduce la probabilidad de errores durante la ejecución del proyecto.
- Optimización en la construcción: Mediante algoritmos de IA, se pueden realizar análisis avanzados para identificar la mejor secuencia de actividades de construcción. Esto ayuda a optimizar el flujo de trabajo y maximizar la eficiencia general del proyecto.
- Detecta y resuelve conflictos: Puede analizar los modelos y detectar posibles interferencias y conflictos entre elementos de construcción. Al identificar estos problemas con anterioridad, se pueden tomar medidas para resolverlos antes de que ocurran en el sitio de construcción, ahorrando tiempo y costos.

- Aumenta la colaboración y la comunicación: Al utilizar la inteligencia artificial en la planificación, los diferentes equipos y partes interesadas pueden acceder y compartir información actualizada de manera más eficiente. Esto mejora la colaboración, la comunicación y la coordinación entre los involucrados en el proyecto.
- Permite la optimización de recursos: Puede analizar los datos y el rendimiento de proyectos similares para ayudar a optimizar la asignación de recursos en la planificación 4D. Esto incluye la gestión de equipos, materiales y maquinaria, lo que ayuda a maximizar la utilización de recursos y reducir los costos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Resumen de las principales conclusiones del trabajo

A lo largo de este trabajo, he aprendido sobre la importancia del uso de BIM y la planificación 4D en nuestro sector. Estas tecnologías han demostrado ser herramientas que permiten optimizar la secuencia en el desarrollo de un proyecto y en su construcción, mejorar la eficiencia y reducir los riesgos en los proyectos arquitectónicos. A través de herramientas como Revit y Synchro, he comprendido cómo es posible integrar modelos 3D con información de programación para crear modelos 4D que muestran la evolución del proyecto en el tiempo. Esta visualización en 4D permite una mejor comprensión de la secuencia de construcción y facilita la toma de decisiones informada.

Una de las principales conclusiones que he obtenido es que la colaboración y la comunicación son fundamentales en la implementación de la planificación. La interacción entre diferentes equipos y disciplinas, incluyendo arquitectos, ingenieros y contratistas, es esencial para lograr una planificación eficiente y coordinada. Además, la planificación ayuda a identificar posibles problemas en las etapas iniciales del proyecto, lo que permite tomar medidas antes de que afecten negativamente el desarrollo del proyecto.

También es importante que el uso de BIM y la planificación están vinculados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Estas metodologías promueven la eficiencia energética, la reducción de residuos y la construcción de infraestructuras sostenibles, lo que contribuye al desarrollo de un entorno construido más respetuoso con el medio ambiente.

En cuanto a futuras investigaciones y mejoras, considero que es importante seguir explorando la integración de tecnologías emergentes, como la realidad virtual y la inteligencia artificial, para potenciar aún más la eficacia de la planificación 4D. Además, la estandarización y la interoperabilidad de los datos entre diferentes herramientas de software son áreas clave que requieren mayor investigación para facilitar la colaboración entre profesionales y empresas en proyectos de construcción a gran escala.

Personalmente, estoy convencido de que la implementación de BIM y la planificación 4D es un paso importante hacia una industria de la construcción más eficiente, sostenible y colaborativa.

6.2- Recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras en el proceso de planificación en 4D con BIM

La planificación 4D ha demostrado ser una metodología poderosa para optimizar y mejorar la eficiencia de los proyectos. Sin embargo, a medida que la tecnología avanza y las demandas de la industria evolucionan, surge la necesidad de investigar y mejorar continuamente el proceso de la planificación 4D. En este sentido, existen diversas áreas de investigación y desarrollo que pueden impulsar aún más la eficacia y los beneficios de esta metodología. Investigar y mejorar en diferentes áreas permitirá aprovechar todo el potencial de la planificación 4D y llevarla a nuevas alturas en términos de eficiencia, toma de decisiones y gestión sostenible de proyectos. Estas son algunas áreas en las que mejorar y poder invertir tiempo en futuras investigaciones.

