



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Centro Internacional de Postgrado
Máster Interuniversitario en Dirección De Proyectos

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Aplicación de metodología BIM en el sector industrial

Autor: María Pérez Chicharro
Director: Sara María Andrés Vizán

Fecha: julio 2022

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster se centra en la aplicación del proceso scan-to-BIM en entornos industriales. Debido a la falta de información y de metodologías concretas, surge la necesidad de desarrollar un procedimiento que facilite y optimice estos proyectos.

Para conseguirlo, se realiza una gestión del conocimiento a través de las lecciones aprendidas en proyectos similares realizados. Se tiene en cuenta tanto lo que ha ido bien y lo que ha ido mal como los riesgos identificados, para transformarse en acciones a implementar.

A lo largo del proyecto, se realiza un estado del arte y una recopilación y análisis de las lecciones aprendidas hasta llegar al resultado final.

PALABRAS CLAVE

Scan-to-BIM, industrial, lecciones aprendidas, procedimiento, gestión de proyectos

ABSTRACT

This project focuses on the application of the scan-to-BIM process in industrial environments. Due to the lack of information and methodologies, it is necessary to develop a procedure that facilitates and optimizes these projects.

To achieve this, knowledge management is carried out through the lessons learned in similar projects. What has gone right and what has gone wrong are taken into account, as well as the risks identified, in order to transform them into actions to be implemented.

Throughout the project, a state of the art and a compilation and analysis of the lessons learned is carried out until the final result is reached.

KEYWORDS

Scan-to-BIM, industrial, lessons learned, procedure, project management

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Objetivos.....	9
2.	ESTADO DEL ARTE	10
2.1	Introducción	10
2.2	Antecedentes y contexto	10
2.3	Investigación	11
2.4	Análisis de las metodologías.....	15
2.5	Resultados	20
2.6	Discusión y conclusiones.....	20
3.	¿QUÉ ES SCAN-TO-BIM?	21
3.1	Introducción	21
3.2	Características.....	22
3.3	Scan	23
3.4	BIM.....	25
3.5	Conclusiones	29
4.	METODOLOGÍA SEGUIDA	30
4.1	Experiencia	31
4.2	Análisis inicial	33
4.2.1	Diferencias.....	33
4.2.2	Problemas.....	34
4.2.3	Mejoras	35
5.	LECCIONES APRENDIDAS.....	36
5.1	Bueno	36
5.1.1	Estudio de las características específicas.....	36
5.1.2	Dividir por zonas.....	37
5.1.3	Documentación audiovisual extra	37
5.1.4	Modelos desactualizados como referencia	38
5.1.5	Elección del equipo LiDAR.....	38
5.1.6	Planificación de los estacionamientos.....	39
5.1.7	Formatos de los entregables	39
5.1.8	Nubes con imágenes 360°.....	40
5.1.9	Colores diferentes para cada etiqueta	40
5.1.10	Almacenamiento y compartir información	41

5.1.11	Comprobación calidad.....	41
5.1.12	Modelar con varias pantallas.....	42
5.1.13	Equipos multidisciplinares	43
5.1.14	Comunicación del avance entre el equipo del proyecto.....	43
5.1.15	Resultado final	44
5.1.16	Resumen.....	44
5.2	Malo.....	46
5.2.1	Poca información.....	46
5.2.2	Escasa e incompleta definición del alcance y los requisitos con los clientes.....	46
5.2.3	Etiquetado en BIM	46
5.2.4	Volver a escanear en zonas importantes	47
5.2.5	Falta de un plan de ejecución	47
5.2.6	Gestión de cambios.....	47
5.2.7	Cambios en las últimas etapas	48
5.2.8	Retrasos debido a la burocracia que no se había considerado	48
5.2.9	Momentos de escaneo no siempre son los óptimos	48
5.2.10	Intercambio de archivos.....	48
5.2.11	Gestión de coordenadas en los distintos softwares.....	49
5.2.12	Nombre de archivos.....	50
5.2.13	Cliente no puede visualizar archivos	50
5.2.14	Modelado (cuello de botella)	50
5.2.15	Modelado para ajustarse a la realidad o usar ejes del proyecto	50
5.2.16	Estructura del equipo en tema de comunicación exterior	51
5.2.17	Tabla resumen	51
5.3	Riesgos identificados	53
6.	PROCEDIMIENTO	56
6.1	Datos de partida	57
6.2	Planificación	59
6.2.1	Relación con fases anteriores.....	61
6.3	Toma de datos	62
6.3.1	Relación con fases anteriores.....	63
6.4	Procesado	64
6.4.1	Relación con fases anteriores.....	65
6.5	Modelado BIM.....	66

6.5.1	Relación con fases anteriores.....	67
6.6	Presentación	68
6.6.1	Relación con fases anteriores.....	69
6.7	Calidad	70
6.7.1	Relación con fases anteriores.....	71
6.8	Procedimiento final	72
6.9	Conclusiones del procedimiento.....	74
7.	CONCLUSIONES	75
7.1	Continuidad del proyecto.....	75
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXO 1- Tabla tipo y checklist.....		80

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Marco de referencia de una metodología Scan-to-BIM [9]	12
Figura 2. Metodología aplicada a un caso industrial real [5].....	13
Figura 3. Metodología para H-BIM [16]	14
Figura 4. Flujo de trabajo para la obtención automática del modelo BIM de un quitamiedos [17]	14
Figura 5. Análisis de las metodologías existentes [Elaboración propia].....	15
Figura 6. Factores predominantes en los datos de partida [Elaboración propia]	16
Figura 7. Factor importante entre las dos primeras fases [Elaboración propia]	16
Figura 8. Factores predominantes en la planificación [Elaboración propia].....	17
Figura 9. Factores predominantes en la toma de datos [Elaboración propia]	17
Figura 10. Factores predominantes en el procesado [Elaboración propia]	18
Figura 11. Factores predominantes en el modelado BIM [Elaboración propia].....	18
Figura 12. Factores predominantes en la fase de compartir información [Elaboración propia]	19
Figura 13. Nube de puntos y modelo final del puerto de Llanes [Excade SL].....	21
Figura 14. Fases Scan-to-BIM [Aplicaciones Geomáticas SL].....	22
Figura 15. LiDAR terrestre GLS 2000 [Excade SL].....	23
Figura 16 . Izquierda: Mobile mapping IP-S3. Derecha: dron [Excade SL].....	24
Figura 17. Procesado de nube de puntos en Magnet Collage [Excade SL]	24
Figura 18. BIM en las diferentes etapas de un proyecto [35].....	25
Figura 19. LOD [38].....	26
Figura 20. Datos cuantitativos generales de la implantación BIM en España [40].....	27
Figura 21 . Requisitos BIM: usos y entregables [40]	27
Figura 22. Requisitos BIM: estructura y niveles de información [40].....	28
Figura 23. Requisitos BIM: colaboración y sistema de clasificación requerido [40].....	28
Figura 24. Requisitos BIM: estándares y control de calidad [40]	29

Figura 25. Esquema del desarrollo del trabajo mediante lecciones aprendidas [Elaboración propia].....	31
Figura 26. Estudios de obras mediante modelado, animación 3D y realidad virtual [Excade SL]	32
Figura 27. Izquierda: control planitud. Derecha: estudio de obra [Excade SL].....	32
Figura 28. De la nube de puntos, al modelo inicial y al modelo final [Aplicaciones Geomáticas SL]	33
Figura 29. Scan-to-BIM en entorno industrial. Izquierda: nube de puntos. Derecha: modelo [Excade SL]	33
Figura 30. Anotaciones de visita previa [Excade SL]	37
Figura 31. Documentación adicional del proyecto [Excade SL]	38
Figura 32. Procesado de los escaneos libres y orientados hacia las bases b1 y b2 [Excade SL]	39
Figura 33. Nube de puntos con imágenes 360° [Excade SL]	40
Figura 34. Etiquetas con colores según especialidad [Excade SL]	41
Figura 35. Error de desalineación en el modelo [Excade SL]	42
Figura 36. Configuración del entorno de trabajo de un modelador [Excade SL]	42
Figura 37. Tablón creado en Trello para un proyecto scan-to-BIM [Excade SL]	43
Figura 38. Errores en el intercambio de archivos entre software en las uniones de tuberías [Excade SL]	49
Figura 39. Problemas con los sistemas de coordenadas [Excade SL]	49
Figura 40. Fases principales del procedimiento [Elaboración propia]	56
Figura 41. Leyenda de los gráficos [Elaboración propia]	56
Figura 42. Datos de partida [Elaboración propia]	57
Figura 43. Planificación [Elaboración propia]	59
Figura 44. Relaciones entre datos de partida y planificación [Elaboración propia]	61
Figura 45. Toma de datos [Elaboración propia]	62
Figura 46. Relaciones entre la toma de datos y las fases anteriores [Elaboración propia] ..	63
Figura 47. Procesado [Elaboración propia].....	64

Figura 48. Relaciones entre el procesado y las fases anteriores [Elaboración propia]	65
Figura 49. Modelado BIM [Elaboración propia]	66
Figura 50. Relaciones entre el modelado BIM y las fases anteriores [Elaboración propia] ..	67
Figura 51. Presentación [Elaboración propia]	68
Figura 52. Relaciones entre la presentación y las fases anteriores [Elaboración propia]	69
Figura 53. Calidad [Elaboración propia]	70
Figura 54. Relaciones entre calidad y las fases anteriores [Elaboración propia]	71
Figura 55. Procedimiento para proyectos scan-to-BIM en plantas industriales [Elaboración propia].....	73
Figura 56. Checklist para la toma de datos inicial con el cliente [Elaboración propia]	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos importantes en la gestión de proyectos Scan-to-BIM [Elaboración propia]	36
Tabla 2. Resumen de las lecciones aprendidas de lo que ha ido bien [Elaboración propia]	45
Tabla 3. Resumen de las lecciones aprendidas de lo que ha ido mal [Elaboración propia]	53
Tabla 4. Tabla de los riesgos identificados y su severidad [Elaboración propia]	53
Tabla 5. Clasificación de los riesgos según el impacto y la probabilidad [Elaboración propia]	54

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha detectado una creciente preocupación por la conservación, el mantenimiento y la mejora de las infraestructuras para un desarrollo más sostenible. Por otra parte, se ha producido una importante evolución de la tecnología en diferentes áreas, lo que facilita la digitalización de los procesos.

Estos dos aspectos ponen en valor la importancia de la digitalización del entorno para facilitar la gestión y el mantenimiento de ciudades, carreteras e industrias. En concreto, a nivel industrial, destaca su aplicación en la industria 4.0 y en los gemelos digitales.

El punto de partida para la digitalización de los entornos industriales es la obtención de modelos tridimensionales fieles a la realidad. Para conseguir capturar de manera precisa, sencilla y rápida todos los elementos, se ha desarrollado un proceso denominado scan-to-BIM.

Este proceso se basa en la captura de la realidad para obtener nubes de puntos, que sirven como base para la creación de modelos BIM. Estos modelos contienen además de información geométrica, toda la información necesaria de cada elemento.

En la actualidad, existen varias herramientas que permiten realizar este proceso técnicamente. Pero, en cambio, **falta información** sobre metodologías, procedimientos o flujos que permitan el desarrollo óptimo de estos proyectos en entornos industriales.

Esta falta provoca diferentes problemas durante la ejecución y la gestión de los proyectos. Los más destacados son el aumento de los plazos y los costes, la falta de calidad, el incremento de los riesgos, la aparición de desconformidades y la inadecuación de los resultados.

1.1 Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este trabajo fin de máster son:

- Desarrollar un procedimiento para su aplicación en proyectos basados en el proceso scan-to-BIM en entornos industriales.
- Utilizar el know-how obtenido de manera profesional durante la ejecución de proyectos para poder obtener, de manera metodológica y objetiva, información útil.
- Realizar una gestión del conocimiento para mantener una mejora continua en los proyectos.
- Desarrollar un procedimiento ágil, completo y adaptable a los diferentes equipos y compañías, que optimice los plazos, los costes y la calidad.
- Analizar la información existente acerca de la aplicación del proceso scan-to-BIM en entornos industriales.
- Analizar las soluciones desarrolladas en otros sectores para la aplicación del proceso scan-to-BIM.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

Este documento presenta una investigación de la situación actual del proceso Scan-to-BIM, centrándose en las metodologías o enfoques relacionados con su aplicación en los entornos industriales. Con este análisis se pretende analizar los avances, las tendencias y los problemas que existen para desarrollar una posible metodología que facilite su implantación y uso en el sector industrial.

Para lograr el objetivo anterior, se realiza una lectura comprensiva de la literatura existente de distintos artículos científicos presentes en revistas, tesis y artículos de conferencias publicados en todo el mundo.

La estructura seguida es la siguiente. Se comienza con una contextualización sobre el proceso Scan-to-BIM y sus antecedentes, a continuación, se presenta el desarrollo del estudio y sus resultados, y, por último, se presentan las conclusiones y discusiones.

2.2 Antecedentes y contexto

Desde principios de siglo, el sector AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción), al igual que muchos otros sectores, ha comenzado a digitalizar sus procesos. En concreto, se está desarrollando una metodología para el diseño y gestión de los proyectos de construcción denominada BIM (Building Information Modeling) [1].

BIM se puede definir como la representación de las características físicas y funcionales de un elemento constructivo de manera digital y compartida, y que conforma la base para la toma de decisiones. Se puede utilizar a lo largo de toda la vida útil del edificio desde su concepción hasta su mantenimiento y demolición. Estos modelos pueden presentar atributos geométricos o no geométricos, atributos semánticos y atributos topológicos [2].

Esta metodología presenta varias ventajas como el aumento de la colaboración entre los miembros de un equipo, la mejora de la relación con el cliente, el aumento de los beneficios, la disminución de los costes, la mejora de la productividad y la calidad y la mejora en la gestión de plazos [1], [2]. Aunque también se observan los siguientes obstáculos en su implementación [3]: definiciones BIM imprecisas, desarrollo de software individual solo para ciertas fases, interoperabilidad de los datos, derechos de la propiedad intelectual y la propiedad virtual, y la necesidad de ciertos requerimientos y habilidades.

El uso de BIM está en auge debido a los requerimientos de algunas empresas y a los incentivos gubernamentales. Aunque está más desarrollada y aceptada su implantación en las fases tempranas de la vida útil del edificio, se están realizando más investigaciones para su aplicación en las últimas fases correspondientes con el mantenimiento y la demolición de los edificios [2], [4].

Se pueden dar tres posibles casos en el uso de BIM: (1) la creación de modelos BIM para construcción nueva, (2) la actualización del modelo BIM existente de un edificio construido, y (3) la creación de un modelo BIM de un edificio ya construido.

La situación en los países industrializados, donde cada vez se realizan más reacondicionamientos y deconstrucciones de los edificios existentes y menos construcciones nuevas [2], hace necesario el desarrollo de los casos (2) y (3).

Este documento se centra en el caso (3), el proceso de creación de un modelo BIM de un edificio ya construido que no presenta modelo previo, se denomina Scan-to-BIM o Points-to-BIM. Se trata por tanto de un proceso de ingeniería inversa por el cual se obtiene un modelo as-built BIM de una construcción ya existente partiendo de la nube de puntos resultante del escaneo [5].

El uso del BIM en edificios ya construidos, como plantas industriales, tiene como principal ventaja la mejora del Facility management, para las renovaciones, el mantenimiento o la planificación de espacios [1], [6]–[8]. Estos modelos FM-BIM favorecen la reducción de costes, la optimización de espacio y la gestión de inventario [8].

Para el correcto desarrollo y cumplimiento de los requisitos del modelo as-built BIM se presentan los factores más determinantes que es necesario definir. Estos factores son LOD (nivel de desarrollo), LOA (nivel de precisión), los estándares BIM y la precisión y la tolerancia requeridos [4]. La multitud y variedad de pasos necesarios para realizar este proceso, hace necesario la formación de equipos multidisciplinares. Actualmente los equipos son pequeños, entre 1 y 5 miembros, pero con formaciones distintas: ingenieros, arquitectos, topógrafos y diseñadores [4].

2.3 Investigación

En este apartado se describen las metodologías desarrolladas y aplicadas por investigadores y profesionales para proyectos scan-to-BIM tanto en el sector industrial como en otros sectores.

Algunas publicaciones desarrollan metodologías de manera general para poder aplicarlas a cualquier sector. Es el caso de [9], en el que se desarrolla un marco de referencia que se adapta a distintas situaciones. Presenta cuatro pasos (figura 1), primero identifica los requerimientos, segundo determina la calidad del escaneo, tercero planifica el escaneo y por último se realiza la construcción del modelo BIM.

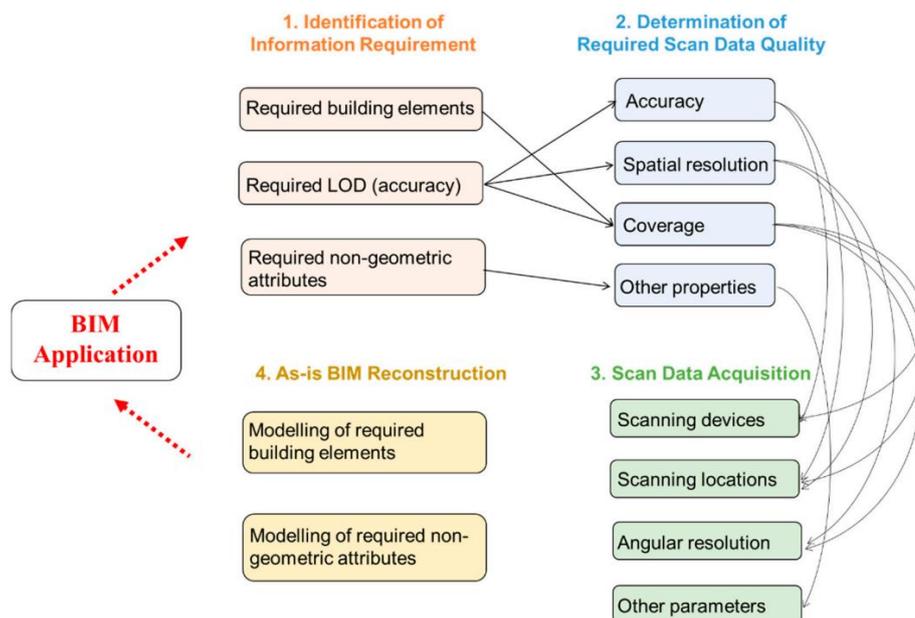


Figura 1. Marco de referencia de una metodología Scan-to-BIM [9]

Al centrarse en el sector objeto de estudio, el **sector industrial**, se encuentran las siguientes metodologías o marcos de trabajo.

Un estudio reciente, en el que se describe la situación actual de la implantación de este proceso de manera profesional [4], muestra que los proyectos industriales se encuentran entre los segundos más realizados tanto cuando se trata de proyectos como de proyectos de edificios antiguos. Se encuentran por detrás de proyectos comerciales en el primer caso y de proyectos culturales en el segundo.

No existe apenas documentación sobre metodologías o aplicaciones dentro de este sector. Algunas publicaciones, como [10], muestran la aplicación en una planta industrial, pero desde el punto de vista del patrimonio. En estos casos, los requerimientos y usos son distintos, por lo que no pueden extrapolarse a la creación de modelos BIM para entornos industriales en uso o pendientes de renovación.

En un estudio desarrollado para la aplicación del proceso Scan-to-BIM [5], se propone una metodología general que se adapta para utilizarse en el sector industrial, aunque también se adapta a otro tipo de proyectos como edificios históricos. Se divide en seis pasos (figura 2), clasificación de elementos, definición del nivel de detalle requerido, definición de parámetros del escaneo, registro y segmentación de nubes de puntos, generación del modelo as-built BIM y análisis.

Para la realización de este proceso es necesario el uso y manejo de distintos softwares en cada paso, o incluso se usa más de uno en cada.

A lo largo de la literatura también se han encontrado ejemplos de usos del proceso en plantas industriales como es el caso de una planta de tratamiento en Hong Kong [7].

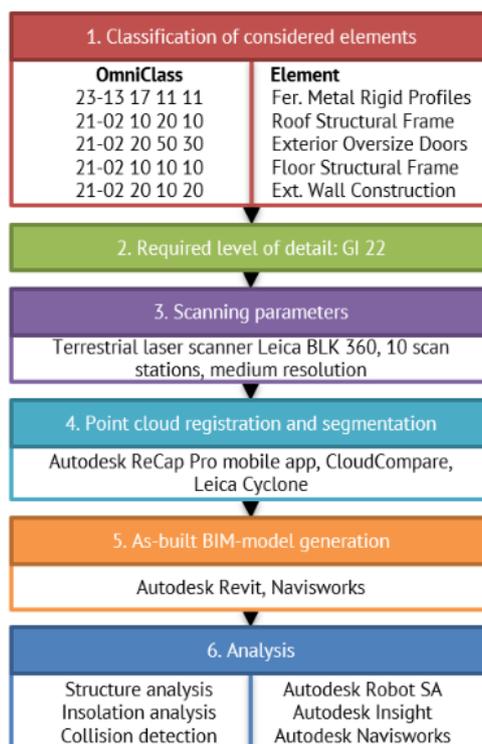


Figura 2. Metodología aplicada a un caso industrial real [5]

A diferencia del sector industrial, el sector cultural y de **patrimonio** presenta numerosas publicaciones sobre metodologías y casos reales. En este sector, el modelo BIM resultante se denomina H-BIM (Heritage BIM) y es habitual su aplicación en iglesias [11], [12].

Hay dos paradigmas en el modelado de los elementos en el patrimonio [13]: paramétricos y mallas. Los paramétricos son los que se utilizan habitualmente en BIM y en tareas de mantenimiento, mientras que las mallas o superficies 3D se utilizan para la visualización con gran detalle. Es habitual en el sector la creación de mallas para la representación en 3D de estos edificios por el nivel de detalle requerido y por la presencia de numerosos elementos no estandarizados que dificultan la creación de familias paramétricas [12], [14].

En cuanto a la metodología seguida, se desarrollan distintos enfoques. En [15], se estructura en cuatro pasos: toma de datos y documentación, segmentación, triangulación y creación de elementos paramétricos y sus etiquetas.

A diferencia del anterior, en otro estudio se describe una división en dos flujos de trabajo (figura 3): topográfico y modelado [16]. En la primera parte se realizaría el escaneado y la optimización de la información capturada y en el segundo se realizaría el modelado estándar, la creación de familias y el modelado automático del terreno.

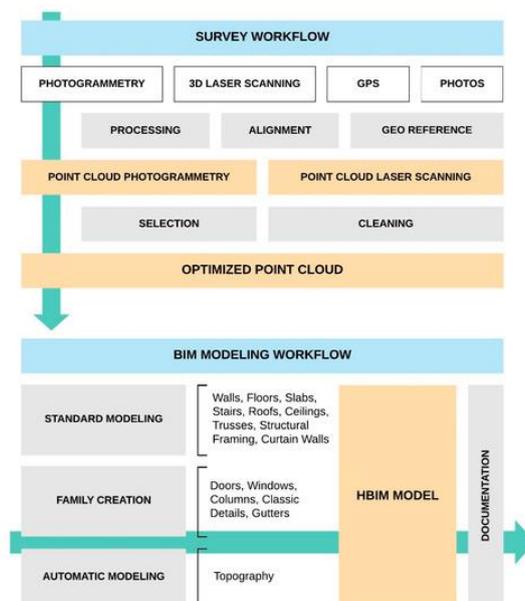


Figura 3. Metodología para H-BIM [16]

Otro de los sectores en los que se realiza Scan-to-BIM es en el sector de **obra civil** para su uso en carreteras, que se caracteriza por presentar elementos lineales.

Un estudio reciente propone un flujo de trabajo en el que se modela de manera automática la vía y algunos de los elementos de ella, como quitamiedos y señales [17]. Para ello, como se ve en el ejemplo de obtención del quitamiedos (figura 4), se realiza una segmentación del suelo, se identifican los límites de la carretera, se hace un análisis dimensional y se identifica y modela el quitamiedos.

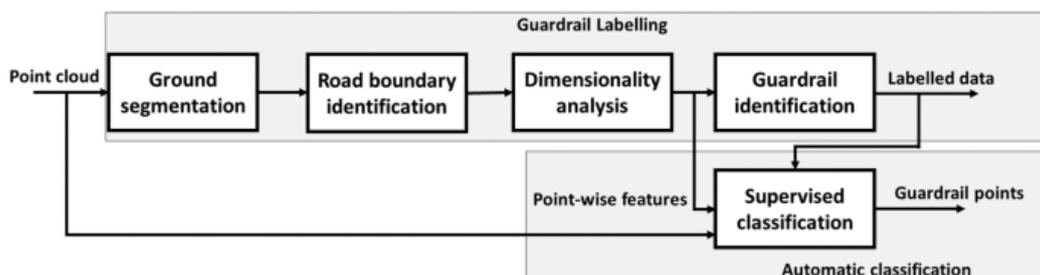


Figura 4. Flujo de trabajo para la obtención automática del modelo BIM de un quitamiedos [17]

También dentro de infraestructuras históricas, se siguen las directrices similares al estudio anterior consiguiendo parametrizarlas [18].