- Investigación sobre la integración de tecnologías emergentes por el avance continuo de tecnologías como la realidad virtual, la realidad aumentada y la inteligencia artificial, sería interesante investigar cómo se pueden integrar de manera efectiva en la planificación 4D. Estudiar cómo estas tecnologías pueden complementarse entre sí y potenciar los beneficios de la planificación 4D abriría nuevas posibilidades en la optimización en la toma de decisiones.
- Mejora en la interoperabilidad y estandarización en BIM y en la planificación 4D continúa creciendo, es importante investigar y promover la interoperabilidad y la estandarización de los datos y los modelos. Investigar y desarrollar estándares y protocolos comunes que permitan una mejor integración entre los diferentes software y plataformas utilizados en la planificación 4D ayudaría a garantizar una colaboración más fluida y eficiente entre los equipos.
- Investigación sobre la planificación 4D a nivel urbano ya que actualmente la planificación 4D se aplica principalmente a proyectos individuales. Sin embargo, sería interesante explorar cómo se podría extender esta metodología a nivel urbano, considerando múltiples proyectos interconectados en una ciudad. Esto implicaría investigar cómo coordinar y sincronizar la planificación 4D de diferentes proyectos para lograr una planificación y gestión más eficiente a gran escala.
- Desarrollo de modelos predictivos avanzados ya que la inteligencia artificial y el aprendizaje automático pueden desempeñar un papel importante en la creación de estos modelos en la planificación 4D. Investigar y desarrollar algoritmos de IA que utilicen datos y en tiempo real para predecir la duración de las tareas, identificar posibles riesgos y ofrecer recomendaciones más precisas y detalladas mejoraría aún más la eficiencia y la toma de decisiones en la planificación 4D.
- Investigación sobre la planificación 4D en la fase de explotación y mantenimiento del edificio. Esto implicaría explorar cómo utilizar modelos en 4D para optimizar las tareas de mantenimiento, programar actividades de renovación y maximizar la eficiencia a lo largo del ciclo de vida del edificio.[17]

6.3- Reflexión sobre la importancia del uso de BIM y la planificación en 4D

Es muy importante la forma en la que ha evolucionado el uso de BIM y la planificación 4D en la industria de la construcción. Estas metodologías y tecnologías han revolucionado la forma en que se llevan a cabo los proyectos, dando beneficios significativos en términos de eficiencia, precisión y reducción de riesgos. A medida que la industria se enfrenta a desafíos cada vez más complejos y demandas crecientes, el uso de BIM y la planificación 4D se ha convertido en una necesidad para garantizar el éxito de los proyectos.

BIM ha tenido un cambio fundamental en la forma de diseñar y ejecutar los proyectos. Al utilizar modelos digitales en 3D que contienen información detallada sobre la geometría y los materiales, los equipos de construcción pueden visualizar y comprender mejor el proyecto antes de que se convierta en realidad. Esto ayuda a evitar errores y retrasos, ya que se pueden identificar y resolver posibles conflictos y problemas durante las etapas de diseño y planificación.

La planificación 4D agrega una dimensión adicional: el tiempo. Esto permite a los profesionales de la construcción ver cómo se desarrollará el proyecto en el tiempo y optimizar la secuencia de construcción. La planificación en 4D proporciona una visión más clara y precisa de las actividades de construcción, ayudando a coordinar mejor los diferentes equipos y recursos en el proyecto. Además, la planificación 4D facilita la identificación temprana de posibles problemas, lo que permite tomar medidas antes de que afecten negativamente el proyecto.

Esto ha impulsado una mayor colaboración y comunicación entre los participantes del proyecto. Al trabajar en un modelo digital centralizado, los equipos pueden compartir información de manera más eficiente y precisa, lo que reduce los errores en la comunicación.

Además de mejorar la eficiencia y la calidad de los proyectos, el uso de BIM y la planificación 4D también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad y la gestión del ciclo de vida del edificio. Al contar con modelos digitales precisos y actualizados, los profesionales pueden realizar análisis energéticos, simular el rendimiento del edificio y tomar decisiones informadas para optimizar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental.