Por otra parte, está en auge el uso de los sistemas de visión artificial y están apareciendo distintas publicaciones en las que se muestra su uso con los modelos BIM. Para ello, una vez generado el modelo BIM se pasa a realidad extendida con motores de videojuegos como Unreal Engine o Unity [19]–[21].

2.4 Análisis de las metodologías

Partiendo de las metodologías encontradas en el estado del arte, se analizan los factores predominantes que se tienen en cuenta a la hora de planificar y gestionar los proyectos, tanto en el sector industrial como en el resto de sectores. Por último, se analizan las fortalezas y debilidades de estas investigaciones.

Se observa, de manera general, una jerarquía común en cuanto a los pasos principales. La gestión de los proyectos scan-to-BIM se puede dividir en seis fases: datos de partida, planificación, toma de datos, procesado, modelado BIM y compartir información (figura 5).

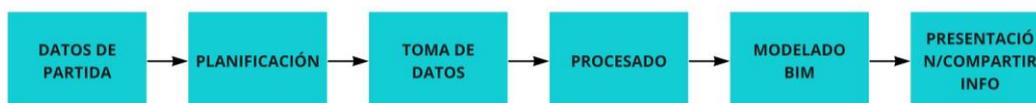


Figura 5. Análisis de las metodologías existentes [Elaboración propia]

Aunque en la definición de las fases existe conformidad entre los diferentes investigadores y profesionales, los factores claves y las tareas más importantes en cada una de ellas son más diversos. En las siguientes figuras se muestra un esquema con los aspectos más importantes analizados (figura 6-12).

En los datos de partida (figura 6), se presentan los principales requisitos, el alcance y los factores a tener en cuenta a la hora de comenzar estos proyectos scan-to-BIM. Se deben tener en cuenta tanto las especificaciones de la nube de puntos como del modelo BIM, así como las características para llevar a cabo el trabajo.

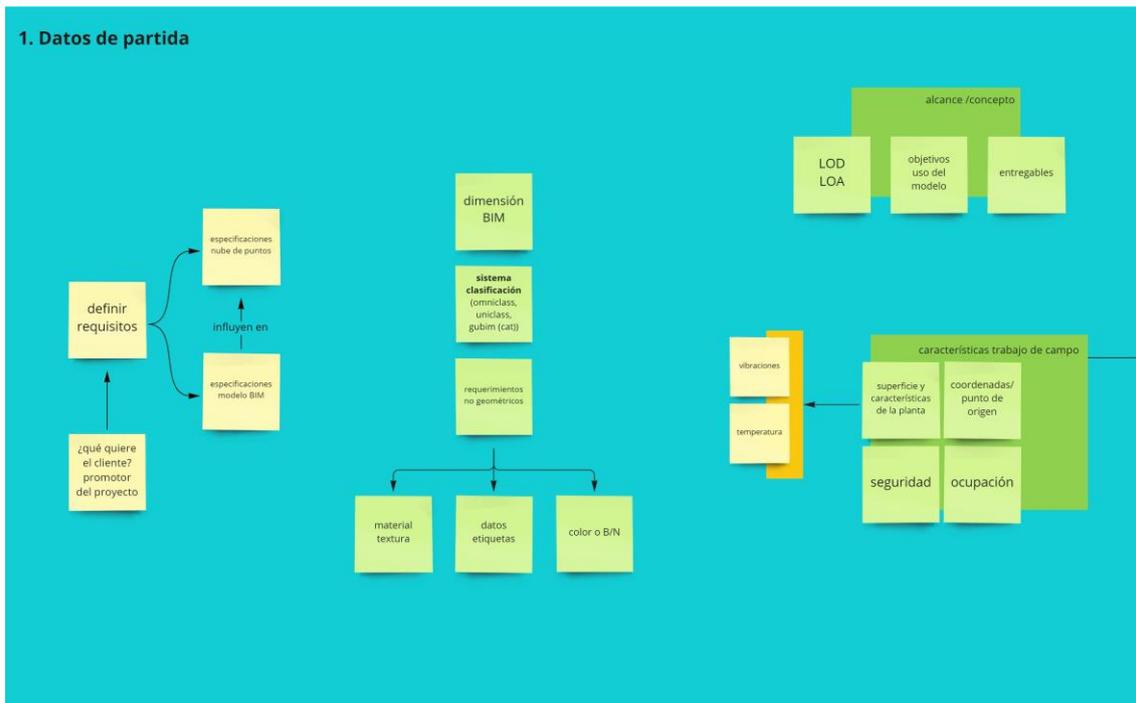


Figura 6. Factores predominantes en los datos de partida [Elaboración propia]

Entre la fase uno y la dos, se define un elemento importante que sería el plan de ejecución BIM (figura 7). En este documento, BEP, se define todo lo analizado en la fase anterior.

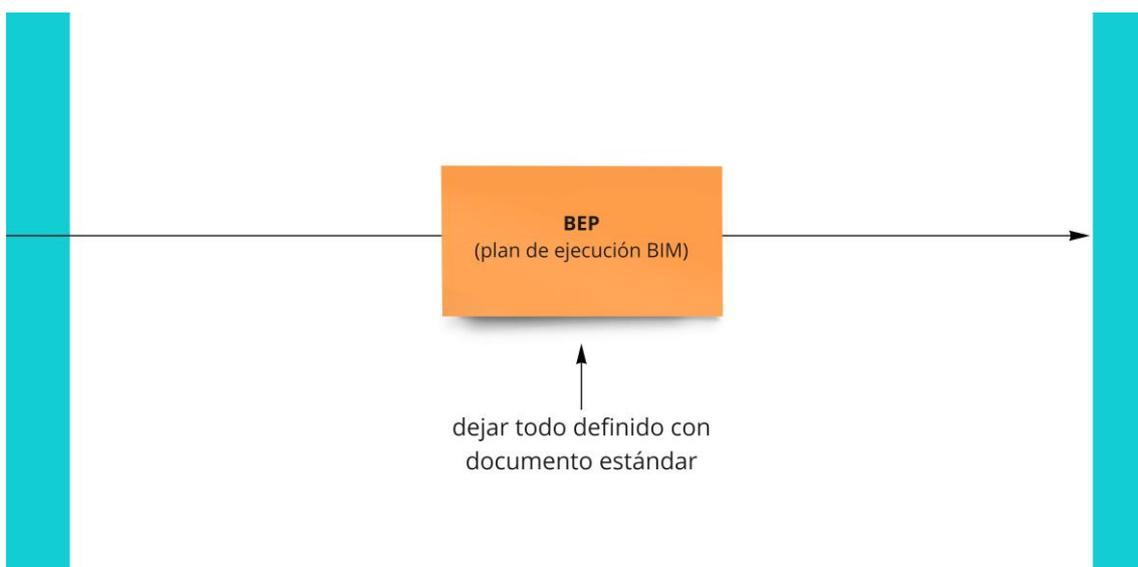


Figura 7. Factor importante entre las dos primeras fases [Elaboración propia]

En la planificación (figura 8), se preparan las diferentes áreas de gestión teniendo en cuenta las diferencias entre la parte de escaneado y la de modelado. Se parten de los datos de partida para adecuar la gestión y planificación del proyecto a la información obtenida.

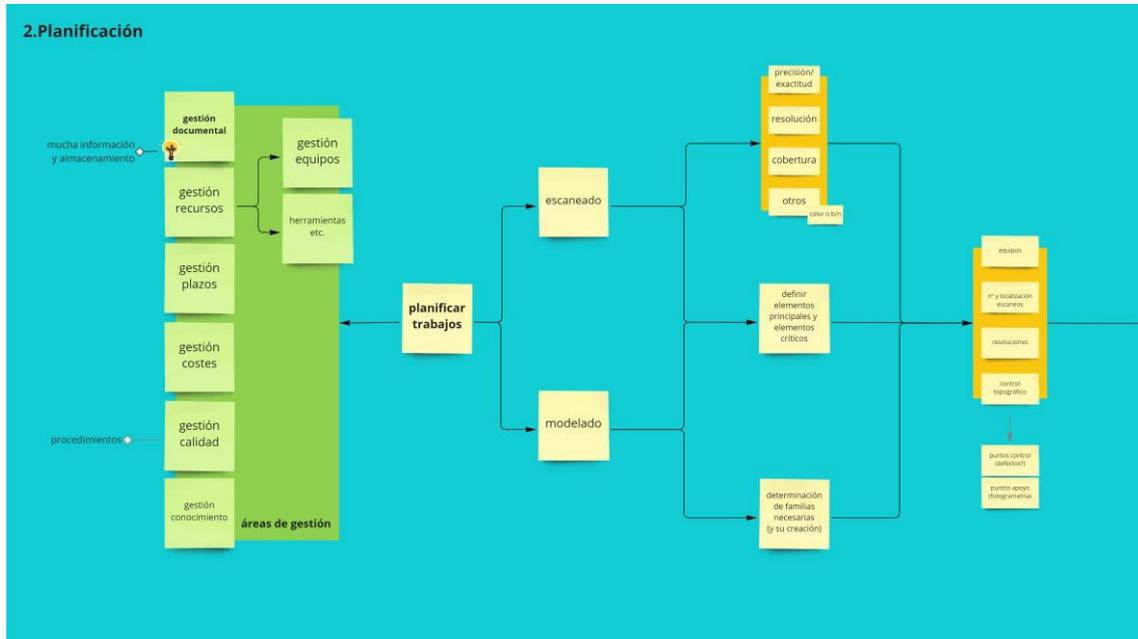


Figura 8. Factores predominantes en la planificación [Elaboración propia]

En la toma de datos (figura 9), se escanea y se consigue más información.

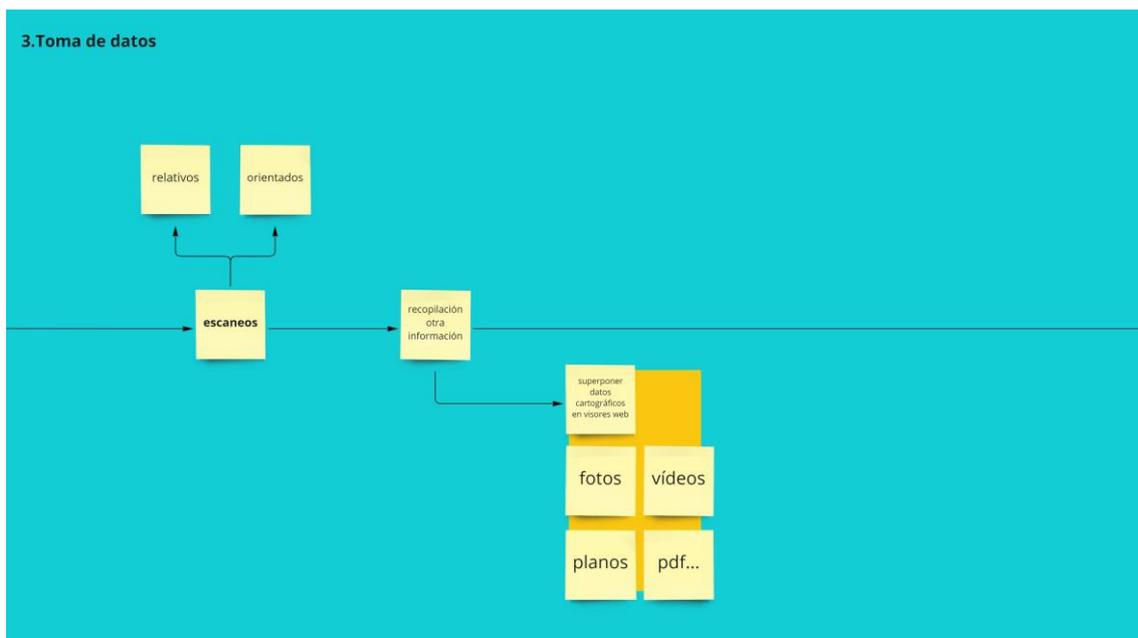


Figura 9. Factores predominantes en la toma de datos [Elaboración propia]

En el procesado (figura 10), se realiza una serie de pasos para conseguir la nube de puntos. Se registra, alinea, segmenta, limpia, optimiza y revisa el crudo obtenido.

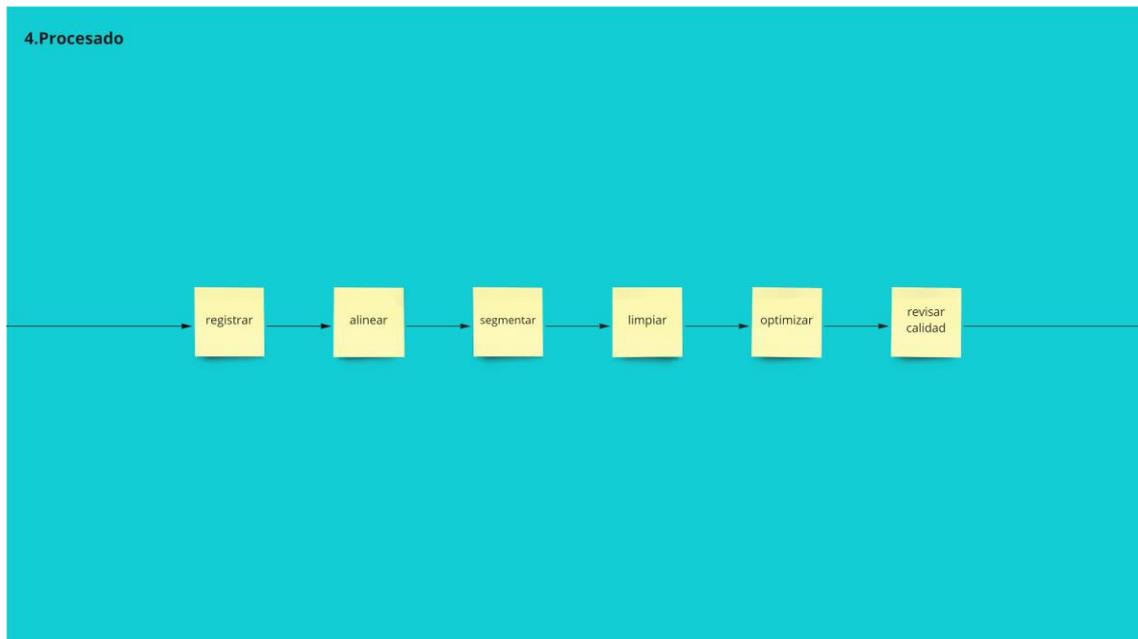


Figura 10. Factores predominantes en el procesado [Elaboración propia]

En el modelado BIM (figura 11), el cuello de botella del proceso, se modela, etiqueta y revisa el entregable BIM.

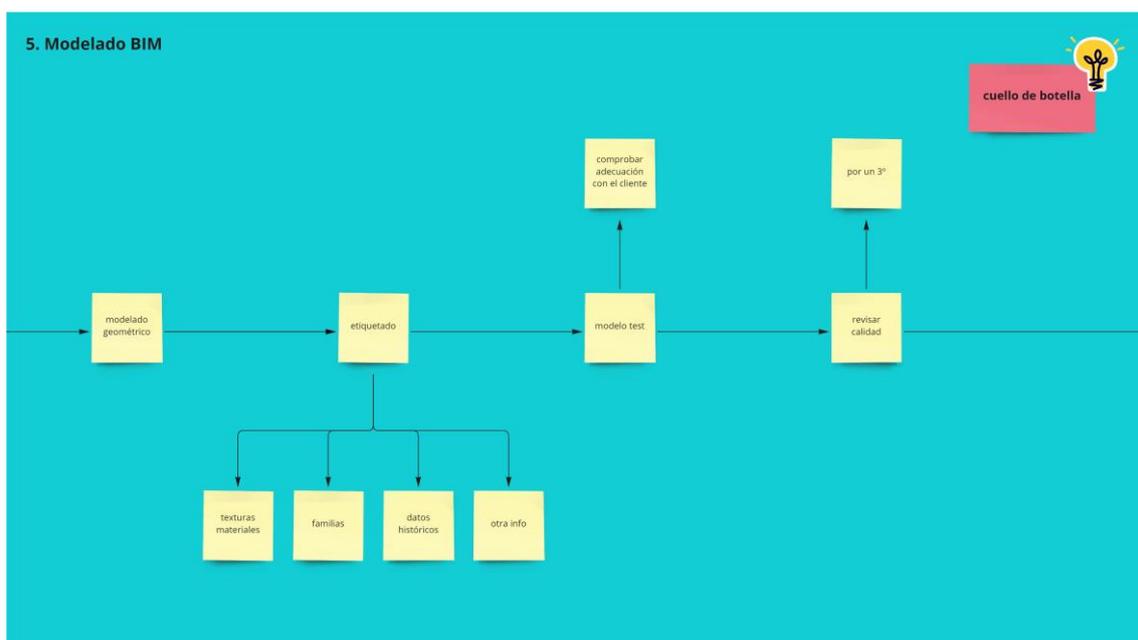


Figura 11. Factores predominantes en el modelado BIM [Elaboración propia]

En la presentación, momento en el que se comparte la información (figura 12), se puede entregar solamente en formato BIM y la nube de puntos, pero también se puede presentar de diferentes formas como planos, sistemas de visualización artificial o mediante animaciones.

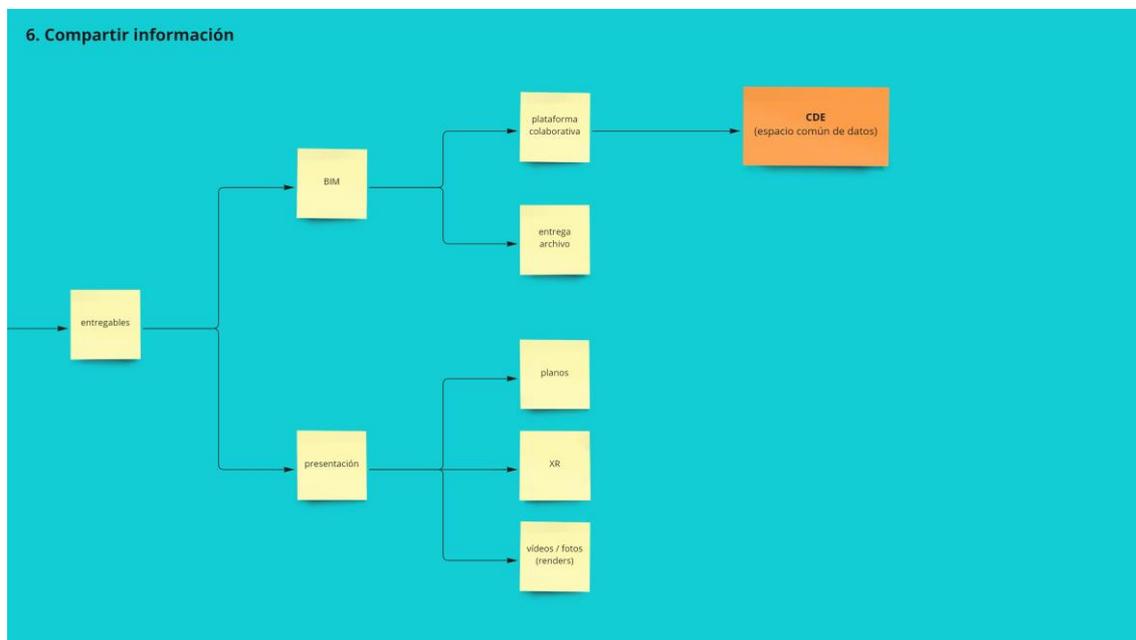


Figura 12. Factores predominantes en la fase de compartir información [Elaboración propia]

A continuación, se analizan las **fortalezas y debilidades** de las dos principales metodologías encontradas que se aplican en el sector industrial.

Cuando se analiza [9], la principal fortaleza que se detecta es la relación entre los diferentes aspectos que forman parte de cada fase. A partir de estas relaciones, se detectan los aspectos a considerar cuando se planifica el siguiente paso del proyecto. Además, se presenta de forma clara, sencilla y visual, lo que facilita su comprensión.

En cuanto a las debilidades encontradas, es un marco general que atiende a los aspectos fundamentales que configuran el propio proceso scan-to-BIM y no se adapta a cada uno de los tipos de proyectos que existen (industrial, patrimonio, civil...).

En el caso de [5], destaca la codificación del nivel de detalle atendiendo a una clasificación propia donde se tienen en cuenta la precisión y la cantidad de información requeridas. Por otra parte, la incorporación de ejemplos prácticos donde se detallan aspectos analizados en cada paso, permite visualizar el flujo de trabajo seguido.

Al igual que en el caso anterior, la principal debilidad es la visión general del esquema, que no atiende a las características específicas de los espacios industriales. Además, tampoco relaciona los aspectos clave, solo define los seis pasos a seguir.

2.5 Resultados

Tras el análisis del estado del arte del proceso Scan-to-BIM, se observa que no existe ninguna metodología específica para zonas industriales, solo en uno de los casos estudiados se adapta una general a este tipo de proyectos. También se ha generado algún marco de trabajo del proceso scan-to-BIM aplicable a todos los sectores, aunque de manera muy general.

Por otra parte, se observa que la realización de proyectos industriales es muy común en el desarrollo de la actividad profesional [4], pero la mayor parte de los estudios realizados están relacionados con patrimonio

En relación al software, se utilizan numerosos, pero de manera general se utiliza como principal Autodesk Revit [22]. Otros de los programas que se utilizan en los casos prácticos son Autodesk Civil 3D [23], Autodesk Recap [24], Naviswork [25], CloudCompare [26], Leyca Cyclone [27] y Rhinoceros [28].

2.6 Discusión y conclusiones

En este último apartado, y tras la realización del estado del arte, se describen la discusión y las conclusiones resultantes.

Aplicar el proceso scan-to-BIM permite generar modelos digitales de las industrias y sus entornos, lo que facilita diferentes tareas como el mantenimiento, la planificación o la simulación. Además, favorece la presentación y el uso de estos entornos digitales para mejorar la prevención y seguridad laboral, el entrenamiento y el perfeccionamiento de trabajos en esas zonas.

La ausencia de metodologías o procedimientos claros que permitan una gestión ágil de los proyectos scan-to-BIM en plantas industriales, muestra la necesidad de generar un procedimiento que se centre en este sector, teniendo en cuenta sus características específicas.

El interés en aplicarlo en el sector industrial está en auge, como se deduce al analizar tres aspectos fundamentales. Los estudios sobre la extracción de componentes en escenas MEP están aumentando, el porcentaje de profesionales que trabajan en proyectos Scan-to-BIM industriales es muy alto, y se está produciendo un aumento de reconstrucciones y demoliciones en los países industrializados.

En cuanto a su aplicación, se encuentran varios problemas relacionados con el tiempo, la necesidad de especialización, la falta de información, la inversión en software y en formación, y la dificultad derivada de la interoperabilidad.

3. ¿QUÉ ES SCAN-TO-BIM?

3.1 Introducción

En la actualidad, la digitalización es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de las empresas, las instituciones y la sociedad. En estos últimos años se han desarrollado diferentes programas con ayudas para la mejora de este aspecto, como el programa Next Generation UE en su pilar de transformación digital [29].

La digitalización de la construcción es un aspecto relevante dentro de las agendas tanto a nivel mundial como europeo [30]. Dentro de Agenda 2030, dos Objetivos de Desarrollo Sostenible están relacionados con ello, Objetivo 9 - Industria, innovación e infraestructura, y Objetivo 11 - Ciudades y comunidades sostenibles. Relacionado con este sector, una de las líneas clave a nivel europeo es el mantenimiento de las infraestructuras actuales.

Scan-to-BIM une estos dos elementos, digitalización y mantenimiento. Es un proceso de ingeniería inversa que tiene como objetivo la obtención de un modelo BIM del estado actual de un determinado edificio, complejo industrial o infraestructura (modelo as-built) (figura 13). El uso de este modelo puede variar según las necesidades del usuario, puede servir como base para realizar el mantenimiento o como inicio de un gemelo digital donde se incorporan más datos para realizar automatizaciones o control de procesos.

De manera global, se pueden definir cuatro fases diferenciadas en este proceso. Se comienza escaneando el elemento mediante técnicas topográficas como LiDAR o fotogrametría, posteriormente se realiza el procesado de la nube de puntos obtenida, se realiza un modelado 3D inicial y se finaliza añadiendo al modelo toda la información geométrica y no geométrica necesaria consiguiendo el modelo BIM final (figura 14).

En los siguientes apartados se especifican las características de los proyectos que incorporan Scan-to-BIM, lo que engloban las dos palabras que conforman su nombre, Scan y BIM, así como algunas dificultades que presentan estos proyectos.

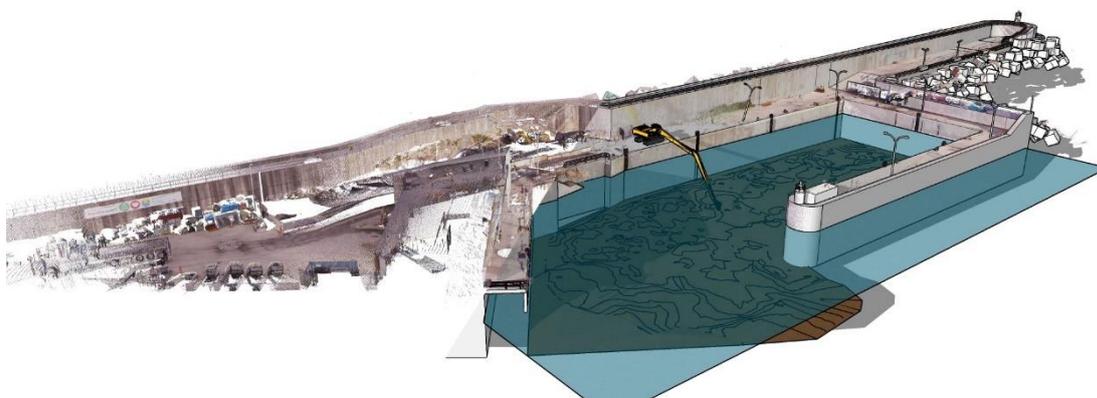


Figura 13. Nube de puntos y modelo final del puerto de Llanes [Excade SL]

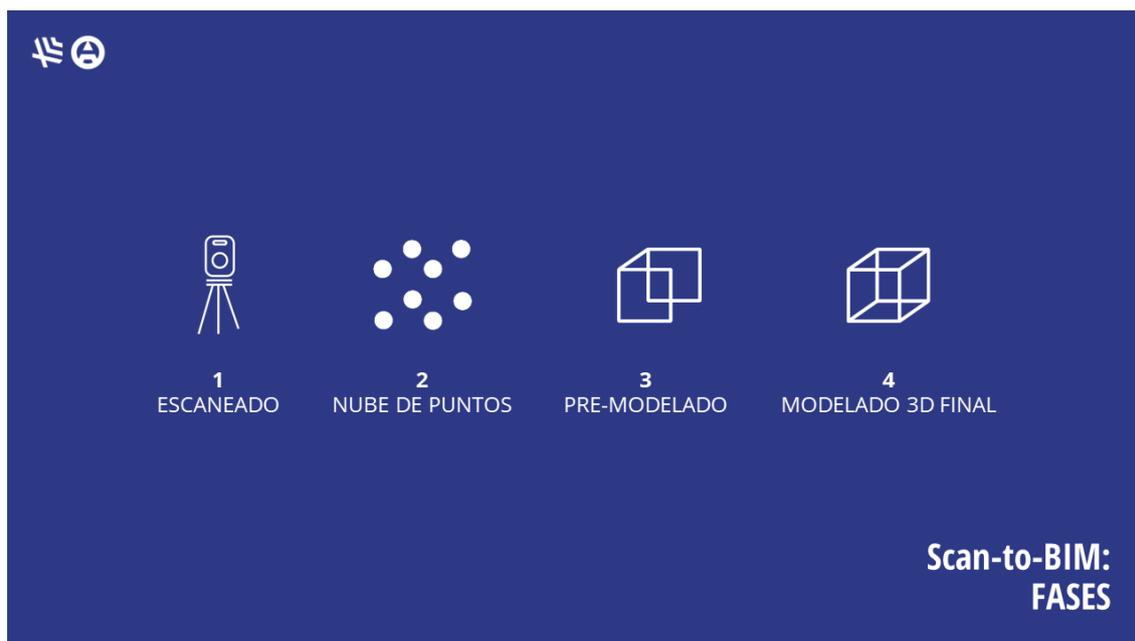


Figura 14. Fases Scan-to-BIM [Aplicaciones Geomáticas SL]

3.2 Características

Los proyectos que siguen este flujo de trabajo presentan unas características comunes, derivadas del propio proceso y de su reciente implantación. A continuación, se especifican las más destacadas.

Requisitos específicos y difíciles de definir. La reciente implantación del scan-to-BIM, así como del BIM, dificulta la definición de requisitos con el cliente. Además, las características y las finalidades pueden ser muy diferentes según el tipo de proyecto del que se trate.

Menor tiempo y más datos. Gracias al escáner láser se puede capturar gran cantidad de información precisa en poco tiempo, lo que reduce los tiempos de trabajo en campo y aporta más información y más detallada para el posterior trabajo de gabinete.

Mucha información. La generación de nubes de puntos en crudo, las nubes de puntos procesadas, los primeros modelados y el modelado final BIM hace que la generación de información y, por tanto, la necesidad de almacenamiento sea muy elevada.

Varios entregables. El modelo BIM resultado puede entregarse dividido por plantas o áreas y, además, puede ir acompañado de entregables complementarios como la nube de puntos obtenida o la presentación del proyecto mediante animaciones y sistemas de visión artificial.

En proceso de implantación. El desarrollo de escáneres más potentes y asequibles, así como el incremento del uso de BIM para el diseño y la construcción de edificios, ha permitido la incorporación y evolución del proceso scan-to-BIM a nivel profesional.

BIM del estado actual. A diferencia de la aplicación de la metodología BIM en las fases de diseño, donde los elementos están correctamente colocados y en su mayoría son

elementos normalizados, en los modelos as-built pueden aparecer elementos sin estandarizar, no rectos, con deformaciones o difíciles de identificar.

Trabajo especializado. Para la correcta realización de estos proyectos en plazos, costes y calidad se requiere de un equipo especializado y multidisciplinar.

Equipos multidisciplinares. Para el desarrollo de estos proyectos se recomienda disponer de equipos variados con papeles específicos dentro del flujo. La parte del escaneado y el procesado de la nube de puntos la realiza un topógrafo o ingeniero geomático, mientras que la parte de modelado suele recaer en un ingeniero industrial, arquitecto o delineante.

Proyectos variados. Este proceso se puede aplicar en diferentes sectores y con diferentes finalidades. En el sector de patrimonio es habitual su uso en aplicaciones museísticas para recorridos virtuales, controles o para su estudio. En el ámbito industrial o arquitectónico se suele utilizar para temas de mantenimiento, visualización, controles de calidad, generación de gemelos digitales o documentación.

Proceso colaborativo. Para realizar las diferentes fases del proyecto se debe compartir mucha información entre los diferentes involucrados. Las plataformas actuales permiten trabajar fácilmente de manera colaborativa, lo que favorece el trabajo simultáneo sobre un modelo actualizado de diferentes profesionales.

3.3 Scan

Scan hace referencia a la captura de la realidad con una herramienta de captura masiva de datos. Existen varias herramientas como los escáneres láser, los UAV o los sistemas de cartografía móvil [31], [32].

La herramienta más habitual para el escaneo de entornos industriales es el láser escáner o LiDAR terrestre (figura 15), que permite capturar nubes de puntos e imágenes 360° en varios estacionamientos fijos.



Figura 15. LiDAR terrestre GLS 2000 [Excade SL]

En entornos amplios con paso para vehículos o en infraestructura civiles es adecuado el uso de sistemas de escaneo en movimiento, mobile mapping, que permiten capturar nubes de puntos e imágenes 360° mientras se circula (figura 16 izquierda). Cuando se necesita información de espacios amplios y de la parte superior de los edificios o elementos, se utilizan los drones o UAV (figura 16 derecha).



Figura 16 . Izquierda: Mobile mapping IP-S3. Derecha: dron [Excade SL]

La elección de la herramienta o herramientas para capturar la realidad depende de la finalidad y las necesidades del cliente. Se debe tener en cuenta el modelo del equipo y su configuración para ajustarse al alcance, la precisión, el plazo, el coste y la calidad requerida.

Una vez capturada la realidad, se obtienen los datos crudos de los diferentes estacionamientos o trayectorias que deben procesarse para obtener una nube de puntos unida, geolocalizada y completa, que se puede completar con las imágenes 360° obtenidas (figura 17).

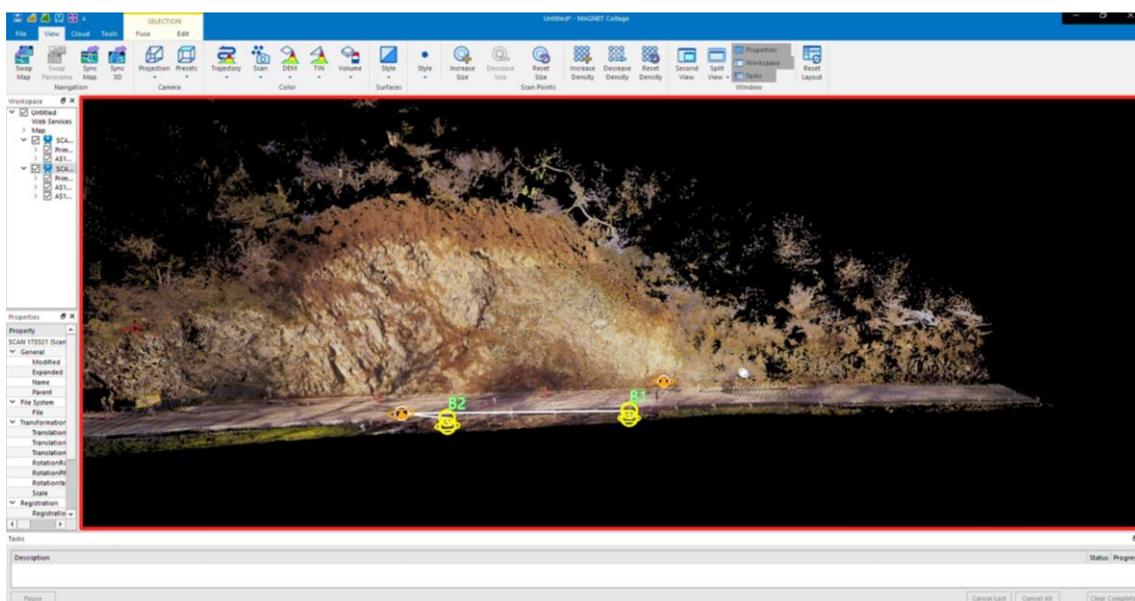


Figura 17. Procesado de nube de puntos en Magnet Collage [Excade SL]

3.4 BIM

Building Information Modeling, BIM, es una metodología colaborativa para gestionar proyectos de construcción, edificación e infraestructuras, agrupando toda la información en un modelo digital. Engloba todo el ciclo de vida del proyecto (figura 18) desde su diseño hasta su mantenimiento y rehabilitación.

Presenta más dimensiones que las utilizadas hasta el momento. Junto con la idea (1D), el plano (2D) y el modelo (3D), se tiene en cuenta la información relativa al tiempo que conforma la 4D, los costes la 5D, los aspectos ambientales la 6D y el mantenimiento la 7D [33].

Su uso se transforma en numerosas ventajas, como la disminución de tiempos y costes, y en la obtención de mayor eficiencia energética, transparencia, calidad y seguridad [34]. Además, mejora la colaboración, la planificación y la coordinación, al presentar en un modelo único y accesible los datos de las diferentes disciplinas implicadas.

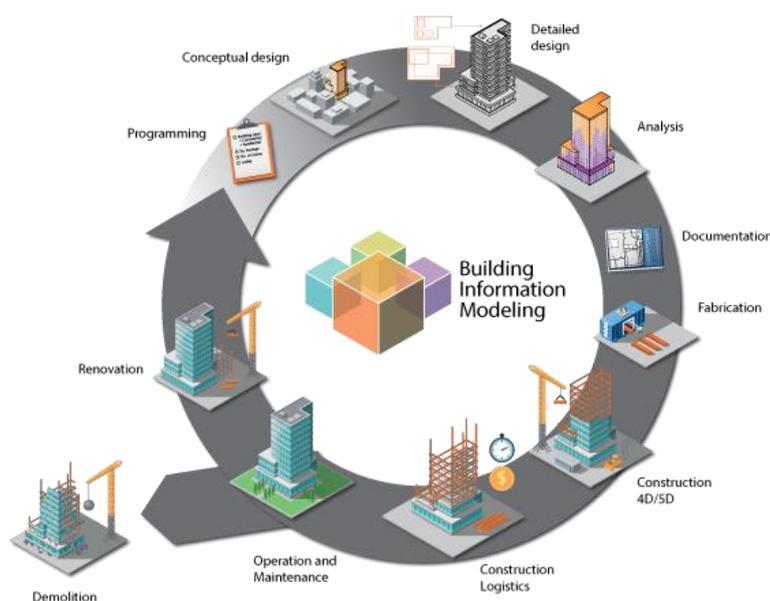


Figura 18. BIM en las diferentes etapas de un proyecto [35]

Esta metodología presenta varios aspectos importantes a definir como el sistema de clasificación, los niveles de desarrollo o los formatos de intercambio.

Existen varios sistemas de clasificación creados por diferentes organismos, como Uniformat de AIA, Gubimclass de Infraestructuras CAT, Uniclass de NBS o Omniclass de CSI [36].

Los modelos BIM pueden presentar diferentes niveles de desarrollo (LOD), pueden ir desde LOD 100 a LOD 500 o superior (figura 19). El LOD 100 corresponde a un diseño conceptual, el LOD 200 a un diseño esquematizado, el LOD 300 se añade más información no gráfica, el LOD 400 corresponde con un proyecto completo de construcción y el LOD 500 al modelo as-built.

Este término, LOD, fue designado por primera vez por la AIA. Para definir de forma clara el contenido y la fiabilidad de los modelos según LOD, BIM Forum creó un documento con las especificaciones LOD de diferentes tipos de elementos que sirviera como una referencia que ayude a especificar los entregables, explicar los niveles o para los contratos [37].



Figura 19. LOD [38]

Para conseguir la estandarización abierta de BIM y mantener la transparencia, la interoperabilidad y la colaboración, Building Smart creó openBIM [33]. Dentro de esto, se crearon diferentes estándares abiertos como el formato de intercambio IFC (Industry Foundation Classes), la metodología IDM (Information Delivery Manual) o el formato de intercambio BCF (BIM COllaboration Format) [39].

Análisis del Observatorio CBIM

A continuación, se analizan los datos del Observatorio CBIM, para conocer la situación actual de implantación en España y su posible impacto.

El Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda urbana creó en 2017 un observatorio para conocer la situación de la metodología BIM en España, en el que se analizan las licitaciones públicas que han sido publicadas [40].

De manera global se observa que el uso de BIM está en aumento, así como la inversión destinada a proyectos que incorporan esta metodología. A pesar de esto, Asturias se encuentra entre las comunidades donde su implantación está a mitad de la tabla en comparación con el resto del país (figura 20).

En cuanto a las fases del ciclo de vida de un edificio, la mayor parte de los proyectos están orientados a construcción y diseño. Solo un 2% de los proyectos que se realizan están orientados hacia el mantenimiento y la explotación (figura 20).

Datos cuantitativos generales

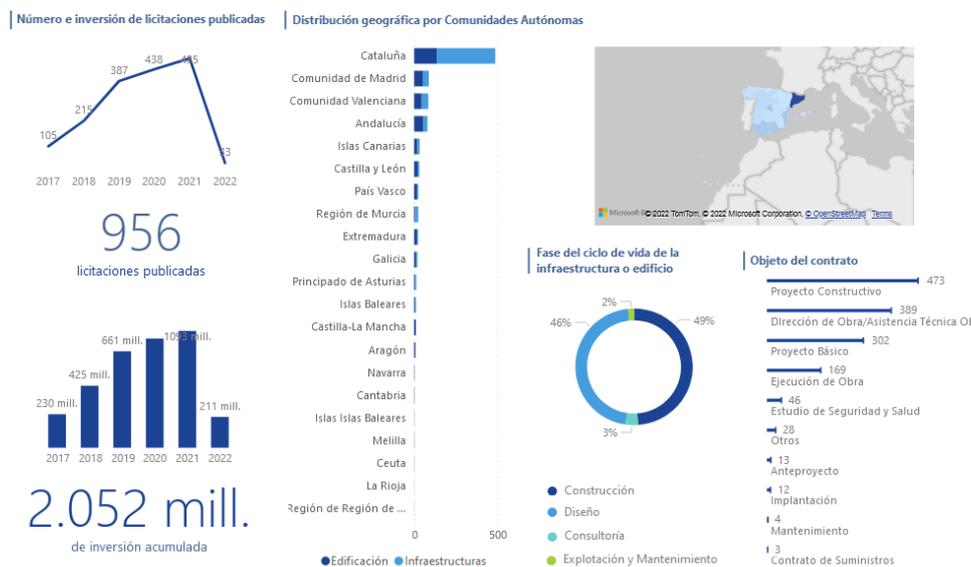


Figura 20. Datos cuantitativos generales de la implantación BIM en España [40]

Los usos que puede tener los datos BIM son diversos, aunque en la mayoría de los casos tienen como finalidad la coordinación en 3D, la visualización, la obtención de planos, mediciones y presupuesto. En el menor de los casos (1%), se utiliza en realidad aumentada o virtual. En cuanto a los entregables, lo más habitual es entregar un modelo por cada disciplina que interviene en el proyecto (MEP, estructuras, etc.). La entrega de una nube de puntos es lo menos habitual (3%), muy por debajo del resto de entregables cuyo porcentaje mínimo es 64% (figura 21).

Inclusión de requisitos BIM en pliegos

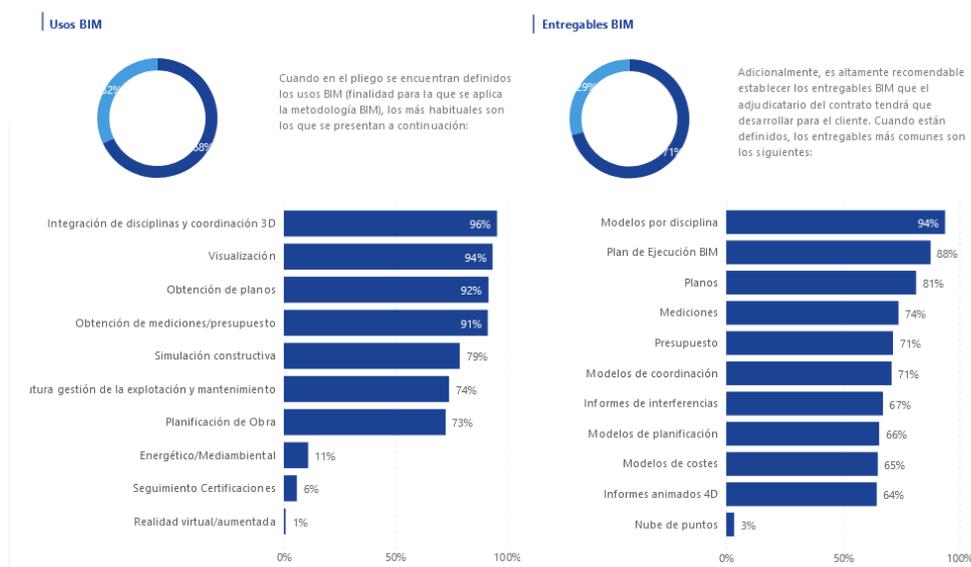


Figura 21 . Requisitos BIM: usos y entregables [40]

Los niveles de información de los modelos, tanto a nivel gráfico como no gráfico, suelen estructurarse por elemento. En el caso de la información gráfica, también es habitual organizarla por la disciplina a la que pertenece (figura 22).

Inclusión de requisitos BIM en pliegos

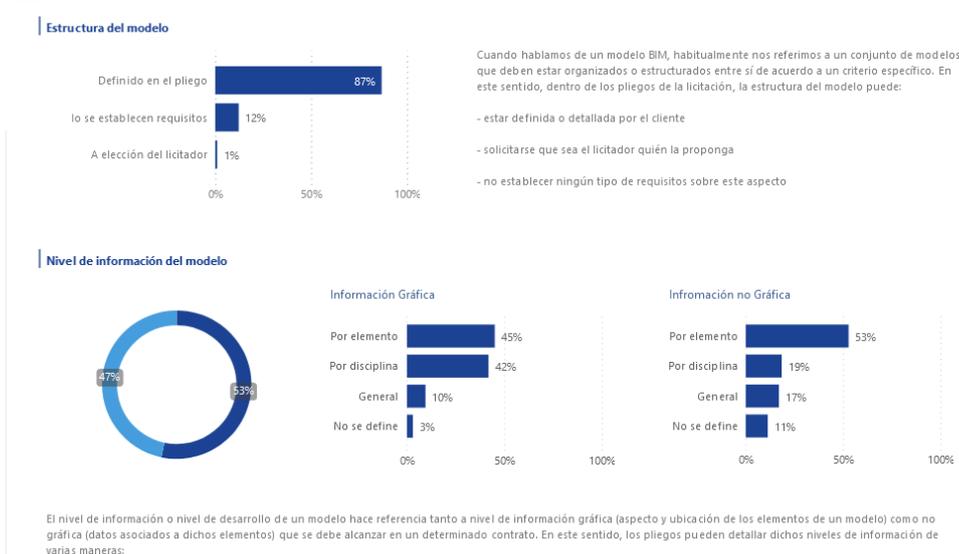


Figura 22. Requisitos BIM: estructura y niveles de información [40]

En el 95% de los casos es necesario el uso de un CDE, espacio común de datos, para facilitar la colaboración, característica fundamental de la metodología BIM. El sistema de clasificación más utilizado es el GuBIMclass, aunque muy seguido de sistemas propios o sin definir (figura 23).

Inclusión de requisitos BIM en pliegos

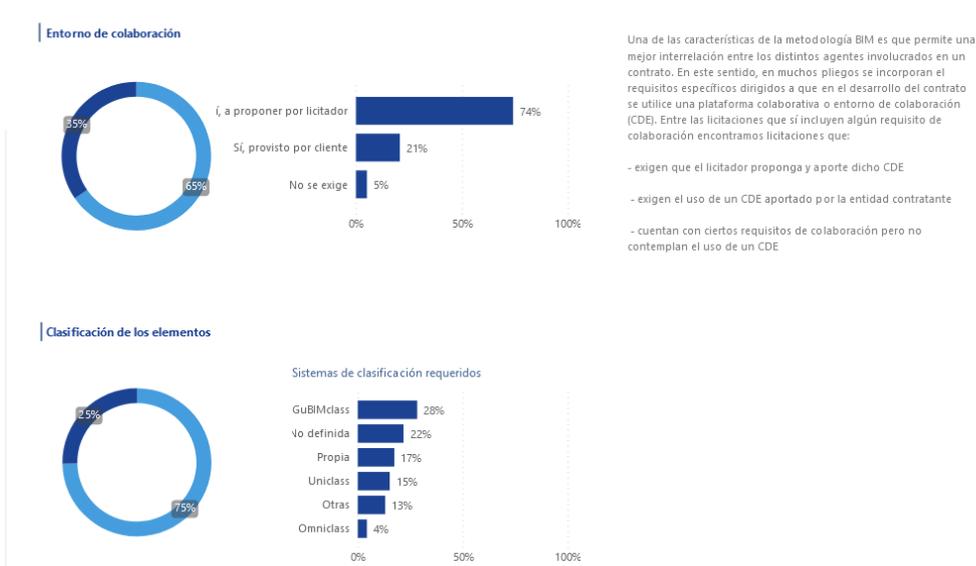


Figura 23. Requisitos BIM: colaboración y sistema de clasificación requerido [40]

Es habitual el cumplimiento de algún estándar para la realización de los proyectos BIM, los más habituales son PAS 1192-5: 2015, UNE-EN ISO 19650-1: 2019 y UNE-EN ISO 19650-2: 2019. Para una correcta entrega del modelo final, se requieren controles de calidad relativos a la estructura del modelo, los niveles de información y la clasificación (figura 24).

Inclusión de requisitos BIM en pliegos

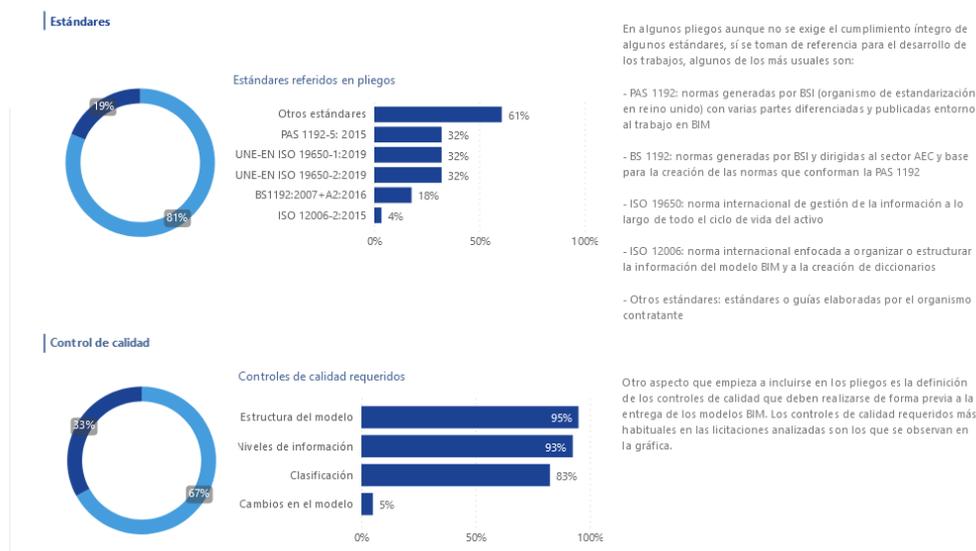


Figura 24. Requisitos BIM: estándares y control de calidad [40]

Tras este análisis, se puede concluir que BIM es una metodología en auge, en pleno proceso de implantación en las primeras fases de construcción, pero muy nueva aún en las fases de mantenimiento, momento en el que se realiza el proceso scan-to-BIM (cuando ya está construido). Por ello, es muy poco frecuente que entre los entregables se encuentre una nube de puntos.