Para finalizar, el uso de BIM y la planificación 4D en la industria de la construcción ha transformado la forma en que se planifican, diseñan y ejecutan los proyectos. Esta metodología y tecnología han demostrado su capacidad para mejorar la eficiencia, la precisión y la colaboración en la construcción, al tiempo que reducen los riesgos y los costos asociados. En un mundo donde la demanda de construcción sostenible y eficiente es cada vez mayor, el uso de BIM y la planificación 4D se ha vuelto esencial para asegurar el éxito de los proyectos y avanzar hacia un futuro de la arquitectura más inteligente y sostenible.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Manuel Moret Colomer (2020). LinkedIn. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/niveles-de-madurez-bim-salvador-moret-colomer/?originalSubdomain=es>
- [2] Héctor Moisés Chávez Vargas (2018) “Origen y Evolución del BIM”, SCRIBD. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/385214307/Origen-y-Evolucion-de-BIM>
- [3] María García Fernández (2017). Editeca. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/385214307/Origen-y-Evolucion-de-BIM>
- [4] BibLus (2021). “Arquitectura y BIM”, BibLus. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/el-bim-4d-las-ventajas-de-la-dimension-tiempo/>
- [5] David Barco Moreno (2022). “La Cuarta Dimensión del BIM”, Butic. Disponible en: <https://www.butic.es/uso-bim-4d-planificacion/>
- [6] ZIGURAT Instituto de Tecnología (2021). “Usos de BIM en obra”, ZIGURAT. Disponible en: <https://www.e-zigurat.com/es/blog/bim-obra-planificacion-4d-modelado-as-built-last-planner-system/>
- [7] THE B1M (2016). “What is 4D BIM?”, THE B1M. Disponible en: <https://www.theb1m.com/video/what-is-4d-bim>
- [8] BibLus (2021). “El BIM 4D, qué es y para qué sirve”, BibLus. Disponible en: <https://biblus.accasoftware.com/es/el-bim-4d-que-es-y-para-que-sirve/>
- [9] Elecosoft (2022). “4D BIM; What does it mean and what are the benefits?”, Elecosoft. Disponible en: <https://elecosoft.com/news/4d-bim-what-does-it-mean-and-what-are-the-benefits/#:~:text=4D%20BIM%20is%20the%20process,%3D%203D%20models%20%2B%20time%20information>
- [10] ESDIMA Escuela de Diseño Madrid (2020). “Ventajas y Desventajas de trabajar con BIM”, ESDIMA. Disponible en: <https://esdimad.com/ventajas-del-bim/>
- [11] P. Farnood Ahmadi and M. Arashpour (2020). “An Analysis of 4D-BIM Construction Planning: Advantages, Risks and Challenges”, International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/345037597_An_Analysis_of_4D-BIM_Construction_Planning_Advantages_Risks_and_Challenges

[12] Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015). “Objetivos de Desarrollo Sostenible” Naciones Unidas. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[13] Bimchannel (2021). “La revolución de la realidad virtual y BIM: incrementando el valor de la arquitectura”, Bimchannel. Disponible en: <https://bimchannel.net/es/la-revolucion-de-la-realidad-virtual/>

[14] Mario González Cerro (2019). “Avanzando BIM y GIS a Gemelos Digitales 4D”, LinkedIn. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/avanzando-bim-y-gis-gemelos-digitales-4d-para-mario-gonz%C3%A1lez-cerro/?originalSubdomain=es>

[15] RedHat (2023). “¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?”, RedHat. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

[16] TD SYNEX (2021). “La Inteligencia Artificial aplicada a la Arquitectura”, TD SYNEX. Disponible en: <https://www.datech.es/software/inteligencia-artificial-aplicada-a-la-arquitectura/>

[17] TALLER BIM (2018). “Interoperatividad en BIM”, Taller BIM. Disponible en: <https://tallerbim.com/interoperatividad-en-bim/>

Figura 1. Niveles de Madurez (Salvador Moret Colomer, LinkedIn, 2020). Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/niveles-de-madurez-bim-salvador-moret-colomer/?originalSubdomain=es>

Figura 2. Curva de MacLeany Extendida: Comparativa de flujos de trabajo en BIM y CAD (Pedro Ignacio Moreno Cuéllar y Emilio Sánchez Escámez, eSMARTCITY.es, 2016). Disponible en: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/construyendo-ciudades-inteligentes-bim-building-information-modeling>

Figura 3. Dimensiones BIM (ORFISA Internacional Consulting). Disponible en: <https://www.orfisaikc.com/dimensiones-bim/>

Figura 4. Ventajas de la Planificación de Obra aplicando el BIM 4D (Luken Quintana, INESA-TECH, 2016). Disponible en: <https://www.inesa-tech.com/blog/flujo-trabajo-bim-4d-5d>

Figura 5. Formato IFC Principios y Usos (Gabriel Conejera, buildBIM, 2018). Disponible en: <https://www.buildbim.cl/2018/07/20/ifc-principios-usos-y-mal-entendimiento-de-su-aplicabilidad/>