3.5 Conclusiones

Actualmente, se está comenzando a implantar BIM en el sector AEC, pero orientado principalmente al diseño y construcción de nuevos edificios, como se desarrolla en el apartado 3.4. Esto representa un porcentaje muy pequeño en relación a todo lo que ya está construido y, en muchos casos, no se dispone de ningún modelo o presentan planos en papel, CAD 2D o modelos sin actualizar.

La creación de modelos BIM de estos edificios e infraestructuras existentes es posible gracias al proceso Scan-to-BIM. Estos modelos son el primer paso necesario para la gestión de la vida útil, el mantenimiento, la rehabilitación y la evolución hacia ciudades más sostenibles.

Por otra parte, la baja implantación del BIM en fases posteriores y en elementos ya construidos se traduce en desconocimiento, falta de información relativa a Scan-to-BIM.

4. METODOLOGÍA SEGUIDA

La gestión del conocimiento constituye un papel fundamental para mejorar la gestión y el desarrollo de proyectos futuros. Esta gestión se puede realizar partiendo de la recopilación de las **lecciones aprendidas**, tanto de decisiones correctas y decisiones erróneas como de los riesgos identificados por un equipo de proyecto.

Las lecciones aprendidas forman parte de la mejora continua de los proyectos, los equipos y las empresas, como un medio para alcanzar la calidad requerida.

La mejora continua se aplica de diferentes formas y en multitud de proyectos, empresas y procesos. Un ejemplo de aplicación es el método Kaizen, un método o filosofía japonesa que, como su nombre indica Kai (cambio) y Zen (bondad, algo bueno), busca aplicar cambios para mejorar de manera continua. Está compuesto por cuatro pasos cíclicos que se denominan: planificar, hacer, comprobar y actuar [41].

La frase del físico William Thomson Kelvin, “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre. ”, pone de manifiesto la importancia de definir y analizar los elementos para poder mejorar, y así evolucionar. Esta referencia resume la finalidad de este proyecto, analizar lo anterior para seguir mejorando.

El presente trabajo parte de las lecciones aprendidas durante la realización de proyectos Scan-to-BIM en entornos industriales, así como en otros proyectos similares, que servirán de base para la elaboración de un procedimiento que mejore la gestión de este tipo de proyectos aplicados a nivel industrial.

El objetivo es optimizar estos procesos tanto en tiempos y plazos como en calidad. Para conseguirlo, el punto de partida es el know-how de la realización de proyectos similares, que se analizará según lo que ha ido bien y lo que ha ido mal, así como los riesgos que se han identificado. Lo que ha ido bien servirá como esqueleto base del procedimiento, al que se añadirán las hipótesis de mejora de lo que ha ido mal, prestando atención a los riesgos del proyecto y su relevancia (figura 25).

A continuación, se describe la experiencia previa en proyectos Scan-to-BIM y en otros proyectos anteriores que influyeron en estos. Además, se analizan diferencias, problemas y errores detectados, así como aspectos importantes a tener en cuenta para la dirección de estos proyectos.

Cabe destacar que todos los gráficos presentados en el presente documento se han realizado en una herramienta online, Miro [42]. Para visualizar estos esquemas con mayor calidad, se puede acceder a este espacio a través de [este enlace](#).

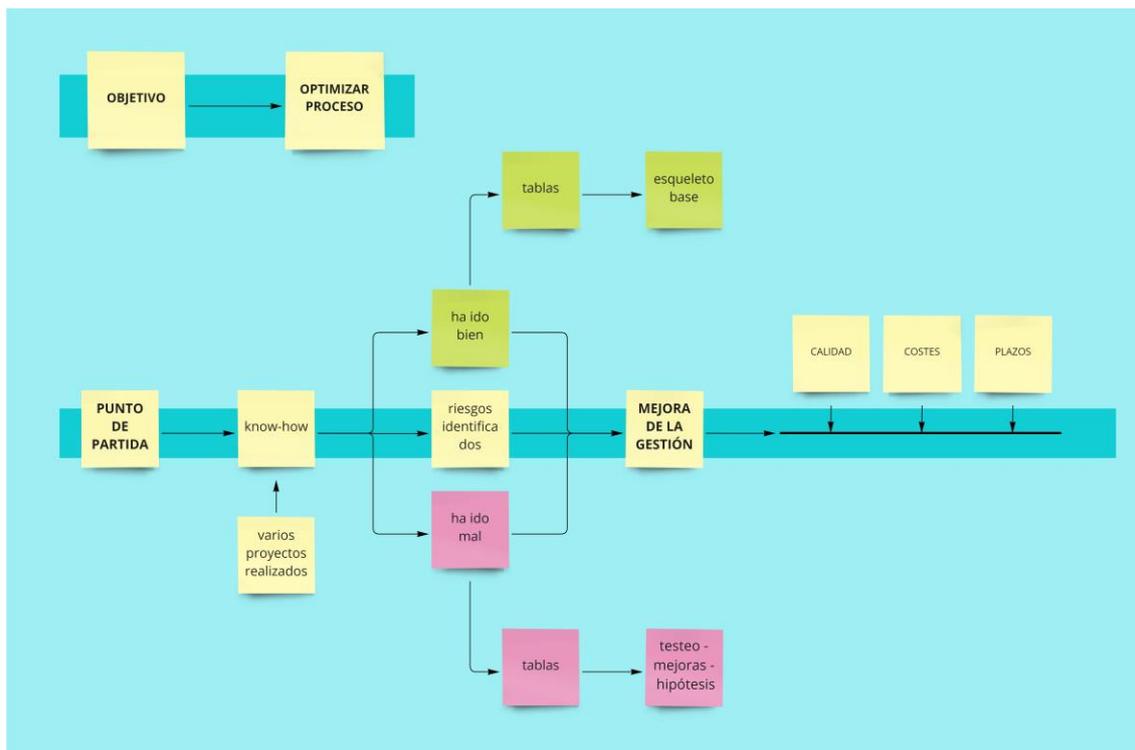


Figura 25. Esquema del desarrollo del trabajo mediante lecciones aprendidas [Elaboración propia]

4.1 Experiencia

En el presente apartado, se describe la experiencia profesional obtenida relacionada con el proceso a mejorar. Los proyectos que se muestran a continuación han sido realizados dentro de la empresa Aplicaciones Geomáticas (Excade SL).

La ejecución de proyectos scan-to-BIM parte de la evolución y la combinación de diferentes tipos de proyectos, metodologías y tecnologías utilizadas. El punto de partida es la realización de trabajos de digitalización 3D partiendo de datos topográficos.

Durante la realización de los proyectos de digitalización se modelan en tres dimensiones los elementos que intervienen en una obra. En concreto, se realiza una biblioteca con los diferentes modelos de maquinaria y elementos auxiliares digitalizados, con el fin de utilizarla posteriormente en los estudios de las obras. Cada uno de estos elementos presenta su geometría en tres dimensiones acompañado de la textura realista y del "rigging" para la posterior animación.

Para estos estudios, se modela en 3D el escenario partiendo de los datos obtenidos por medios topográficos y se añaden los elementos necesarios de la anterior biblioteca. Finalmente, se presenta por medio de imágenes renderizadas, vídeos con animaciones o ejecutables para visualizarlo en realidad virtual o realidad aumentada (figura 26).



Figura 26. Estudios de obras mediante modelado, animación 3D y realidad virtual [Excade SL]

Se produce una primera evolución en estos proyectos, al incorporar las nubes de puntos. Estas nubes, obtenidas con LiDAR terrestre, se procesan y optimizan para su uso final, según sea estudio o control de las obras (figura 27 izquierda).

Cuando se obtienen nubes de puntos de los entornos donde se van a realizar las obras, estas se combinan con la maquinaria de la biblioteca, sustituyendo a los modelos del terreno utilizados anteriormente. Con ello, se reducen los tiempos en esta fase de estudio (figura 27 derecha).

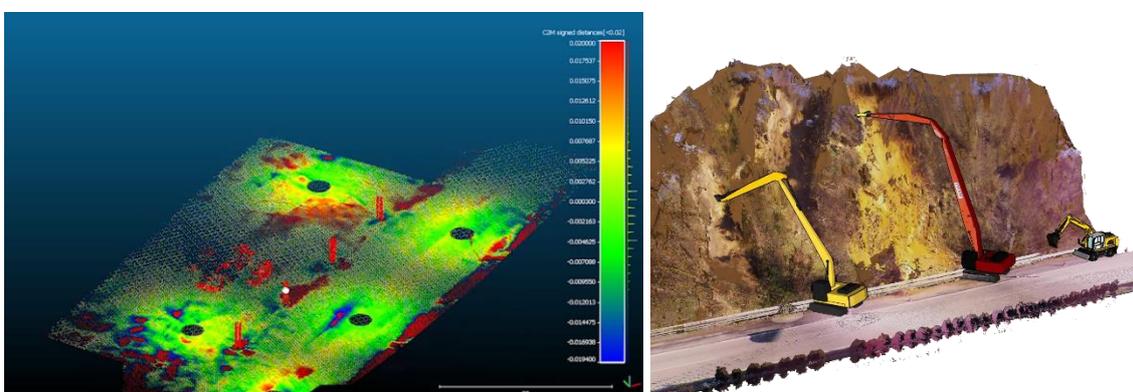


Figura 27. Izquierda: control planitud. Derecha: estudio de obra [Excade SL]

La siguiente mejora se produce con el modelado de estos espacios partiendo de la nube de puntos, para facilitar el uso y manejo de los modelos por parte de todos los interesados. Por tanto, se utiliza el proceso scan-to-BIM en entornos de obras. Estos modelos as-built se representan de manera esquemática (LOD 200), teniendo en cuenta solo las propiedades geométricas (figura 28).



Figura 28. De la nube de puntos, al modelo inicial y al modelo final [Aplicaciones Geomáticas SL]

Tras adquirir experiencia en modelado y nubes de puntos, se introducen los proyectos scan-to-BIM para el sector industrial.

En concreto, se realizan dos proyectos de plantas industriales que presentan diferentes tamaños y características (figura 29). En ambos casos, la finalidad del proyecto es la obtención de un modelo con información geométrica clasificada según especialidades, para la gestión del mantenimiento y el estudio para la incorporación de mejoras.

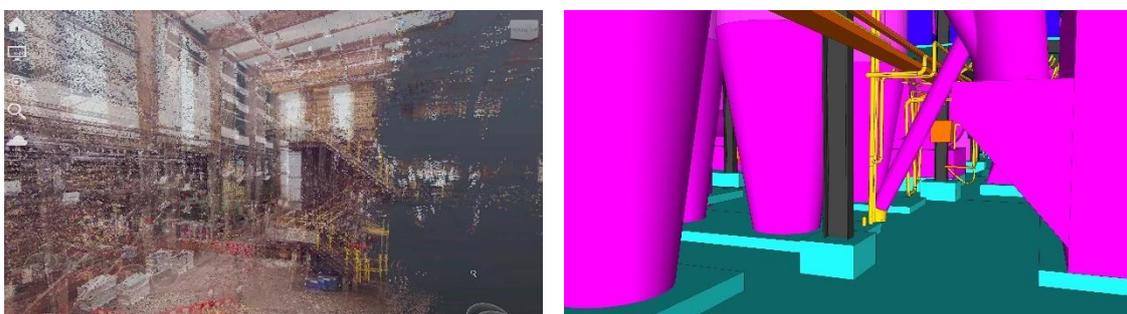


Figura 29. Scan-to-BIM en entorno industrial. Izquierda: nube de puntos. Derecha: modelo [Excade SL]

4.2 Análisis inicial

A continuación, se realiza un análisis previo partiendo de la información desarrollada en el apartado anterior. Se describen las diferencias encontradas con otros proyectos realizados, los principales problemas y las mejoras detectadas.

4.2.1 Diferencias

En cuanto a las diferencias, se encuentran varias entre los proyectos realizados en entornos industriales y en los realizados en obras de movimiento de tierras.

Para comenzar, las características que presentan los entornos son muy distintas. Los proyectos de construcción realizados presentan entornos exteriores donde se modelan superficies de terreno, edificios o elementos a nivel conceptual sin detalles. En cambio, en el sector industrial se realizan en espacios cerrados con numerosos equipos, conexiones, detalles y subelementos que se deben identificar (figuras 28 - 29).

Estas características condicionan la realización de la captura de la realidad. El alto número de elementos en las plantas genera sombras, lo que se traduce en la necesidad de realizar mayor número de estacionamientos para visualizar todo correctamente. En cambio, en espacios abiertos se suelen necesitar menos estacionamientos para cubrir amplias extensiones de terreno ya que no existen muchos elementos que se generen sombra entre ellos.

Las precisiones también cambian. Se pasa de necesitar precisiones subcentimétricas en la construcción a submilimétricas en la industria, lo que se dificulta su definición y obtención. En los escenarios exteriores de obra las unidades usuales de medida son metros mientras que a nivel industrial se utilizan los milímetros.

Los elementos capturados también presentan diferencias. En las obras se detectan muchos elementos naturales como el terreno, que se modelan con superficies, y árboles o plantas, que se obtienen de librerías estándar. En cambio, a nivel industrial se necesitan modelos geométricos exactos que, en la mayoría de los casos, no existen en librerías de elementos.

Por último, se describe una diferencia importante a nivel de sector. Se cambia de un sector más tradicional, la construcción, a otro más tecnológico como es el industrial. Además, se detecta que en el sector de la construcción se centra mucho en solucionar los problemas cuando ocurren sin analizar cómo y por qué ocurrió.

Analizando estas diferencias se concluye que los proyectos scan-to-BIM necesitan precisiones milimétricas, presentan muchos elementos que se hacen sombra entre ellos y es necesario identificarlos, y se necesitan modelos BIM completos. Por ello, se necesita realizar una planificación y una gestión adecuada para el cumplimiento de los plazos, costes y calidad establecidos.

4.2.2 Problemas

Durante el desarrollo de los proyectos se encuentran varios problemas comunes a este tipo de proyectos. A continuación, se describen algunos de los más comunes y relevantes.

La poca implantación del BIM en fases de mantenimiento y, por tanto, del proceso scan-to-BIM, unido con la confidencialidad de muchos proyectos de plantas industriales, provoca que se encuentre poca información sobre metodologías, guías o procedimientos claros.

Por otra parte, las diferencias entre los distintos entornos, que no presentan una relación clara, dificultan la planificación y programación de estos proyectos.

Para realizar estos proyectos se necesitan varios softwares y se utilizan diferentes tipos de archivos, desde los crudos al modelo BIM final. El intercambio de archivos puede generar problemas de compatibilidad y pérdida de información, como las relativas a los sistemas de referencia o las coordenadas. Además de estos softwares y los ordenadores potentes que necesitan, se necesitan equipos de captura de realidad, lo que se traduce en equipos muy específicos, con requisitos muy concretos y con costes elevados.

Los archivos generados son numerosos y van aumentando de manera considerable durante el desarrollo del proyecto. Esto, unido a la importancia de realizar copias de seguridad, hace que se necesite espacio de almacenamiento suficiente para poder albergar toda la información.

Otro de los problemas encontrados es la dificultad de realizar estudios previos de manera óptima con los que se consiga obtener y definir los requisitos con el cliente de manera clara, objetiva y precisa.

La realización de estos proyectos muestra que las dificultades y los cambios encontrados respecto a los plazos se encuentran en la fase de modelado BIM, considerándose el cuello de botella de este proceso.

4.2.3 Mejoras

A pesar de los problemas encontrados, las mejoras detectadas son claras. Este proceso permite hacer un modelo BIM del estado actual con gran precisión y detalle partiendo de una nube de puntos conformada por millones de puntos con información de posición y color. Esta información es imposible conseguirla por medios topográficos clásicos, donde se necesitaría mucho tiempo y recursos para capturar algunos puntos clave de cada elemento.

Este proceso es aún más importante cuando no se dispone de información actualizada del estado de una planta industrial, cuando los planos están en papel y se han realizado modificaciones posteriores o cuando el estado actual no coincide con los planos de construcción. Gracias al modelo generado, se pueden estudiar mejoras en el entorno, actualizaciones o automatización de procesos.

5. LECCIONES APRENDIDAS

El uso de las lecciones aprendidas tiene como objetivo la optimización de los proyectos centrándose principalmente en la gestión de plazos, de costes y de calidad (tabla 1).

En concreto, en la gestión de plazos se tienen en cuenta las tareas predecesoras, las que suponen un cuello de botella y aquellas que se pueden solapar. En la gestión de costes, los recursos humanos y los equipos físicos y softwares necesarios. Y en la gestión de la calidad, se centra en la precisión, la definición del proyecto, los requisitos, el alcance y las coordenadas y sistemas de referencia. Cabe destacar que todas ellas están influenciadas unas por otras.

PLAZOS	COSTES	CALIDAD
tareas predecesoras	software	precisión
tareas críticas	equipos informáticos	definición
solapamiento tareas	personal cualificado	alcance y requisitos
	equipos físicos	referenciación

Tabla 1. Elementos importantes en la gestión de proyectos Scan-to-BIM [Elaboración propia]

A continuación, se describen las lecciones aprendidas durante la ejecución de proyectos Scan-to-BIM. Se comienza analizando lo que ha ido bien y lo que ha ido mal, y se finaliza con el análisis de los riesgos detectados.

5.1 Bueno

En este apartado se describen las lecciones aprendidas positivas. En concreto, se describe los aspectos que han ido bien, lo que se ha aprendido de ellos y lo que se puede extrapolar para futuros proyectos. Finalmente, se recopilan todas estas lecciones aprendidas en una tabla resumen (tabla 2).

5.1.1 Estudio de las características específicas

La realización de un estudio previo del entorno donde se va a desarrollar el trabajo es uno de los aspectos que ha ido bien durante el desarrollo de proyectos scan-to-BIM en entornos industriales.

Se ha comprobado que la realización de una visita inicial al espacio objeto del proyecto es muy importante para realizar un correcto análisis y un estudio precontractual. Además, estos aspectos se utilizarán posteriormente durante la planificación de los trabajos.

En esta visita se analizan tanto los aspectos técnicos relativos a número de elementos, distribución y superficie, como las condiciones de trabajo que presenta dicho espacio. Estas condiciones pueden ser la temperatura, el ruido, el polvo o las vibraciones existentes, entre otras. Si estuviera permitido, se aconseja la realización de fotografías y vídeos y la toma de anotaciones de las zonas más importantes y de las más críticas (figura 30).

Para futuros proyectos, se planteará al cliente la posible realización de una visita inicial al entorno industrial. Esta visita se deberá llevar a cabo antes de la realización de la oferta y firma del contrato.

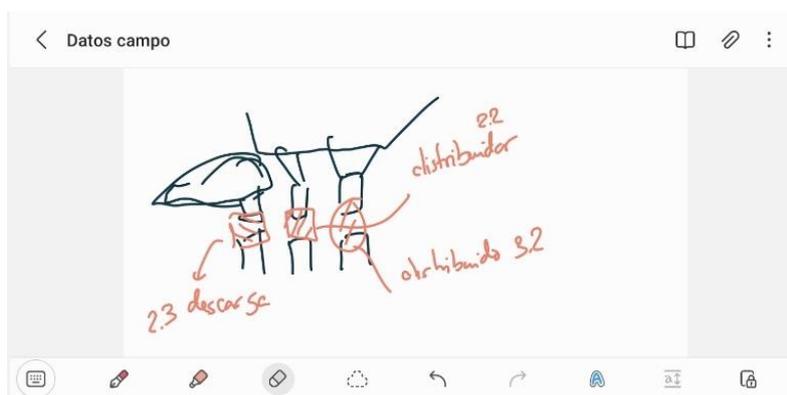


Figura 30. Anotaciones de visita previa [Excade SL]

5.1.2 Dividir por zonas

Una de las decisiones acertadas, que permitieron llevar a cabo estos proyectos, fue la división de las industrias en varias zonas para su ejecución.

La división permite la realización de proyectos en entornos industriales de gran extensión, con varias plantas y zonas diferentes mediante la realización de entregables intermedios. Este aspecto permite que en la planificación del proyecto se solapen fases y los diferentes especialistas empiecen a realizar su trabajo lo antes posible, al crear entregas incrementales.

En futuros proyectos, se deberán fijar con el usuario final los entregables intermedios relativos a cada una de las zonas divididas, que se entregarán a medida que estén finalizados.

5.1.3 Documentación audiovisual extra

Otro aspecto que ha favorecido el desarrollo de los proyectos es la obtención de documentación adicional del entorno de trabajo.

Esta documentación se utiliza como ayuda durante el modelado, debido a la dificultad de visualización e interpretación de la nube de puntos en determinadas situaciones. Estas referencias pueden ser imágenes o vídeos, así como planos anteriores.

A continuación, se describe el uso de esta información en futuros proyectos. Se deberá documentar todo el proceso de toma de datos mediante imágenes, fotografías y anotaciones, así como se realizará una recopilación de toda la información existente de este entorno (figura 31). La documentación del proceso permite tanto la identificación de elementos en el modelado como la comprobación de los estacionamientos durante el procesamiento de los crudos obtenidos de la captura de la realidad.

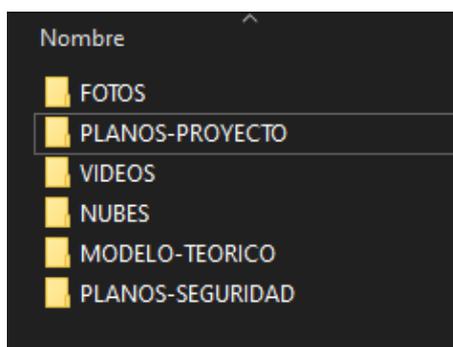


Figura 31. Documentación adicional del proyecto [Excade SL]

5.1.4 Modelos desactualizados como referencia

Dentro del apartado anterior destaca el uso de modelos desactualizados como aspecto que ha favorecido el proyecto.

Los planos o modelos anteriores o desactualizados se utilizan como referencia para diferenciar elementos, ver las uniones de equipos entre plantas o zonas inaccesibles y para conocer el nombre de los equipos.

Durante la ejecución de próximos proyectos, se incorporarán referencias directas en el software donde se está realizando el modelo BIM para facilitar la identificación in situ de los diferentes elementos y sus relaciones.

5.1.5 Elección del equipo LiDAR

Otro aspecto importante en la planificación es la elección del equipo adecuado para la captura de la realidad. Esta elección condiciona los resultados del proyecto, sobre todo en términos de calidad y costes.

Se debe adecuar el equipo y sus características a los requisitos del entregable definidos. Se tienen en cuenta aspectos técnicos, como la precisión, el rango, la velocidad y el tiempo, y también aspectos económicos.

En futuros proyectos, el equipo se elegirá teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales: los requisitos del entregable, el alcance del proyecto y las características condicionantes del entorno industrial.

5.1.6 Planificación de los estacionamientos

Además de la elección del equipo, durante la planificación de la toma de datos se debe analizar el número y tipo de estacionamientos necesarios. Se deben realizar los estacionamientos óptimos para capturar todo el entorno sin generar sombras ni excesivas duplicidades, mientras se mantiene la calidad requerida.

Se debe tener en cuenta la posición y la configuración de estos estacionamientos, donde destaca la necesidad de elegir adecuadamente entre orientados y libres en cada caso. Cuando exista solapamiento con otro escaneo, se deberán hacer estacionamientos libres para reducir los tiempos de ejecución (figura 32).

Como lección aprendida se obtiene que se deben planificar los estacionamientos según el equipo, los requisitos del entorno y los demás escaneos a realizar.

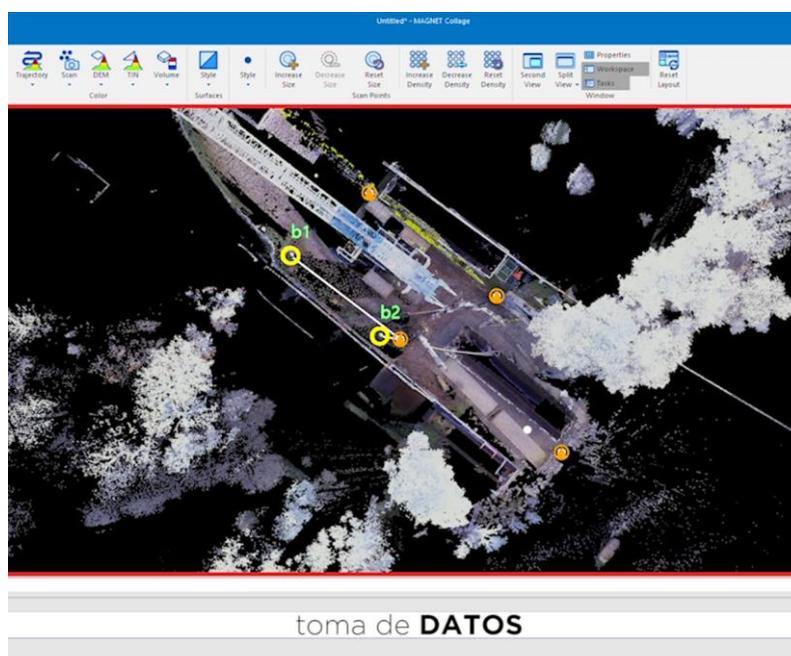


Figura 32. Procesado de los escaneos libres y orientados hacia las bases b1 y b2 [Excade SL]

5.1.7 Formatos de los entregables

Otro aspecto que ha ido bien es la elección de los formatos de los diferentes entregables del proyecto. Existen diferentes tipos como nubes de puntos, planos, modelos BIM o imágenes renderizadas.

Para conseguirlo se considera clave la definición clara con el cliente, donde se analizan sus necesidades. Se debe tener en cuenta la finalidad y el software que el usuario final va a utilizar para visualizarlos.

En futuros proyectos se llevará a cabo la definición del entregable en las reuniones iniciales del proyecto, teniendo en cuenta las necesidades definidas y las capacidades del equipo del proyecto.

5.1.8 Nubes con imágenes 360°

Partiendo del apartado anterior, destaca la correcta elección de los formatos de la nube de puntos para su uso final y durante el proyecto.

La utilización de toda la información capturada, se consigue exportando la nube en los formatos que te permiten visualizar las imágenes 360° obtenidas durante la toma de datos (figura 33). Estas imágenes servirán como referencia durante el modelado.

En cambio, para modelar se recomienda el uso de una nube de puntos optimizada y filtrada, sin información adicional, para optimizar la carga en el software.

En próximos trabajos se exportará la nube de puntos en dos formatos diferentes para cumplir con las necesidades de las fases del proyecto. Una de las nubes de puntos estará unida y optimizada para modelar, mientras que la segunda mantendrá toda la información capturada, incluidas las imágenes 360°.

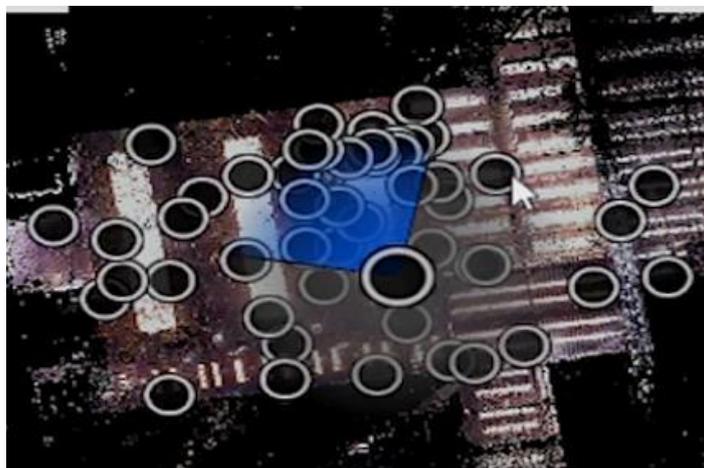


Figura 33. Nube de puntos con imágenes 360° [Excade SL]

5.1.9 Colores diferentes para cada etiqueta

Otro aspecto detectado positivo es el uso de etiquetas con colores según la especialidad, para la correcta estructuración del modelo final del entorno industrial (figura 34).

Estas etiquetas presentan una función principal que consiste en la comprobación del correcto etiquetado de un elemento al visualizar el modelo coloreado según las etiquetas.

Para los primeros proyectos se utilizarán etiquetas con colores muy diferenciados para cada una de las especialidades necesarias del modelo.

👁	Sin etiqueta	■
👁	00-REFERENCIA	■
👁	0.-BARANDILLA	■
👁	0.-EQUIPOS	■
👁	0.-ESTRUCTURA	■
👁	0.-P-PIPE	■
👁	0.-RAC	■
👁	0.-SUELO-PARED	■

Figura 34. Etiquetas con colores según especialidad [Excade SL]

5.1.10 Almacenamiento y compartir información

El elevado tamaño de los archivos generados durante el proyecto provoca la necesidad de almacenar y compartir mucha información.

Para evitar problemas de almacenamiento, se necesita un sistema de almacenamiento con suficiente capacidad y con accesos personalizados para los diferentes stakeholders. Este servidor evita generar duplicidades innecesarias al compartir de manera rápida archivos de gran tamaño.

Durante la planificación de proyectos futuros, se deberá definir y gestionar el medio mediante el cual se compartirá la información del proyecto entre los distintos stakeholders. Además, se tendrá en cuenta las necesidades de cada grupo de interesados para crear diferentes tipos de perfiles con accesos personalizados a los entregables o crudos, así como las acciones que pueden realizar sobre estos archivos (visualizar, editar, descargar, subir...).

5.1.11 Comprobación calidad

Durante todo el proyecto, tanto en el procesado de crudos como en el modelado, se pueden producir errores como desalineamientos, elementos duplicados, falta de elementos o desajuste de escaneos (figura 35). Para detectar estos errores, se realizan comprobaciones de calidad.

Para evitar que estos posibles fallos lleguen al usuario final, se deberá definir en la planificación la necesidad de realizar revisiones de calidad. En estas revisiones se analizarán al detalle los entregables antes de su entrega.

En futuros proyectos, se definirá a una o varias personas encargadas de realizar las revisiones de calidad para detectar estos posibles errores. Para favorecer la correcta ejecución de estos análisis se llevarán a cabo por personas que no participaron durante la fase a estudiar.

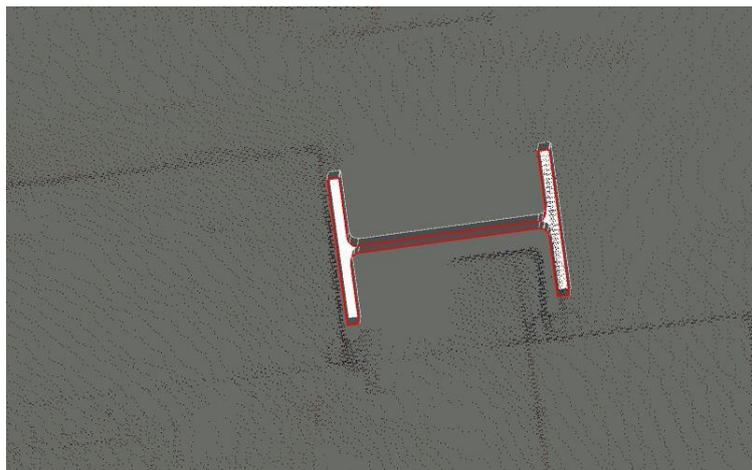


Figura 35. Error de desalineación en el modelo [Excade SL]

5.1.12 Modelar con varias pantallas

En cuanto a temas relativos a los espacios de trabajo, ha funcionado bien el uso de varias pantallas para la ejecución de estos proyectos, sobre todo durante el modelado.

Esta disposición de dos o más pantallas de tamaño grande permite visualizar al mismo tiempo el programa de modelado y la documentación adicional de referencia como la nube de puntos con las imágenes 360° o los vídeos realizados durante la toma de datos (figura 36).

Para posibles proyectos, se facilitará al modelador varias pantallas para favorecer esta visualización conjunta y así aumentar la productividad durante el modelado. En caso de no disponer de varias pantallas, se favorecerá el uso de un dispositivo adicional como puede ser una tablet.

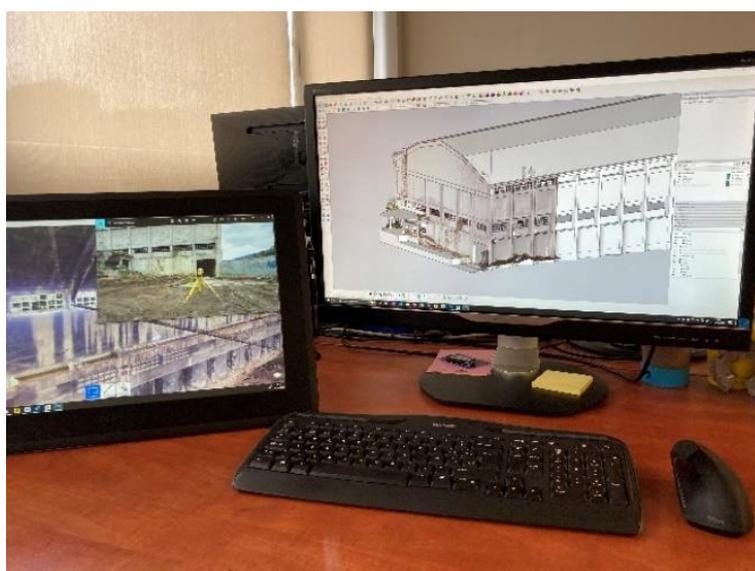


Figura 36. Configuración del entorno de trabajo de un modelador [Excade SL]

5.1.13 Equipos multidisciplinares

La formación de un equipo multidisciplinar con especialistas en las distintas áreas del proyecto favorece el desarrollo óptimo del proyecto.

Se detecta la importancia de la división de trabajo al poder disponer de diferentes personas especializadas en una tarea, así como la necesidad de colaboración entre los miembros del equipo para realizar el proyecto en tiempos, plazos y calidad, con los menores riesgos posibles.

Para conseguirlo en un futuro, se realizará una elección de los perfiles profesionales más adecuados a cada tarea. Además, se fomentará un ambiente creativo y colaborativo.

5.1.14 Comunicación del avance entre el equipo del proyecto

Un aspecto fundamental para fomentar equipos colaborativos es la correcta comunicación entre sus miembros.

Se ha detectado la importancia de disponer de toda la información del proyecto de manera accesible, visual, editable y actualizada para todos los miembros. Al realizar un proyecto con una plataforma colaborativa (figura 37), se pueden clasificar las tareas en listas y se pueden visualizar el avance, las tareas pendientes o el plazo de cada tarea.

Durante la planificación de los proyectos, se recomienda la elección de una plataforma colaborativa para mostrar la información a todo el equipo de forma transparente, colaborativa y en tiempo real, que favorezca la comunicación efectiva entre los distintos miembros.

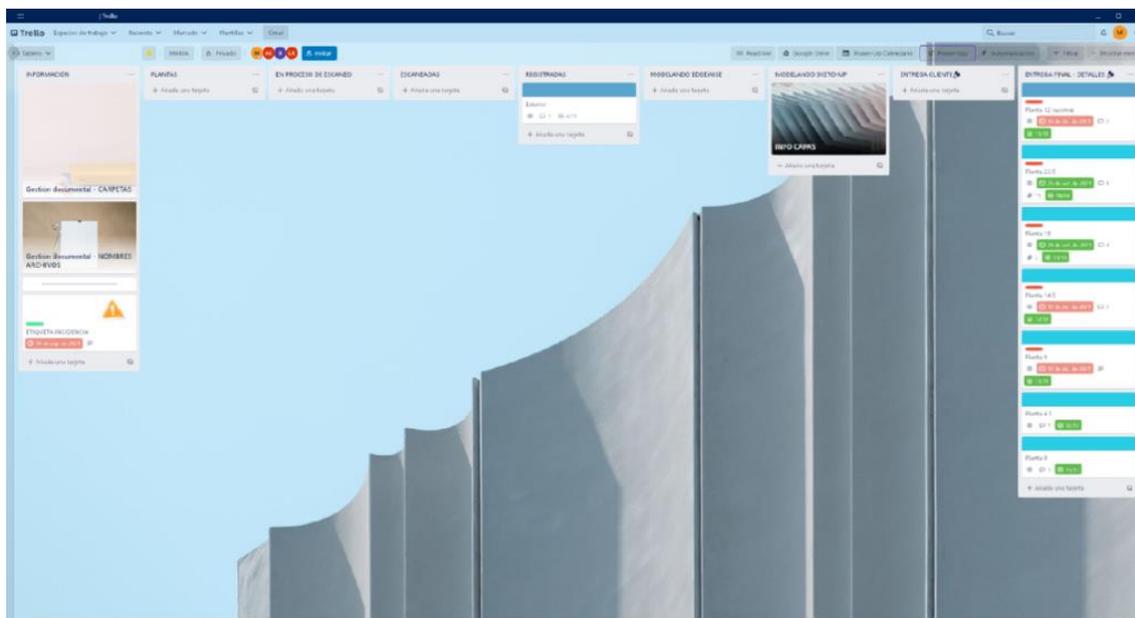


Figura 37. Tablón creado en Trello para un proyecto scan-to-BIM [Excade SL]

5.1.15 Resultado final

A pesar de los diferentes problemas o contratiempos encontrados, el resultado final del proyecto ha sido el esperado.

Estos entregables constituyen el resultado del trabajo en equipo, la formación, la motivación, la experiencia y las ganas de innovar de todos los miembros del equipo, unido a la capacidad técnica y la gestión.

La realización de estos proyectos es un aprendizaje continuo, por lo que esta información se traducirá en acciones a implementar en futuros proyectos a través de la gestión del conocimiento mediante las lecciones aprendidas y la gestión del proyecto.

5.1.16 Resumen

Como se indica al comienzo del punto 5, en este apartado se presenta una tabla en la que se resumen todos los aspectos que han ido bien y que estaban descritos en los anteriores apartados (tabla 2).

QUÉ HA IDO BIEN	QUÉ HEMOS APRENDIDO	CÓMO LO VAMOS A UTILIZAR EN OTROS PROYECTOS
Estudio de las características específicas	Visualizar in situ el entorno para analizarlo	Plantear una visita inicial, previa al contrato
Dividir por zonas	Permite entregas intermedias y solapar fases	Definir con el cliente los entregables intermedios durante el proyecto
Documentación audiovisual extra	Uso de vídeos, fotos y planos como referencia en caso de dudas con la nube de puntos	Documentar todo el proceso y recopilar toda la información existente
Modelos desactualizados como referencia	Ayuda a visualizar elementos, posibles uniones y nombres	Utilizar los planos anteriores como referencia directa en el software de modelado
Elección del equipo LiDAR	Adecuación del equipo de captura para lograr los requisitos en el modelado	Elegir el equipo según los requisitos, el alcance y las características del entorno
Planificación de los estacionamientos	Hacer escaneos libres siempre que se pueda unir a uno orientado	Planificar estacionamientos y características según los requisitos y los demás escaneos
Formatos de los entregables	Definición clara del entregable que necesita el cliente	Definir el entregable al inicio teniendo en cuenta sus necesidades y capacidades
Nubes con imágenes 360°	Formato adecuado de la nube, para visualizar las imágenes 360° obtenidas	Exportar la nube de puntos de 2 formas: unida para modelar y separada con imágenes
Colores diferentes para cada etiqueta	Comprobar que corresponde el elemento con su etiqueta	Usar etiquetas con colores diferentes según especialidad
Almacenamiento y compartir información	Necesidad de servidores con suficiente capacidad de almacenamiento y compartidos entre los diferentes stakeholders	Definición y gestión del medio mediante el cual se compartirá la información del proyecto entre los distintos stakeholders (con accesos diferenciados para cada rol)
Comprobación calidad	Revisión de calidad de los entregables antes de enviar al cliente	Revisión de calidad realizada por una tercera persona
Modelar con varias pantallas	Ver a la vez el modelo, la nube y otra documentación adicional	Facilitar el uso de varias pantallas/dispositivos para aumentar la productividad durante el modelado
Equipos multidisciplinares	Importancia de la división de trabajo y la colaboración	Equipos con los perfiles más adecuados para cada tarea
Comunicación del avance entre el equipo del proyecto	Información accesible, visual y actualizada para todos	Definir una plataforma colaborativa para mostrar la información al inicio (ej: Trello)
Resultado final	Trabajo en equipo, formación, motivación y ganas de aprender	Gestión del conocimiento y gestión del proyecto

Tabla 2. Resumen de las lecciones aprendidas de lo que ha ido bien [Elaboración propia]

5.2 Malo

En este apartado se describen las lecciones aprendidas sobre lo que ha ido mal. En concreto, se describen los aspectos que no han ido bien, lo que se ha aprendido de ellos y las acciones hipotéticas de mejora que se pueden implementar para futuros proyectos. A continuación, se presentan estos aspectos en detalle y resumidos en una tabla final conjunta (tabla 3).

5.2.1 Poca información

Un problema común en estos proyectos, que se ha detectado en su ejecución, es la falta de información. No se han encontrado procedimientos ni metodologías que se basen en este tipo de proyectos, ni tampoco se han encontrado casos de estudio.

Esta falta pone en valor la necesidad de gestionar el propio conocimiento adquirido durante los proyectos anteriores para crear herramientas útiles y adaptadas a las necesidades encontradas.

Para mejorar este aspecto, se propone la creación de un procedimiento para los proyectos basados en scan-to-BIM en entornos industriales partiendo de la gestión del conocimiento adquirido junto con otra información existente.

5.2.2 Escasa e incompleta definición del alcance y los requisitos con los clientes

Otro de los errores detectados, que dificulta la correcta realización de los proyectos, es la definición incorrecta e incompleta del alcance y los requisitos adecuados con el usuario final.

Esta dificultad se debe al tratarse de características nuevas y en cierta medida abstractas. Muchas de estas no son conocidas por los involucrados lo que dificulta su elaboración. Por ello, se considera importante la especificación y explicación clara de todos los aspectos necesarios para fijar el resultado.

Para solucionarlo, se sugiere la realización de una guía tipo que muestre de manera clara y visual los aspectos fundamentales a definir, acompañada de un checklist donde se puede especificar las decisiones tomadas sobre los requisitos y el alcance.

5.2.3 Etiquetado en BIM

Uno de los errores derivados de lo anterior es la falta de definición de las etiquetas por parte del cliente. No se define al inicio del proyecto, por lo que va cambiando durante la entrega de los entregables intermedios.

Al igual que en el apartado anterior, con esto se muestra la importancia de reflejar todos los datos necesarios al inicio del proyecto con el cliente, evitando problemas y cambios durante el desarrollo.

Como mejora a implementar, se debe añadir un apartado dentro del checklist definido en el punto anterior donde se muestren las diferentes posibilidades existentes. Además, en este documento se dejan registradas todas las respuestas finales.

5.2.4 Volver a escanear en zonas importantes

La falta de información sobre los elementos y las áreas más importantes para cada proyecto, resultó en falta de detalle y precisión de la nube de puntos generada para esas zonas y, por tanto, en la necesidad escanear de nuevo el entorno industrial.

Este aspecto pone en valor la necesidad de conocer de manera clara y precisa las partes más importantes de cada proyecto, así como las más críticas, para planificar específicamente los escaneos.

Se propone la incorporación de este aspecto en la reunión inicial, con el objetivo de definir de manera clara y precisa con el usuario final las áreas más importantes y críticas. Con esto, se pretende planificar los estacionamientos teniendo en cuentas las precisiones y los acabados necesarios en cada zona.

5.2.5 Falta de un plan de ejecución

La falta de un plan de ejecución del proyecto se traduce en la aparición de problemas durante su desarrollo entre los diferentes miembros del equipo y/o los involucrados.

Para evitar problemas entre los diferentes stakeholders es importante gestionar todas las áreas y aspectos del proyecto.

La propuesta de acción consiste en la realización de BEP, plan de ejecución BIM, donde se describe y firma todos los aspectos relativos a la gestión, planificación y desarrollo del proyecto.

5.2.6 Gestión de cambios

Un aspecto que ha ido mal es la gestión de los cambios. La falta de un sistema de gestión puede conllevar a errores en las versiones por la falta de comunicación y coordinación, como puede ser la duplicidad de archivos o el uso de archivos anteriores.

Por tanto, se ha aprendido que se debe dejar reflejados todos los cambios realizados, una vez que se ha gestionado su aprobación, y comunicárselo al equipo.

Para futuros proyectos, se propone la realización de un procedimiento de calidad para la gestión y el control de cambios en el proyecto, donde se refleja el proceso a seguir cuando se requiere de un cambio, así como los responsables de estas aprobaciones y gestiones.

5.2.7 Cambios en las últimas etapas

Otro aspecto relacionado con los cambios que no ha resultado adecuado es la comprobación y análisis de las entregas en las últimas etapas que deriva en la propuesta de cambios que abarcan a todos los entregables anteriores.

Por tanto, es fundamental realizar este análisis en el primer entregable, para incorporar los cambios necesarios en las siguientes etapas y entregables.

Como mejora a aplicar, se pretende generar un modelo tipo que sirva como piloto inicial de una zona adecuada del proyecto. Este modelo sirve como prueba para el usuario final donde analizar los requisitos definidos al inicio y poder aceptarlos o modificarlos. Esto evitaría cambios en etapas finales del proyecto, con el consecutivo ahorro en plazos y costes.

5.2.8 Retrasos debido a la burocracia que no se había considerado

Debido a aspectos administrativos, se producen retrasos en el inicio de los proyectos que condicionan el desarrollo de todos ellos. Estos aspectos se deben a la necesidad de realizar acreditaciones y cursos para garantizar la seguridad y la privacidad cuando se accede a entornos industriales

Se ha detectado la necesidad de planificar y avisar al cliente con tiempo suficiente para evitar retrasos de los trámites.

Para mejorar este aspecto se pueden definir estos posibles retrasos en el contrato para conocimiento del cliente, y que no conlleven penalizaciones.

5.2.9 Momentos de escaneo no siempre son los óptimos

Otro de los errores detectados es la falta planificación con el cliente de los momentos óptimos para realizar la toma de datos en el entorno industrial.

Para conseguir las precisiones y las especificaciones requeridas es recomendable la ejecución de los trabajos bajo unas condiciones concretas, que pueden verse alteradas por la presencia de polvo, calor o vibraciones. Por lo que resulta adecuado conocer estas situaciones para planificar los trabajos.

Una mejora posible es la descripción de estas condiciones al cliente para que se comuniquen los horarios en los que hay paradas, limpiezas, menos personas trabajando o cualquier otro momento que considere óptimo.

5.2.10 Intercambio de archivos

Se han generado problemas en el intercambio de archivos, debido a la mala interoperabilidad entre varios softwares que intervienen en el proceso (figura 38). La pérdida de información puede conllevar a un resultado erróneo en el proyecto.

Se ha aprendido que es recomendable seguir un flujo conocido para evitar problemas durante el proyecto, que sea adecuado y adaptable a cada equipo.

Para evitar estos problemas en el futuro, sería recomendable establecer un flujo de trabajo propio en el que se definan los softwares a utilizar, la manera de exportar e importar los archivos y queden definidas todas las variables que puedan interferir.

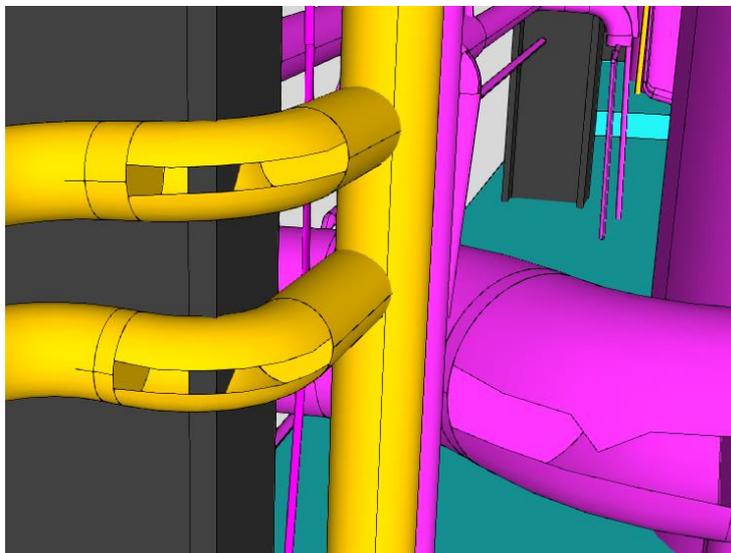


Figura 38. Errores en el intercambio de archivos entre software en las uniones de tuberías [Excade SL]

5.2.11 Gestión de coordenadas en los distintos softwares

Otro de los problemas derivados del uso de varios softwares es la gestión de los sistemas de coordenadas. El paso de una nube de puntos a algunos softwares de modelado provoca un cambio de las coordenadas originales a unas nuevas coordenadas centradas en el modelo (figura 39).

Esto muestra que no todos los softwares y equipos utilizan los mismos sistemas de coordenadas, ni gestionan de igual manera la posición de los modelos.

Para evitar esto, se propone el establecimiento de un sistema de coordenadas local cuyo origen corresponda con un elemento conocido del entorno. Además, este sistema de coordenadas local debe de tener su correspondencia con el sistema de coordenadas oficial.

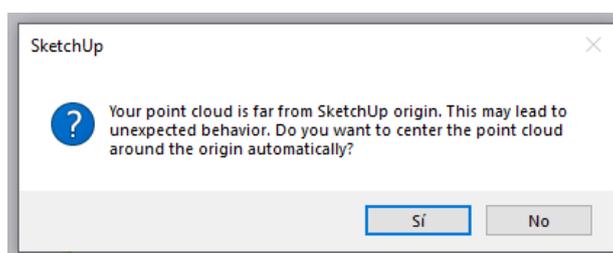


Figura 39. Problemas con los sistemas de coordenadas [Excade SL]

5.2.12 Nombre de archivos

Otro de las decisiones erróneas es la falta de gestión documental, donde se defina la nomenclatura a utilizar en los archivos. Cada miembro nombraba los documentos con el nombre que consideraba más adecuado, sin estar relacionado con el resto.

Se detecta la necesidad de unificar la nomenclatura entre los distintos stakeholders, para evitar variedad de nombres de archivos.

Para evitar los errores posibles con el uso de los archivos incorrectos, se propone añadir un capítulo de gestión documental donde se defina tanto la nomenclatura de los archivos como el sistema de carpetas.

5.2.13 Cliente no puede visualizar archivos

Aunque se disponga de un almacenamiento en red accesible para todos, no permite la visualización de los archivos si no se dispone de los softwares adecuados en cada ordenador.

Algunos usuarios no disponen ni de los equipos informáticos ni de los softwares necesarios para visualizar una nube de puntos. Este hecho conlleva a la imposibilidad de comprobar y utilizar los entregables.

Como acción de mejora se propone el uso de una plataforma en la nube colaborativa que permita ver y compartir datos y comentarios en tiempo real entre las diferentes partes. Esto facilitaría el uso de los entregables por todos los involucrados, al tratarse de una plataforma sencilla y multidispositivo.

5.2.14 Modelado (cuello de botella)

Durante la ejecución de los proyectos, se ha detectado que el modelado es el cuello de botella del proceso, generando retrasos en la entrega de los modelos BIM.

Estos retrasos se deben, entre otros aspectos, al escalado erróneo de los proyectos. Este escalado no es proporcional a la superficie de la planta, sino que se deben tener en cuenta más variables.

Para mejorar la gestión de plazos se deben establecer relaciones con proyectos anteriores teniendo en cuenta, además de la superficie, otras variables como la densidad de elementos, el tamaño de la información a gestionar y almacenar y el tamaño de los archivos que deben soportar los softwares especializados.

5.2.15 Modelado para ajustarse a la realidad o usar ejes del proyecto

Cuando se realizan proyectos scan-to-BIM de entornos industriales antiguos, los elementos pueden estar deformados, desalineados o presentar alguna otra anomalía. Uno de los errores detectados es la falta de definición del alcance del modelado en este ámbito.

Estos modelos pueden modelarse como de proyecto o modelar todas las imperfecciones que presenta la realidad.

Para futuros proyectos, este aspecto debe quedar reflejado con el cliente como otro requisito fundamental. Se debe definir si se buscan modelos paralelos, sin deformaciones ni abolladuras, o si al contrario se requiere de un modelo realista.

5.2.16 Estructura del equipo en tema de comunicación exterior

Otro aspecto que no ha ido bien es la comunicación con el exterior, en términos de falta de personas responsables. Esto se traduce en correos electrónicos con muchas personas en copia, correos electrónicos duplicados o correos electrónicos sin resolver.

Esto muestra la importancia de definir todos los roles del proyecto, incluidos los relativos a temas de comunicación y gestión.

Como acción para futuros proyectos se define la idoneidad de definir, además de los roles técnicos relativos a la ejecución, los roles que están relacionados con la comunicación y la gestión del proyecto.

5.2.17 Tabla resumen

En este apartado se presenta una tabla en la que se resumen todos los aspectos que han ido mal y que estaban descritos en los anteriores apartados (tabla 3).

QUÉ HA IDO MAL	QUÉ HEMOS APRENDIDO	QUÉ ACCIONES PODEMOS IMPLEMENTAR
Poca información	Necesidad de generar herramientas propias	Creación de un procedimiento gracias a la gestión del conocimiento y otra información
Escasa e incompleta definición del alcance y los requisitos con los clientes	Aspectos nuevos, abstractos, que es necesario especificar y explicar	Realizar checklist y guías tipo para la elección del alcance y los requisitos
Etiquetado en BIM	Importancia de reflejar los datos necesarios por el cliente	Definición inicial del etiquetado BIM a realizar, dentro del checklist anterior
Volver a escanear en zonas importantes	Conocer con claridad las zonas clave para planificar específicamente los escaneos	Definir de manera clara y precisa con el cliente las áreas más importantes a escanear o críticas al inicio
Falta de un plan de ejecución	Gestionar a los diferentes stakeholders	Realización de BEP
Gestión de cambios	Reflejar los cambios realizados, así como de su aprobación	Realización de un procedimiento de calidad
Cambios en las últimas etapas	Importancia de aprobar un modelo al inicio	Generación de un modelo tipo - piloto inicial que debe ser aprobado por el usuario final
Retrasos debido a la burocracia que no se había considerado	Planificar y avisar al cliente con tiempo suficiente para evitar retrasos de los trámites	Definir estos posibles retrasos en el contrato para conocimiento del cliente
Momentos de escaneo no siempre son los óptimos	Buscar situaciones con las condiciones del entorno más favorables posibles (polvo, funcionamiento, calor)	Planificar con el cliente los momentos más adecuados de acuerdo a su plan de trabajo en el entorno a escanear
Intercambio de archivos	Seguir un flujo conocido para evitar problemas durante el proyecto	Definir un flujo de trabajo común en los que se definen los softwares, la configuración y las variables necesarias
Gestión de coordenadas en los distintos softwares	No todos los softwares y equipos utilizan los mismos sistemas de coordenadas	Definición del origen de coordenadas locales en relación a las coordenadas oficiales conocidas
Nombre de archivos	Evitar errores en los distintos archivos o con modificaciones, unificar entre los distintos stakeholders	Gestión documental al inicio del proyecto, compartida con todos los stakeholders (nomenclatura, carpetas, orden...)
Cliente no puede visualizar archivos	No todos tienen los equipos ni el conocimiento para usarlo	Utilizar una plataforma en la nube que permita compartir y visualizar los entregables
Modelado (cuello de botella)	Escalado de los proyectos no es proporcional a la superficie	Mejora de la gestión de plazos teniendo en cuenta las variables y partiendo de otros proyectos

Modelado para ajustarse a la realidad o usar ejes del proyecto	Diferentes visiones según la finalidad del modelo	Definir con el usuario si se buscan modelos como de proyecto (paralelos, sin imperfecciones...) o si se buscan totalmente realistas
Estructura del equipo en tema de comunicación exterior	Importancia de definir todos los roles del proyecto	Definir roles relativos no solo a la ejecución sino a la comunicación con el cliente

Tabla 3. Resumen de las lecciones aprendidas de lo que ha ido mal [Elaboración propia]

5.3 Riesgos identificados

La realización de proyectos ha puesto a la vista algunos riesgos a tener en cuenta en futuros proyectos similares. Se han identificado riesgos en las diferentes etapas y a distintos niveles, que pueden provocar, entre otros, aumento de plazos, aumento de costes, disminución de calidad o incluso imposibilidad de continuar el proyecto.

En el presente apartado se presentan los riesgos identificados según su nivel de riesgo, que puede ser bajo, medio o alto (tabla 4). Para esta clasificación se ha tenido en cuenta las componentes del riesgo, la probabilidad y el impacto de cada aspecto (tabla 5).

RIESGOS	P	I	severidad
falta de información	1	3	Green
fallo de equipos informáticos	2	5	Red
imposibilidad de llegar a la precisión definida	1	5	Yellow
características no contempladas del entorno (temperatura, trabajos...)	2	3	Yellow
cambio de alcance	1	4	Yellow
escasez de recursos	1	3	Green
solapamiento de proyectos - equipos compartidos	2	3	Yellow
alcance mal definido	2	4	Yellow
no detección de un cambio importante	1	4	Yellow
mala comunicación	2	3	Yellow
calidad insuficiente	2	4	Yellow
falta de experiencia	2	3	Yellow
no aceptación del proyecto	1	5	Yellow
incumplimiento de plazos	2	4	Yellow
aumento del coste debido a la mano de obra	1	2	Green
plantilla desmotivada	1	3	Green
falta capacidad de almacenamiento	1	5	Yellow

Tabla 4. Tabla de los riesgos identificados y su severidad [Elaboración propia]

		impacto				
		1	2	3	4	5
probabilidad	1	riesgo bajo			riesgo medio	
	2	riesgo bajo		riesgo medio		riesgo alto
	3	riesgo bajo		riesgo medio		riesgo alto
	4	riesgo bajo		riesgo medio		riesgo alto
	5	riesgo bajo		riesgo medio		riesgo alto

Tabla 5. Clasificación de los riesgos según el impacto y la probabilidad [Elaboración propia]

A continuación, se desarrolla cada uno de los riesgos identificados, agrupados según su severidad.

Solo se detecta un **riesgo alto** que corresponde con el posible fallo de los equipos informáticos como ordenadores, aunque también puede ocurrir este fallo en los softwares necesarios para el proyecto.

La cantidad de información recogida junto con los programas que la procesan, requieren de equipos de alta gama con unos requisitos mínimos muy determinados, por lo que su fallo condicionaría la compra de otro equipo igual o superior o la reparación de este. Esto conlleva un aumento de los costes y en los plazos. Aunque se produzcan fallos, muchas veces se solucionan al reiniciar el ordenador y, por tanto, no tiene una probabilidad alta de que se produzca.

El grupo más numeroso de riesgos detectados corresponde con los **riesgos medios**. A continuación, se describen cada uno de ellos.

En ocasiones, aunque con baja probabilidad, puede ocurrir un incumplimiento de los requerimientos del proyecto al no conseguir la precisión requerida por el usuario final. Esta falta de precisión puede derivar en mediciones incorrectas, no permitiendo el uso que el usuario final requería para la nube de puntos o el modelo BIM. Debido a la amplia gama de equipos de toma de datos y la experiencia de los equipos, no es habitual que ocurra.

Un estudio escaso del entorno industrial o la aportación de información incompleta por parte del cliente, puede derivarse en la no detección de ciertos condicionantes del entorno, como temperatura, horas de trabajo o paradas, que condicionan la toma de datos.

El cambio total o muy diferenciado del alcance del proyecto lleva consigo un impacto muy alto en la ejecución, planificación y gestión del proyecto. Aunque la probabilidad de que ocurra es baja, este cambio provocaría una modificación total del proyecto que abarca todas las áreas.

Además del cambio en el alcance, una mala definición o incompleta puede derivar en problemas similares a lo anterior en el proyecto.

En las empresas pequeñas en crecimiento, pueden producirse solapamientos de proyectos que compartan equipos. Esta situación requiere una nueva planificación de los recursos que deriva en aumento de plazos y bajada de rendimiento debido a la multitarea.

Durante la ejecución del proyecto es habitual que se realicen cambios debido a aspectos no detectados. Cuando estos cambios necesarios no se detectan y analizan pueden arrastrarse errores hasta las últimas etapas del proyecto donde su impacto es mayor.

Los proyectos que utilizan los procesos scan-to-BIM están compuestos por equipos multidisciplinares. Para que todo funcione bien es fundamental que exista una buena comunicación entre los miembros del equipo, la falta de esto es un riesgo medio.

Otro riesgo existente es la calidad insuficiente de los entregables. En algunos aspectos relativos a la calidad, alguno de los entregables no cumple con lo establecido al inicio del proyecto.

Al tratarse de un proceso relativamente nuevo, puede ocurrir que los miembros del equipo no tengan experiencia en estos temas. Esto puede derivar en aumento de costes y plazos.

Aunque de manera poco habitual, la mala realización del proyecto, los entregables no adecuados o cualquier otro problema detectado por el cliente puede conducir en la no aceptación del proyecto.

Debido a otros problemas, puede producirse un incumplimiento de plazos. Los retrasos en las entregas pueden producir cambios o la no aceptación del proyecto.

Los datos generados durante la captura de datos, unido a las nubes de puntos procesadas, constituyen gran cantidad de información que es necesario almacenar. En los proyectos de gran tamaño se puede llegar a una falta de capacidad de almacenamiento de esta información generada.

Por último, se han detectados cuatro **riesgos leves** en el desarrollo y gestión de estos proyectos.

Si el cliente no aporta información suficiente puede conllevar a otros riesgos derivados, como algunos de los expresados anteriormente.

Si durante el proceso no se tienen recursos suficientes, puede derivar en aumento de plazos y costes.

Cuando se necesita incorporar más recursos humanos y más especializados para poder desarrollar el proyecto en plazos y calidad, se puede producir un aumento en el coste del proyecto.

En cuanto al equipo, además de la falta de comunicación, puede producirse incumplimientos o finalización del proyecto por falta de motivación de los miembros. Aunque de manera poco habitual, los proyectos largos, manuales y muy específicos pueden producir que se desmotive el equipo.

Tras realizar este análisis, se puede **concluir** que existen varios riesgos durante todo el desarrollo del proceso y que pueden condicionar su finalización y cumplimiento. Aunque solo se ha detectado un riesgo grave, existen gran cantidad de riesgos medios a tener en cuenta. También existen algunos riesgos bajos a considerar.

Todos estos riesgos detectados y su severidad, se deberán tener en cuenta para el desarrollo del procedimiento de proyectos scan-to-BIM en entornos industriales.

6. PROCEDIMIENTO

Una vez enumeradas y descritas las lecciones aprendidas, se realiza un procedimiento basándose en ellas. El esquema general de los pasos en los que se divide el proyecto proviene del análisis de diferentes artículos sobre la temática, desarrollado en el estado del arte (figura 40), al que se le añade otro apartado presente durante todo el procedimiento dedicado a la calidad. Las fases en las que se puede ordenar el proceso scan-to-BIM son datos de partida, planificación, toma de datos, procesado, modelado BIM y presentación.

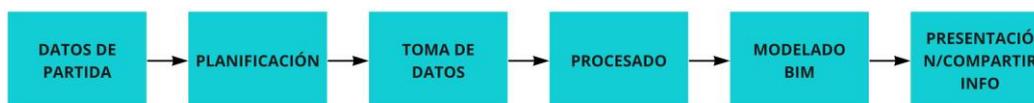


Figura 40. Fases principales del procedimiento [Elaboración propia]

Las lecciones aprendidas se clasifican dentro de estas siete fases, según el momento en el que se deban de tener en cuenta. Constituyen la base del procedimiento mejorado. Una vez clasificadas, se relacionan entre ellas según la implicación y dependencia existente entre ellas.

El procedimiento tiene como objetivo el establecimiento de unas pautas a seguir para la correcta realización y gestión de los proyectos que se basen en el proceso scan-to-BIM, para lograr una optimización de los plazos y costes mientras se mantiene la calidad deseada.

En los siguientes apartados se especifican en detalle cada una de las fases que conforman este procedimiento, centrándose en los elementos clave de cada una de ellas. Además, se describe la relación presente entre lecciones anteriores con las de la fase en la que nos encontremos.

Durante este apartado se mantendrá el mismo código de colores utilizado en los apartados anteriores, las acciones a implementar deducidas de lo que ha ido mal están en color rosa, mientras que las acciones que han ido bien están en verde (figura 41).



Figura 41. Leyenda de los gráficos [Elaboración propia]

6.1 Datos de partida



Figura 42. Datos de partida [Elaboración propia]

Las lecciones aprendidas están centradas, en su mayoría, en las primeras fases de los proyectos. En estas fases se estudia, analiza, planifica y gestiona el proyecto, por lo que su realización condiciona el desarrollo de este.

Tener en cuenta estas fases y llevarlas a cabo de manera óptima es fundamental para los proyectos. Esta idea se refuerza con la presencia de muchas lecciones aprendidas, tanto buenas como malas, en estos momentos.

El primer paso, denominado datos de partida, corresponde con el inicio del proyecto (figura 42). Engloba todos los aspectos que se deben tener en cuenta y las acciones a realizar antes del contrato, para poder realizar un estudio inicial adecuado, estimando los plazos, los costes y los riesgos, de acuerdo con los requerimientos y características del entorno. Es un primer acercamiento para conocer el alcance y las especificaciones del proyecto en concreto.

Las características de los proyectos scan-to-BIM hace que sea necesario tener en cuenta multitud de variables para que el análisis sea acertado.

A continuación, se analizan las acciones que se consideran importantes a realizar en la etapa precontractual.

Como se ha descrito anteriormente, scan-to-BIM es un proceso que se puede realizar con propósitos y de espacios muy diferentes. Para conocer en detalle el entorno industrial objeto del proyecto es importante realizar una **visita inicial**, donde poder ver no solo las dimensiones sino las condiciones de trabajo. Muchas características no son posibles o son difíciles de apreciar en medios audiovisuales como vídeos o imágenes, ni mediante las descripciones del cliente.

En esta visita, por tanto, se debe de obtener toda la información necesaria para el posterior estudio. Algunas de estas

características a analizar son dimensionales como la superficie total y por zonas, las alturas, la densidad de maquinaria y elementos o el solapamiento de equipos. Pero también hay que analizar las condiciones que pueden dificultar la toma correcta de los datos como la temperatura, las vibraciones, el ruido, la presencia de polvo y la suciedad.

Partiendo de los datos facilitados por el cliente y de la visita previa a la planta industrial, se obtienen las **condiciones del entorno** necesarias para planificar la toma de datos posterior.

Para un correcto análisis, se deben de recoger en un formulario común todas las condiciones y características identificadas por los miembros que han realizado esta visita, de manera clara, ordenada y precisa al término de la visita realizada.

Durante esta visita o en alguna de las reuniones, se debe de aclarar las **zonas más importantes** que se desean realizar, para estudiar y analizar con más detalle esas partes. Además, sería interesante identificar aquellas zonas críticas por las características del trabajo que allí se realiza como por las medidas de seguridad que se deben cumplir mientras se realiza el trabajo en esa zona.

Para garantizar la seguridad de los técnicos y prevenir cualquier incidente, y debido a las características específicas que presenta cada planta industrial, en muchos casos es necesario realizar exámenes y cursos para poder acceder a realizar trabajos en estas zonas. Esto, unido a otras documentaciones requeridas, provoca que sea necesario realizar multitud de burocracia para poder iniciar los trabajos.

El conocimiento de estos cursos o papeles necesarios, y los plazos que pueda conllevar su realización, es importante identificarlos con el cliente y dejar reflejados el riesgo y los **posibles retrasos** que se pueden producir por temas de burocracia.

Todo lo descrito hasta el momento hace referencia al entorno real industrial en el que se va a trabajar, pero también es necesario en esta etapa la definición del entregable que se desea obtener, sus requerimientos y su alcance. Debido a la falta de documentación sobre este proceso, será necesario realizar **herramientas propias** que permita facilitar la descripción del entregable.

Para facilitar el conocimiento y la descripción al cliente, se pueden utilizar **tablas tipo** con checklist de requisitos para concretar de manera clara el resultado esperado, quedando reflejados el alcance, el nivel de detalle y las características que busca. Estas tablas presentan ejemplos visuales donde distinguir entre los diferentes tipos, así como opciones dentro de cada tipo de requisitos (anexo 1).

Uno de los elementos importantes a definir para el futuro modelo final BIM, es lo relativo a las **etiquetas**. Se debe de definir el nivel de detalle que se pretende alcanzar en cuanto a la clasificación, así como las características que se desean añadir en el modelo, ya sean de materiales, históricas, del fabricante u otras.

Dentro de estas definiciones de entregables, es importante definir claramente el **tipo de modelo BIM** que se busca obtener en términos de desperfectos. Se debe de aclarar si se buscan modelos perfectos, con paredes a 90° y estándar, como si fueran de proyecto; o se quiere tener un modelo realista con todos los desperfectos, las inclinaciones y las irregularidades que presenta.

6.2 Planificación



Figura 43. Planificación [Elaboración propia]

Una vez aceptado el contrato, daría comienzo el proyecto scan-to-BIM a realizar en un entorno industrial.

La primera fase del proyecto sería la planificación del mismo, antes de comenzar su realización (figura 43). En esta etapa se realiza la definición de la gestión de todas las áreas necesarias para el proyecto como la gestión documental, de plazos, de riesgos, de recursos y de costes.

Toda esta información debería quedar reflejada en un documento donde se especifique toda la ejecución, es el caso del **BEP**, plan de ejecución BIM.

Para ello, la ejecución se debe basar en los propios **flujos** de trabajo de la empresa, ya que han sido probados y son conocidos por todos los miembros del equipo. Durante la ejecución de proyectos se debe de evitar la realización de pruebas o cambios relevantes en los flujos ya que puede conllevar retrasos o problemas en la consecución de los requerimientos.

A continuación, se describen algunos elementos que son relevantes a la hora de planificar estos proyectos, dentro de un plan de ejecución, BEP.

Se deben definir los **entregables** a realizar con el cliente, teniendo en cuenta no solo uno final sino entregables intermedios para ir conociendo el resultado del proyecto según zonas, plantas o la división escogida. Estas entregas intermedias también deben de estar definidas en plazos y recursos. Se propone el uso de entregas incrementales, que aporten valor.

Dentro de los entregables, además de las entregas previstas, también se debe de tener en cuenta los **tipos de archivos** necesarios. Según la finalidad del proyecto y las especificaciones definidas, se puede entregar nube de puntos, modelo 2D, modelo 3D, modelo BIM y/o superficie. Dentro de cada tipo escogido, se debe definir el formato más

indicado. Por ejemplo, en el caso de las nubes se puede querer un archivo .rcp, .las, .las, .e57 o .ptx, entre otras extensiones.

Otro de los elementos fundamentales a describir es el **sistema de coordenadas** a utilizar en el proyecto. Se puede usar un sistema de coordenadas oficial o un sistema de coordenadas local y relativo. En el caso de que se especifique un sistema propio, se debe de referenciar con el sistema oficial para poder posicionarlo correctamente.

También puede darse el caso de que los propios softwares no permitan el uso de coordenadas oficiales y se deba de usar como origen un punto dentro del propio edificio. Por ello, se debe de definir un sistema de coordenadas con origen en un punto adecuado del entorno industrial con coordenadas conocidas para los casos en los que se necesite que el origen del sistema esté cercano o en el propio modelo.

En cuanto a la **gestión documental**, es fundamental la definición de todos los aspectos relativos a la documentación, su almacenamiento, la forma de compartirla y su nomenclatura. Los nombres a utilizar en los diferentes archivos, así como la versión de estos estarán definidos en el plan de ejecución y deben de ser utilizados por todos los miembros.

Además del almacenamiento interno en la compañía, se deberá establecer un espacio común de datos, CDE. En este espacio estará toda la información relativa al proyecto y todos los entregables. Todos los interesados podrán acceder a esta información por medio de un perfil según sus necesidades, que le permitirá el acceso a una zona específica del almacenamiento y a una serie de funciones como descargar, anotar, editar o subir.

En cuanto a la **comunicación**, se debe establecer la manera de comunicarse tanto dentro del equipo como con el cliente o el resto de stakeholders. La comunicación continua y el feedback con el usuario final es recomendable durante la realización del proyecto para solventar cualquier problema o diferencia que pudiera surgir antes de finalizarlo, evitando tener que modificarlo o rehacerlo cuando esté todo entregado.

En cuanto a la **comunicación interna**, la definición de un medio colaborativo permite ver el avance del proyecto, la asignación de recursos y los problemas en tiempo real. Todos los miembros del equipo pueden actualizarlo y consultarlo, consiguiendo una gestión transparente del proyecto.

Para gestionar correctamente los **recursos** y el equipo de trabajo se debe de establecer los diferentes roles a realizar por cada uno de los miembros y un reparto de tareas con plazos y riesgos asociados. La asignación de las tareas deberá contemplar tanto aquellas más técnicas como la toma de datos o el procesado, como aquellas relativas a la comunicación con el cliente, envío de entregables o gestión de los cambios.

Otro de los elementos a planificar son los recursos no humanos necesario para la realización del proyecto, esto incluye tanto los equipos de toma de datos, los softwares y los ordenadores necesarios para poder realizar correctamente el proyecto. Cabe destacar la importancia de escoger adecuadamente el **equipo para la toma de datos**, que debe conseguir la precisión y requerimientos descritos en plazo y coste. La variedad de láser escáneres es amplia con diversas precisiones, alcances y precios.

Otros datos a tener en cuenta de la toma de datos son los **estacionamientos** a realizar, ya sean orientados o libres, y el número y localización de estos para cubrir toda la superficie, con mayor número en las zonas críticas e importantes.

Para una correcta gestión de plazos, se debe tener en cuenta un escalado de proyectos anteriores no de forma directa, sino teniendo en cuenta varias variables como superficie, plantas, elementos, zonas críticas y otras condiciones del entorno.

6.2.1 Relación con fases anteriores

Las acciones de cada fase no son individuales, sino que dependen y parten de otras acciones realizadas en la propia etapa o etapas anteriores. La realización de una actividad anterior de un modo u otro determina el éxito o no de las posteriores.

La planificación está directamente relacionada con la etapa anterior, los datos de partida. Para poder planificar el proyecto es fundamental tener en cuenta toda la información recogida durante los datos de partida, y es correspondiente con la entrada para ejecutar el plan de ejecución BIM, BEP (figura 44).

Además de esta relación directa entre fases, varias acciones se relacionan entre ellas de una fase a otra.

Para poder elegir correctamente el equipo para tomar los datos es necesario conocer las condiciones del entorno, así como las zonas importantes y críticas presentes en la industria objeto del proyecto.

Por otra parte, para poder gestionar el proyecto, sobre todo en el tema de los plazos, es importante conocer tanto las condiciones del entorno como el resultado esperado.

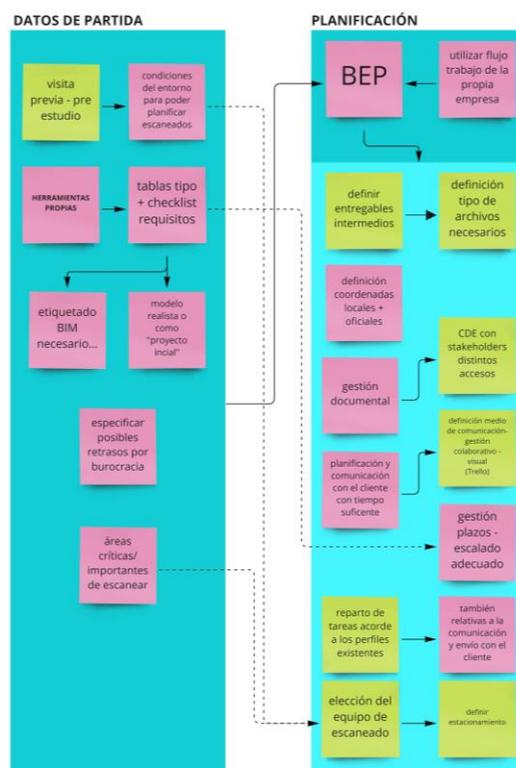


Figura 44. Relaciones entre datos de partida y planificación [Elaboración propia]

6.3 Toma de datos

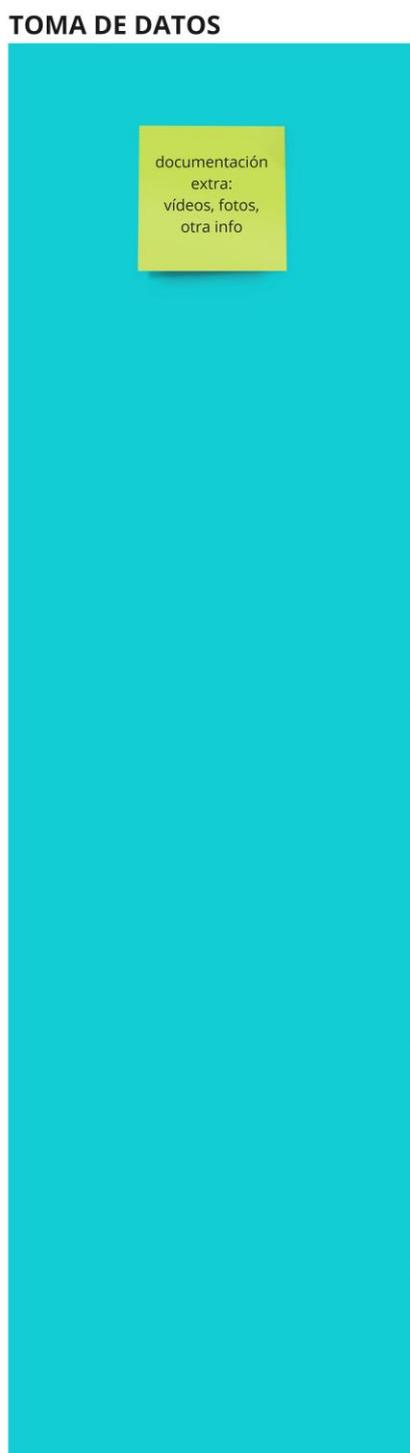


Figura 45. Toma de datos [Elaboración propia]

A partir de esta fase, el procedimiento está dividido de acuerdo a las distintas etapas que se han de realizar en un proyecto scan-to-BIM en cualquier sector o finalidad.

En estas cuatro fases se captura la realidad, se procesa, se modela y se presenta finalmente. Aunque la mayor parte de los posibles problemas y éxitos están relacionados con la gestión, la planificación y los datos iniciales, hay que tener en cuenta varios detalles en estas fases más técnicas.

La fase tercera de este procedimiento corresponde por tanto con la toma de datos, la captura de la realidad (figura 45). En este momento se accede a la planta industrial a realizar los estacionamientos necesarios para conseguir las nubes de puntos.

Durante esta visita se utilizarán las coordenadas oficiales y se obtendrán las coordenadas del origen del sistema de coordenadas relativo que se va a utilizar. En caso de que el cliente necesite un sistema propio, se obtendrán las referencias de ese sistema.

Un aspecto fundamental que se debe realizar durante esta fase, además del propio escaneo, es la **recopilación de toda la información** posible acerca de la planta industrial.

Es idóneo la realización de imágenes y vídeos de los estacionamientos con su correspondiente indicación y referencia para poder identificarlo posteriormente durante su procesado. También se deben realizar en aquellas zonas importantes o críticas para tener otra referencia en caso de que en la nube de puntos no se distinga.

Por otra parte, sería interesante obtener otra información sobre la planta que tengan los stakeholders o se pueda obtener allí. Ya sean planos anteriores, planos de evacuación, funcionamiento básico de la planta o simulaciones.

6.3.1 Relación con fases anteriores

Al igual que en el caso anterior, la toma de datos está directamente relacionada con las fases anteriores (figura 46).

De manera directa, se parte de la planificación y la información recopilada en el plan de ejecución que incluye todos los datos de partida obtenidos. El entregable que se necesita, así como sus requisitos son la base de la planificación de los equipos y los estacionamientos en la fase anterior, que se realizan en esta.

La configuración de los escaneos se relaciona con la precisión, la zona a escanear, el entregable deseado y otras características que se definen al inicio del proyecto. En las zonas que se consideran de gran importancia, se recomienda realizar más estacionamientos y tomar imágenes para evitar sombras posteriormente.

Otro de los datos que se deben tener en cuenta son el sistema de coordenadas relativo que se va a utilizar, que está definido en la planificación, y que debe referenciarse durante el trabajo de campo con los medios topográficos correspondientes.

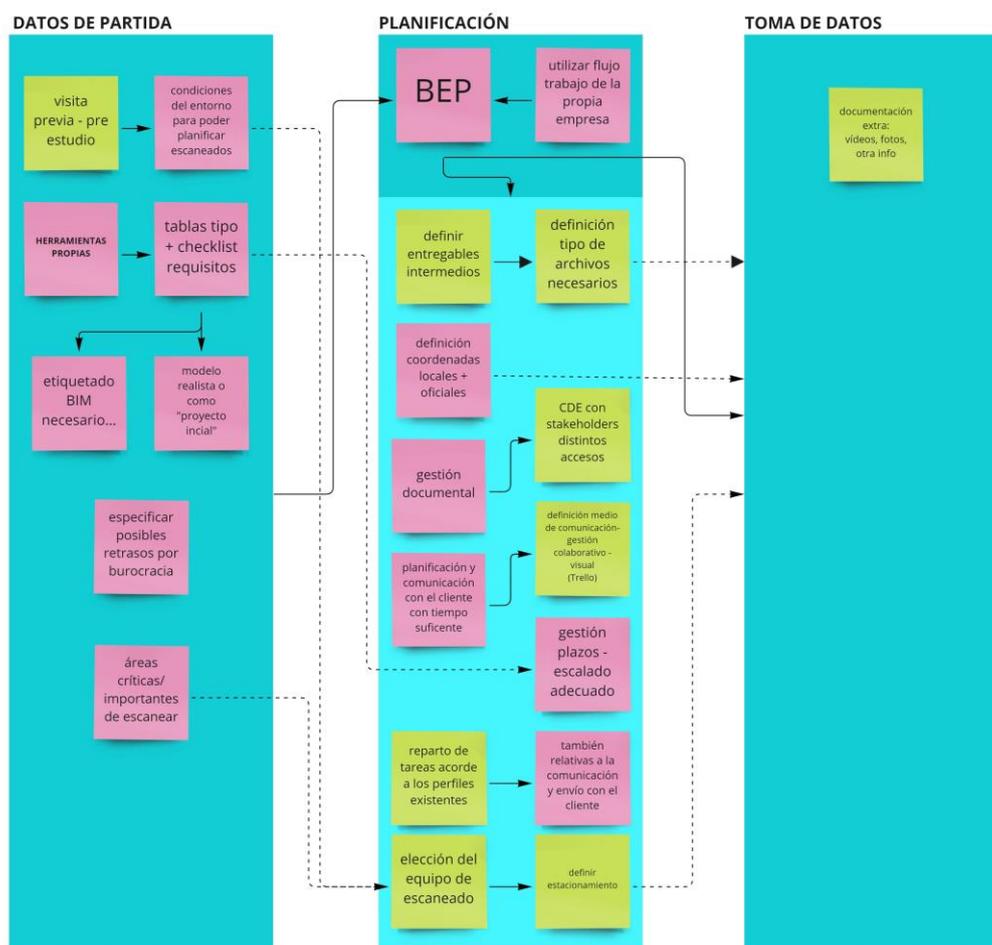


Figura 46. Relaciones entre la toma de datos y las fases anteriores [Elaboración propia]

6.4 Procesado

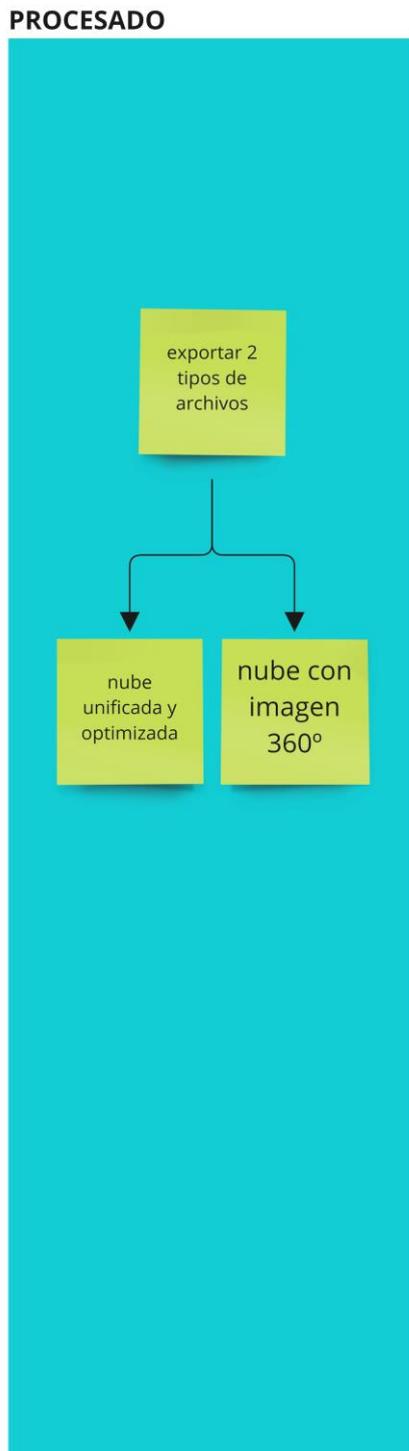


Figura 47. Procesado [Elaboración propia]

La siguiente fase corresponde con el procesado de los crudos obtenidos en el apartado anterior (figura 47), la captura de la realidad.

Este proceso se realiza con software especializado y se requiere de un ordenador con capacidad suficiente y que cumpla con los requisitos mínimos del programa.

Una vez procesados los escaneos, estos están orientados y forman una nube común entre todos ellos. Esta nube se puede exportar en distintos formatos y de diferentes formas según los requerimientos del cliente.

De manera general, es adecuado la exportación de la nube de puntos final de dos formas diferentes. Una de ellas unificada, filtrada y optimizada para su uso posterior durante el modelado, consiguiendo una nube de un tamaño óptimo.

La otra nube está formada por las nubes individuales de cada escaneo y en la que se incluye la imagen 360° obtenida durante la captura. Esta nube está destinada a ser un entregable en sí, que ayuda en la visualización con detalle de todos los elementos del entorno industrial y que está acompañada de estas imágenes para mayor detalle e información.

6.4.1 Relación con fases anteriores

Para llevar a cabo el procesado de los crudos de manera óptima de acuerdo al proyecto, se deben de tener en cuenta aspectos anteriormente definidos. Por ello, se encuentran relaciones entre las acciones obtenidas de las lecciones aprendidas con esta fase (figura 48).

De manera directa, los datos a procesar dependen de las nubes individuales obtenidas durante la toma de datos en el entorno industrial. Para empezar a procesarlos se debe de haber obtenido todos los crudos pertenecientes a la zona o planta definida como un entregable intermedio.

Por otra parte, estos entregables deben tener unos formatos y unas características concretas que se definieron en la segunda fase, así como las áreas que corresponden con un entregable intermedio.

La división en zonas presenta numerosas ventajas como el solapamiento de fases, el procesado de nubes de menores dimensiones y por tanto, archivos de menor tamaño y la entrega incremental.

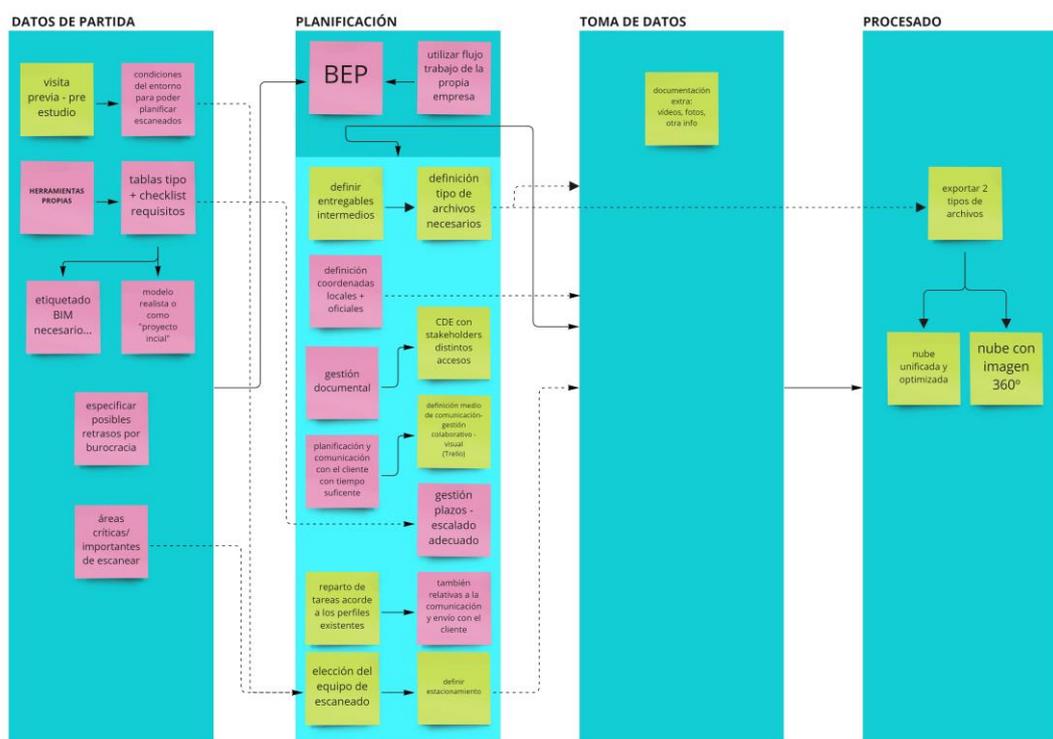


Figura 48. Relaciones entre el procesado y las fases anteriores [Elaboración propia]

6.5 Modelado BIM

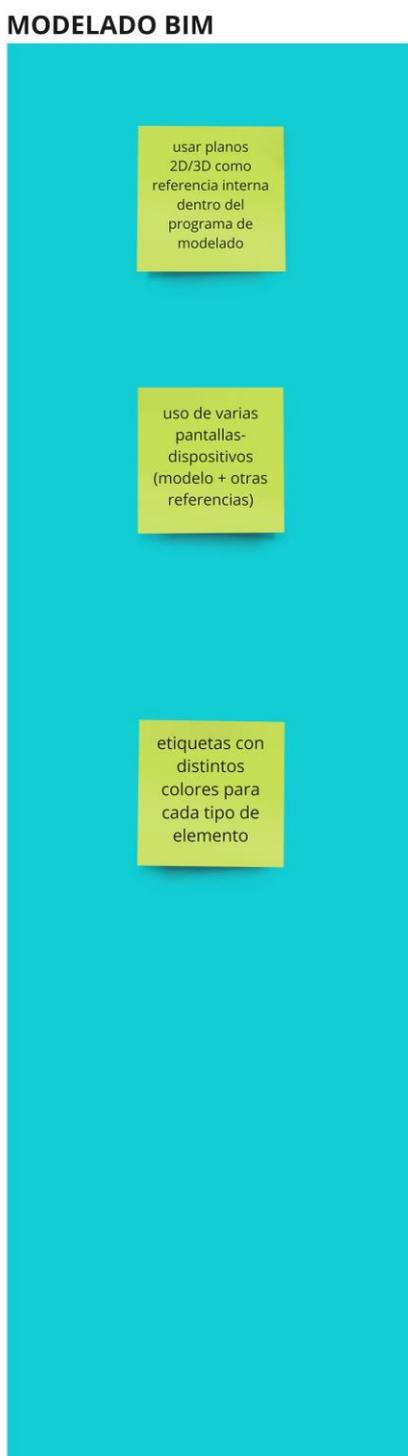


Figura 49. Modelado BIM [Elaboración propia]

Una vez captura y procesada la nube, se pasa al modelado BIM de este entorno industrial (figura 49).

Esta fase puede variar mucho dependiendo de los requisitos indicados en la fase inicial, tanto en tiempos, costes, calidad como en almacenamiento y necesidades de los equipos informáticos como la tarjeta gráfica o el procesador.

También varía según el software disponible para realizarlo, si es automático, semiautomático o totalmente manual.

Varios de los aspectos que pueden optimizar este proceso se especifican a continuación.

Además del uso de la nube de puntos como referencia, se puede apoyar en otros elementos que ayuden a identificar los elementos de la nube. Se puede utilizar **planos** o modelos 3D anteriores o teóricos como base en la que añadir los elementos visualizados y obtenidos en la nube de puntos.

Dentro del modelo, también es de gran ayuda el uso de **etiquetas** con colores muy diferenciados. Al visualizar el modelo por etiquetas es posible distinguir y comprobar que los equipos están colocados en la etiqueta correspondiente según la especialidad a la que pertenezcan.

Por otra parte, a nivel exterior y para comodidad y rapidez del modelador, es óptimo el uso de **varias pantallas** para modelar. De esta manera se pueden visualizar tanto el modelo con la nube en el software BIM como el resto de referencias que sirven de ayuda en el modelado, ya sean imágenes, vídeos, planos o la nube con las imágenes en 360°.

6.5.1 Relación con fases anteriores

De manera similar a las anteriores fases, el modelado también está relacionado y presenta dependencia de varios elementos y fases anteriores (figura 50).

Para realizar este proceso es necesario partir de la información y los datos obtenidos de las dos fases anteriores, la toma de datos y el procesado. Se usarán como base las nubes procesadas en el apartado anterior.

Por otra parte, también servirán como referencia los planos o modelos anteriores recopilados durante la fase de toma de datos, en los casos en los que no sea fácilmente reconocibles los elementos en la nube de puntos. Además, también facilitarán esta tarea las imágenes y vídeos obtenidos durante el escaneado del entorno industrial.

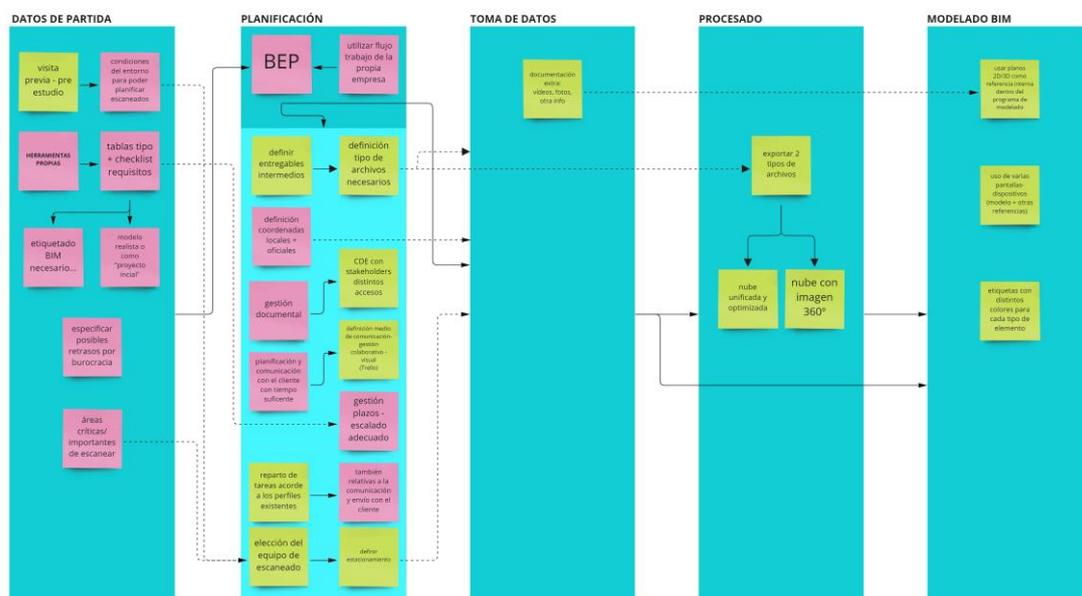
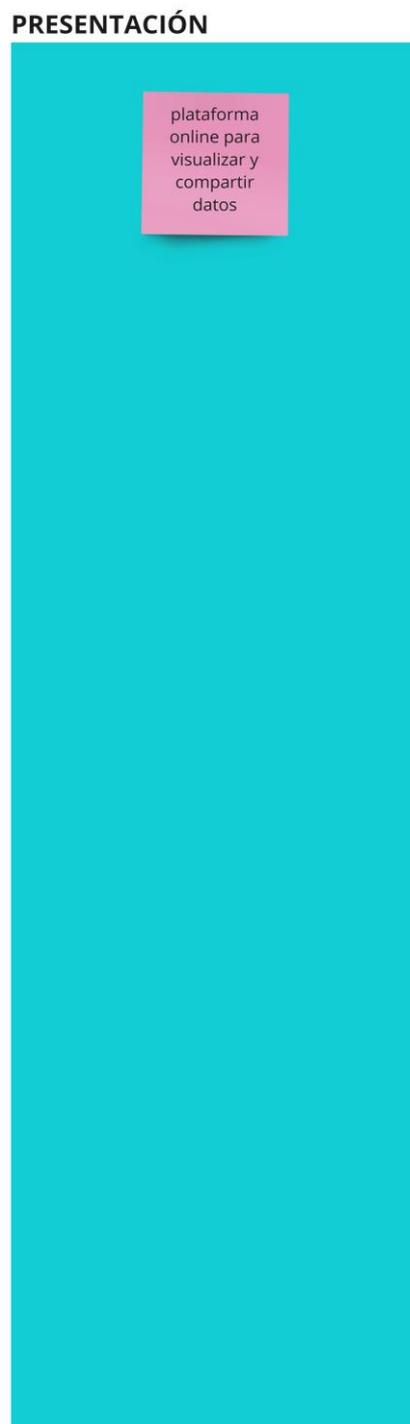


Figura 50. Relaciones entre el modelado BIM y las fases anteriores [Elaboración propia]

6.6 Presentación



El último paso se realiza una vez finalizado el proceso, y corresponde con la presentación, la entrega de los archivos finales al cliente (figura 51).

Existen diferentes formatos, incluso es posible realizar visitas virtuales, simulaciones o imágenes realistas.

Un elemento que aporta valor extra y facilita la colaboración y el uso óptimo de todos los interesados de la información es la existencia de una **plataforma online** para visualizar y compartir todos los datos.

Esta plataforma permitiría visualizar tanto la nube como el modelo BIM, así como las imágenes referenciadas en este entorno. Toda la información relativa a los entregables estaría agrupada en esta plataforma, como diferentes capas de visualización.

Según el grado de información a la que pueda acceder cada interesado, se le asignará un perfil con acceso limitado a estas partes. Además, esta herramienta estaría completa con herramientas de comentarios, medición y revisiones.

Figura 51. Presentación [Elaboración propia]

6.6.1 Relación con fases anteriores

La presentación del proyecto es la fase final y se presentan los datos obtenidos, procesados y gestionados durante las fases anteriores (figura 52).

Se presentan tanto las nubes de puntos como el modelo BIM final obtenido de todo el conjunto objeto de realizar el proceso Scan-to-BIM. Esta información se puede presentar de distintas formas, siempre que se mantenga un espacio común de datos definido en la planificación que puede ser la plataforma online de visualización.

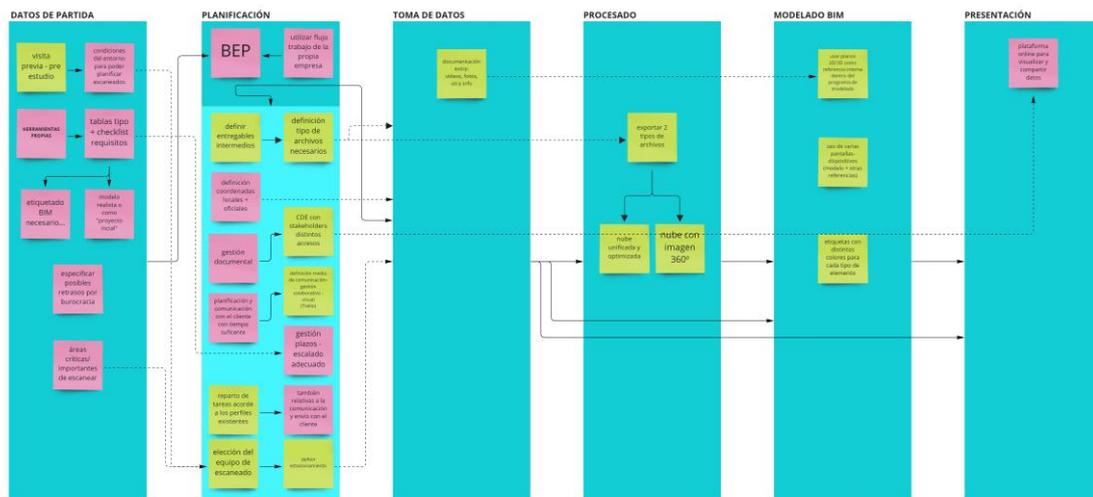


Figura 52. Relaciones entre la presentación y las fases anteriores [Elaboración propia]

6.7 Calidad

Por último, y de manera continua durante todo el proyecto, se tendrán en cuenta varias variables y aspectos que garantizan la calidad del proyecto (figura 53).

Para evitar cambios en el alcance o los requisitos durante el desarrollo es recomendable la realización de una prueba piloto al inicio del proyecto en el que se reflejen todos los aspectos y requisitos fijados por el cliente. En este momento podrá reflejar las inconformidades y así poder desarrollar el resto del proyecto adecuadamente y acorde a lo que se busca. Es un mecanismo para garantizar la calidad de estos entregables.

Una vez finalizado cada uno de los entregables intermedios, así como el final, se recomienda la realización de una revisión del modelado por otro miembro del equipo antes de la entrega al usuario final. Con esta revisión se pretende detectar todos los fallos y las inconformidades para corregirlas antes de que el usuario final lo visualice.

Debido al tipo de trabajo realizado, es importante el feedback de uno o más miembros del equipo para obtener la revisión desde diferentes puntos de vista.

Para garantizar el correcto desarrollo del proyecto es fundamental que el director del proyecto realice una correcta gestión de este. Debe tener en cuenta todas las variables existentes tanto internas como externas, y abarcar todas las áreas.

Cuando se necesita realizar un cambio es importante que quede reflejado y que todos los interesados estén informados de esto o puedan consultarlo. Para conseguir que se siga siempre el mismo proceso, evitando errores, es importante reflejar al inicio del proyecto o en el flujo de la empresa un procedimiento de calidad para los cambios.

La mejora continua es importante para conseguir la calidad deseada en todos los proyectos. Por ello, a la finalización de cada uno de los proyectos es recomendable realizar una reunión donde los diferentes miembros muestren su visión y las lecciones aprendidas durante su ejecución. Este proceso es el seguido durante la ejecución de este trabajo para optimizar y generar un procedimiento para los proyectos basados en scan-to-BIM en entornos industriales.

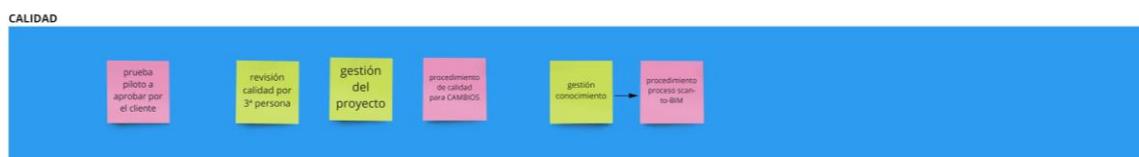


Figura 53. Calidad [Elaboración propia]

6.7.1 Relación con fases anteriores

La calidad está presente en todo el procedimiento, relacionándose con todas las fases (figura 54). Aunque existen ciertos puntos donde se encuentran relaciones que son importante destacar.

Al final la fase de presentación, se realiza la gestión del conocimiento que, de manera cíclica, vuelve a introducirse en el proceso en los datos de partida. Este proceso circular forma parte de la mejora continua que debe estar presente durante la realización de todos los proyectos de la empresa para así adecuar dicho procedimiento a las características de cada organización.

Los procedimientos y todos los aspectos relativos a la gestión de la calidad deben de quedar reflejados en el BEP para que todos los interesados puedan estar informados de ello. Un ejemplo de esto es la incorporación de la necesidad de realizar la prueba piloto para continuar el proyecto una vez se haya aceptado o modificado.

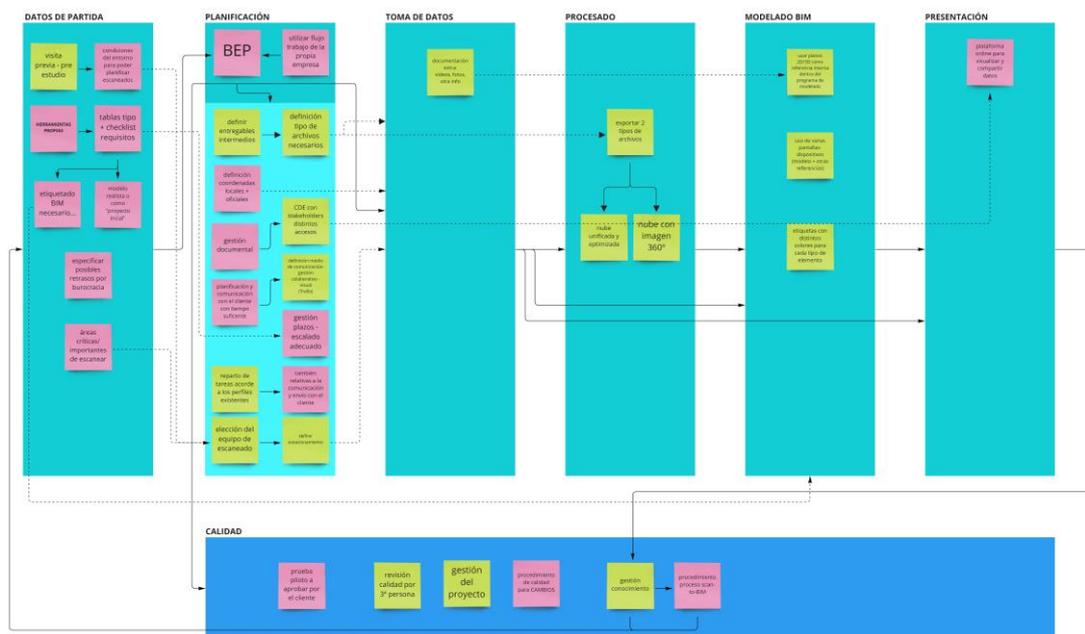


Figura 54. Relaciones entre calidad y las fases anteriores [Elaboración propia]

6.8 Procedimiento final

Una vez descritas cada una de las partes y su relación, se obtiene el procedimiento final para proyectos scan-to-BIM basado en las lecciones aprendidas durante la ejecución de dichos proyectos (figura 55).

Con esto se consiguen varios **beneficios** que se resumen en la optimización del proceso en términos de calidad, costes y tiempo. Se logra realizar un procedimiento ágil en el que se presta atención a las variables relativas a la gestión y, también, a las propias personas que lo llevan a cabo.

La obtención de este procedimiento mediante las lecciones aprendidas de un equipo multidisciplinar que realiza este tipo de proyectos, garantiza el conocimiento de la temática y los problemas encontrados durante la ejecución por ellos mismos. La gestión del conocimiento orientándose a una mejora continua favorece el crecimiento y la optimización de equipos y proyectos.

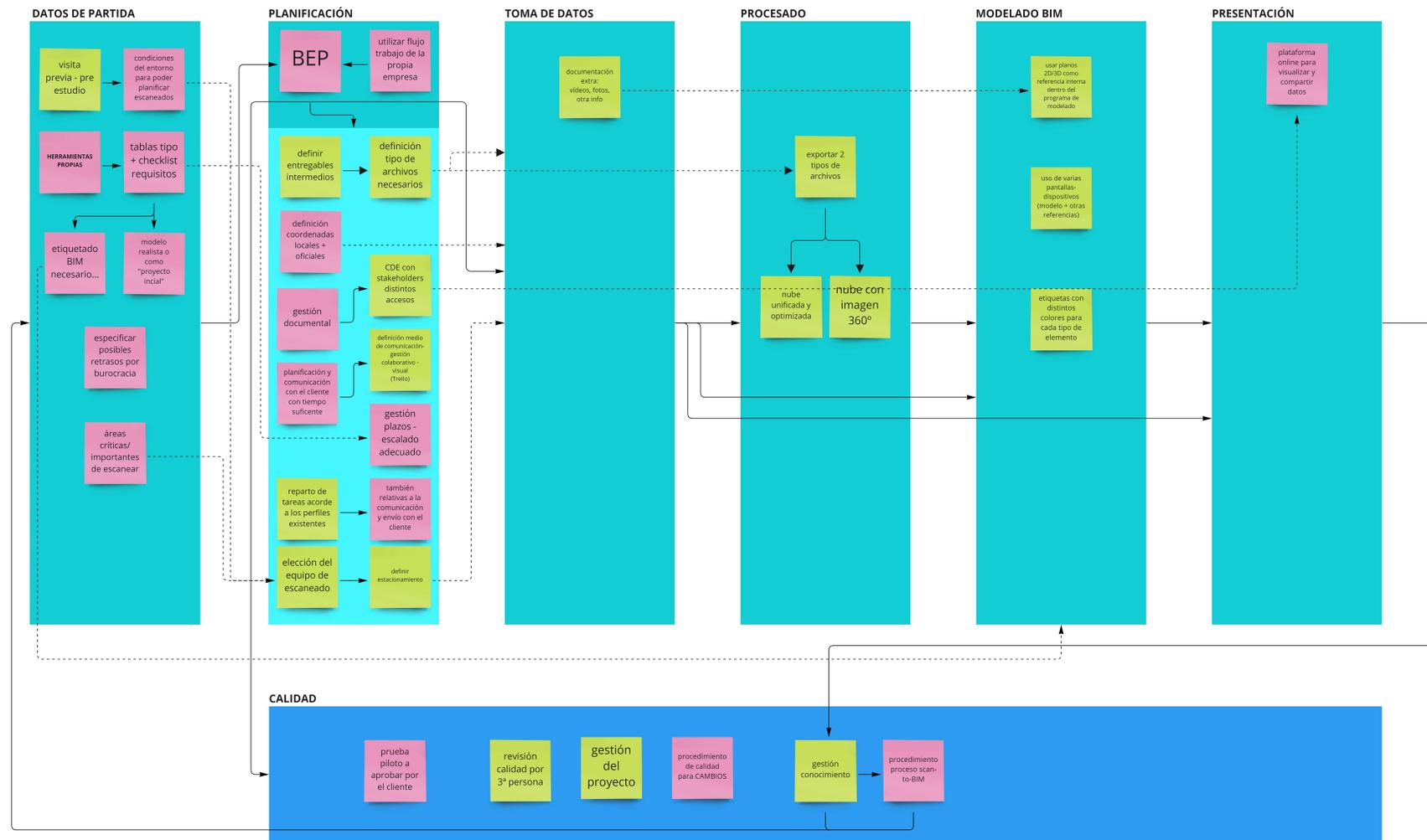


Figura 55. Procedimiento para proyectos scan-to-BIM en plantas industriales [Elaboración propia]

6.9 Conclusiones del procedimiento

Como se describe en las conclusiones del estado del arte, con este procedimiento se intenta complementar el espacio vacío existente en la gestión de proyectos basados en el proceso scan-to-BIM en entornos industriales.

A través de un esquema sencillo y preciso, se busca una fácil comprensión por parte de los equipos que quieran ponerlo en práctica. Además, el código de color y gráfico facilita la lectura de las diferentes fases, apartados y las relaciones que presentan.

A lo largo de este apartado, se han analizado las lecciones aprendidas, descritas en el punto 5, para generar un procedimiento adecuado para optimizar el desarrollo y gestión de este tipo de proyectos.

7. CONCLUSIONES

Tras la finalización del presente trabajo fin de máster se puede concluir que se ha conseguido desarrollar un procedimiento para los proyectos que utilizan el proceso scan-to-BIM en plantas industriales.

Al analizar dicho procedimiento se detectan varios beneficios con su aplicación. Se optimiza el proceso reduciendo los tiempos, los plazos y los costes de su ejecución, a la vez que se minimizan los riesgos.

Además de dicha reducción en los costes y los plazos, se garantiza la obtención de la calidad requerida mediante los diferentes mecanismos descritos a lo largo del proceso. Estos aspectos, junto con la transparencia de la información, la posibilidad de adaptación y las entregas incrementales, favorecen la agilidad del procedimiento.

Por otra parte, la presentación de forma visual y sencilla de este, facilita la comprensión y la implementación por los diferentes equipos interesados. Ya que no todos ellos presentan las mismas características, este procedimiento puede y debe adaptarse a cada empresa.

Todo lo anterior se logra gracias al análisis de la información existente y a la gestión del conocimiento. Se comienza haciendo una recopilación y un análisis de la información externa relativa a la aplicación de metodologías en este sector, así como su aplicación en otros. Para ello, se han analizado artículos, ponencias, cursos y manuales de instituciones y de fabricantes.

En cuanto a la gestión del conocimiento, se realiza a través de las lecciones aprendidas con la finalidad de conseguir una mejora continua. Se analizan los fallos, los aciertos y los riesgos encontrados durante la realización profesional de este tipo de proyectos, siguiendo una metodología clara y objetiva. Tras este análisis, se detectan las acciones a implementar que, una vez clasificadas y relacionadas, conformarán el procedimiento final.

Finalmente, se puede concluir que, tal y como se describe a lo largo de este apartado, se han conseguido alcanzar los objetivos fijados al inicio del presente Trabajo Fin de Máster "Aplicación de metodología BIM en el sector industrial".

7.1 Continuidad del proyecto

Para continuar mejorando el proyecto y la gestión del conocimiento, se debería probar el procedimiento en varios proyectos reales que presenten características distintas para ver su adecuación.

Tras la realización de esta prueba, se obtendrían y analizarían nuevas lecciones aprendidas para seguir con la mejora continua de estos proyectos, con el objetivo de garantizar la optimización del proceso.

Para futuros trabajos, se podría añadir un nuevo condicionante como la ampliación a proyectos donde se usa mobile mapping. Este sistema es capaz de capturar mucha información en movimiento, por lo que se necesita gran capacidad para procesarla y almacenamiento para guardarla.

Por otra parte, dentro del entorno técnico relativo a proyectos scan-to-BIM, se podría buscar la optimización de estos procesos mediante la mejora de los softwares y de las herramientas existentes de detección automática de elementos en la nube de puntos. Esto, unido a otras posibles mejoras técnicas, tienen como objetivo la automatización del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry," *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, Jun. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
- [2] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs," *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109–127, Mar. 2014, doi: 10.1016/J.AUTCON.2013.10.023.
- [3] C. J. Roberts, E. A. Pärn, D. J. Edwards, and C. Aigbavboa, "Digitalising asset management: concomitant benefits and persistent challenges," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 36, no. 2, pp. 152–173, May 2018, doi: 10.1108/IJBPA-09-2017-0036/FULL/XML.
- [4] G. Rocha, L. Mateus, S. Malinverni, and R. Pierdicca, "A Survey of Scan-to-BIM Practices in the AEC Industry—A Quantitative Analysis," *ISPRS International Journal of Geo-Information 2021, Vol. 10, Page 564*, vol. 10, no. 8, p. 564, Aug. 2021, doi: 10.3390/IJGI10080564.
- [5] V. Badenko *et al.*, "SCAN-TO-BIM METHODOLOGY ADAPTED FOR DIFFERENT APPLICATION," 2019, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.
- [6] B. Wang, C. Yin, H. Luo, J. C. P. Cheng, and Q. Wang, "Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data," *Automation in Construction*, vol. 125, p. 103615, May 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103615.
- [7] B. Wang, Q. Wang, J. C. P. Cheng, C. Song, and C. Yin, "Vision-assisted BIM reconstruction from 3D LiDAR point clouds for MEP scenes," *Automation in Construction*, vol. 133, p. 103997, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103997.
- [8] B. Bortoluzzi, I. Efremov, C. Medina, D. Sobieraj, and J. J. McArthur, "Automating the creation of building information models for existing buildings," *Automation in Construction*, vol. 105, p. 102838, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102838.
- [9] Q. Wang, J. Guo, and M. K. Kim, "An Application Oriented Scan-to-BIM Framework," *Remote Sensing 2019, Vol. 11, Page 365*, vol. 11, no. 3, p. 365, Feb. 2019, doi: 10.3390/RS11030365.
- [10] C. G. Guida, A. di Filippo, and P. D'Agostino, "Scan-To-Bim Procedure for an Old Industrial Plant," pp. 1019–1026, Jun. 2021, doi: 10.1007/978-3-030-75275-0_112.
- [11] M. G. Angelini, V. Baiocchi, D. Costantino, and F. Garzia, "SCAN TO BIM FOR 3D RECONSTRUCTION OF THE PAPAL BASILICA OF SAINT FRANCIS IN ASSISI IN ITALY", doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-47-2017.
- [12] M. lo Brutto, E. Iuculano, and P. lo Giudice, "INTEGRATING TOPOGRAPHIC, PHOTOGRAMMETRIC AND LASER SCANNING TECHNIQUES FOR A SCAN-TO-BIM PROCESS", doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-883-2021.
- [13] M. Radanovic, K. Khoshelham, and C. Fraser, "Geometric accuracy and semantic richness in heritage BIM: A review," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 19, p. e00166, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.DAACH.2020.E00166.
- [14] M. Pepe, D. Costantino, V. S. Alfio, A. G. Restuccia, and N. M. Papalino, "Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural

- heritage site," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 50, pp. 115–125, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.CULHER.2021.05.006.
- [15] J. Moyano, C. P. Odriozola, J. E. Nieto-Julián, J. M. Vargas, J. A. Barrera, and J. León, "Bringing BIM to archaeological heritage: Interdisciplinary method/strategy and accuracy applied to a megalithic monument of the Copper Age," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 45, pp. 303–314, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.CULHER.2020.03.010.
- [16] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, and V. Ferreira, "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings," *Heritage 2020, Vol. 3, Pages 47-67*, vol. 3, no. 1, pp. 47–67, Feb. 2020, doi: 10.3390/HERITAGE3010004.
- [17] A. Justo, M. Soilán, A. Sánchez-Rodríguez, and B. Riveiro, "Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data," *Automation in Construction*, vol. 127, p. 103703, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103703.
- [18] M. Intignano *et al.*, "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Stone Pavements in Archaeological Sites," *Heritage 2021, Vol. 4, Pages 3032-3049*, vol. 4, no. 4, pp. 3032–3049, Oct. 2021, doi: 10.3390/HERITAGE4040169.
- [19] F. Banfi, R. Brumana, and C. Stanga, "EXTENDED REALITY AND INFORMATIVE MODELS FOR THE ARCHITECTURAL HERITAGE: FROM SCAN-TO-BIM PROCESS TO VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY," *Virtual Archaeology Review*, vol. 10, no. 21, pp. 14–30, 2019, doi: 10.4995/var.2019.11923.
- [20] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi, and J. C. Huang, "From BIM to extended reality in AEC industry," *Automation in Construction*, vol. 116, p. 103254, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.AUTCON.2020.103254.
- [21] W. S. Alaloul, A. H. Qureshi, M. A. Musarat, and S. Saad, "Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress monitoring," *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102877, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.102877.
- [22] "Software Revit | Obtener precios y comprar software de Revit 2022 oficial | Autodesk." <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (accessed Jul. 17, 2022).
- [23] "Software Civil 3D | Obtener precios y comprar el producto Civil 3D 2023 oficial | Autodesk." <https://www.autodesk.es/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (accessed Jul. 17, 2022).
- [24] "Software de ReCap | Obtener precios y comprar ReCap Pro 2023 | Autodesk." <https://www.autodesk.es/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> (accessed Jul. 17, 2022).
- [25] "Navisworks | Obtener precios y comprar Navisworks 2023 | Autodesk." <https://www.autodesk.es/products/navisworks/overview?panel=buy&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=NAVSIM> (accessed Jul. 17, 2022).
- [26] "CloudCompare - home." <https://www.cloudcompare.org/main.html> (accessed Jul. 17, 2022).

- [27] "Software de procesamiento de nubes de puntos 3D Leica Cyclone | Leica Geosystems." <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> (accessed Jul. 17, 2022).
- [28] "Rhino - Rhinoceros 3D." <https://www.rhino3d.com/es/> (accessed Jul. 17, 2022).
- [29] "Digitalización: Guía del Fondo de Recuperación Europeo | EL PAÍS." <https://elpais.com/publi-especial/fondos-europeos-la-guia/capitulo-3-digitalizacion/> (accessed Jun. 21, 2022).
- [30] "Portada | Comisión Interministerial BIM." <https://cbim.mitma.es/> (accessed Jun. 21, 2022).
- [31] "6 datos que debes conocer sobre la captura de Realidad 3D." https://topotienda.com/noticias/18_6-datos-que-debes-conocer-sobre-la-captura-de (accessed Jun. 24, 2022).
- [32] "Escaneo | Topcon Positioning." <https://www.topconpositioning.com/es/escaneo> (accessed Jun. 24, 2022).
- [33] "¿Qué es BIM? - BuildingSMART Spanish Chapter." <https://www.buildingsmart.es/bim/> (accessed Jun. 24, 2022).
- [34] "Portada | Comisión Interministerial BIM." <https://cbim.mitma.es/> (accessed Jun. 22, 2022).
- [35] "Unir, generar y analizar información con BIM." http://www.hildebrandt.cl/unir-generar-y-analizar-informacion-con-bim/?utm_medium=email&utm_source=newsletter&utm_campaign=boletin_31032021&utm_content=blog_noticia_1 (accessed Jun. 24, 2022).
- [36] "Sistema clasificación (Qué es) | Espacio BIM." <https://www.espaciobim.com/sistema-clasificacion> (accessed Jun. 25, 2022).
- [37] "Level of Development Specification - BIM Forum." <https://bimforum.org/lod/> (accessed Jun. 25, 2022).
- [38] "¿Qué es LOD en la metodología BIM? · BIMnD." <https://www.bimnd.es/lod-la-metodologia-bim/> (accessed Jun. 25, 2022).
- [39] "bSI Standards - buildingSMART International." <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/> (accessed Jun. 25, 2022).
- [40] "Observatorio CBIM | Comisión Interministerial BIM." <https://cbim.mitma.es/observatorio-cbim> (accessed Jun. 21, 2022).
- [41] "Historia del método Kaizen | BBVA España." <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/agile/metodologia-agile/historia-metodo-kaizen.html> (accessed Jul. 15, 2022).
- [42] "La plataforma visual de colaboración para los equipos | Miro." <https://miro.com/es/> (accessed Jul. 15, 2022).

ANEXO 1- Tabla tipo y checklist

CHECKLIST SCAN-TO-BIM - alcance y requisitos del proyecto

elegir una opción de cada columna y rellenar el checklist

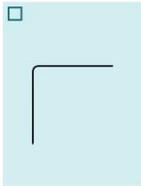
	CAD 2D	CAD 3D	BIM		
MODELO - ejemplo tipo	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
ETIQUETAS - clasificación	<input type="checkbox"/> clasificación en capas por especialidad <input type="checkbox"/> sin capas		<input type="checkbox"/> sin etiquetas <input type="checkbox"/> especialidad - general <input type="checkbox"/> equipo - familia <input type="checkbox"/> equipo - específico <input type="checkbox"/> material <input type="checkbox"/> datos históricos <input type="checkbox"/> otras:		
ENTREGABLES - tipos de archivo	<input type="checkbox"/> dwg <input type="checkbox"/> otro:	<input type="checkbox"/> dwg <input type="checkbox"/> otro:	<input type="checkbox"/> ifc <input type="checkbox"/> otro archivo BIM:		
ENTREGABLES - tipos de archivo	<input type="checkbox"/> recap <input type="checkbox"/> ptx <input type="checkbox"/> e57 <input type="checkbox"/> las/laz		<input type="checkbox"/> nube unificada <input type="checkbox"/> nube por estacionamiento <input type="checkbox"/> nube por plantas		
OTROS DATOS	<input type="checkbox"/> coordenadas oficiales <input type="checkbox"/> coordenadas locales <input type="checkbox"/> modelado de proyecto <input type="checkbox"/> modelado realista <input type="checkbox"/> existen zonas críticas: <input type="checkbox"/> existen zonas con mayor importancia:				
PRESENTACIÓN EXTRA	<input type="checkbox"/> combinación con otros datos: termografía, georradar... <input type="checkbox"/> superficie (mesh) <input type="checkbox"/> imágenes renderizadas <input type="checkbox"/> animaciones - simulación <input type="checkbox"/> realidad virtual <input type="checkbox"/> realidad aumentada				

Figura 56. Checklist para la toma de datos inicial con el cliente [Elaboración propia]

