



METODOLOGÍA BIM: OPORTUNIDADES PARA INTEGRAR LA PRL A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA DE UNA CONSTRUCCIÓN



Título:

Metodología BIM: oportunidades para integrar la PRL a lo largo del ciclo de vida de una construcción.

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Equipo de investigación:

Ingeniería y Prevención de Riesgos, S.L.

Coordinado por:

Diego García Páramo (INSST)

Elaborado por:

Diego García Páramo (INSST)

Elena Limón García (INSST)

Manuel Ángel Peiteado Peiteado (INSST)

Colaboración de:

Mercedes de Juan Cámara (INSST)

Cecilia Gavilanes Pérez (INSST)

Ana Sánchez Sauce (INSST)

Carlos María Fernández Vázquez (INSST)

Rubén Sebastián Carrasco Gomáriz (INSST)

José Ángel Sánchez Servate (INSST)

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

C/ Torrelaguna 73, 28027 Madrid

Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27

www.insst.es

Maquetación:

Producciones Pantuás, S.L.

Edición: Madrid, noviembre 2023

NIPO (en línea): 118-23-043-1

Hipervínculos:

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo, la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel edirija.

Agradecimientos:

Nuestro agradecimiento a FREEFORM (UK), 3D REPO (UK), ACCIONA INGENIERÍA S.A., BERRILAN BIM S.L.P., OBRASCON HUARTE LAIN S.A (OHLA), MORPH ESTUDIO, UTE ACCIONA CONSTRUCCIÓN S.A. – FERROVIAL AGROMAN S.A., VISUAL TECHNOLOGY LAB S.L. (VT-LAB) y ALLENDE ARQUITECTOS S.A.P. por las imágenes cedidas y la información compartida sobre modelos actuaciones en metodología BIM para la elaboración de este estudio técnico.

Nota. Las imágenes incluidas en este estudio tienen como objeto ilustrar, con ejemplos prácticos, los conceptos y procesos descritos en el texto. En ningún caso se pretende recomendar o respaldar el uso de herramientas o sistemas informáticos determinados.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de publicaciones del INSST:

<https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones>



ÍNDICE

0. NECESIDAD DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANÁLISIS DE LEGISLACIÓN, NORMAS Y ESTÁNDARES TÉCNICOS Y CONTEXTO BIM EN ESPAÑA.....	10
2.1. Legislación, normas técnicas y estándares de referencia.....	10
2.2. Contexto BIM en España	12
3. INTEGRACIÓN DE LA PRL EN EL CICLO DE VIDA DE UNA CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA BIM	15
3.1. Conceptos y consideraciones básicas sobre el funcionamiento de la metodología BIM	15
3.2. Oportunidades que presenta BIM para la integración de la PRL en el ciclo de vida de un activo	19
3.3. Etapa de diseño: integración de la PRL aplicando la metodología BIM	21
3.4. Etapa de planificación, ejecución y cont ol de obra: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.....	34
3.5. Etapa de operación y mantenimiento: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.....	43
3.6. Etapa de rehabilitación y cambio de uso: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.....	49
3.7. Etapa de demolición: integración de la PRL utilizando la metodología BIM	52
4. EJEMPLO PRÁCTICO DE INTEGRACIÓN DE LA PRL A TRAVÉS DE METODOLOGÍA BIM	58
4.1. Descripción del supuesto analizado	58
4.2. Integración de la PRL en la etapa de diseño utilizando BIM	59
4.3. Integración de la PRL en la etapa de construcción utilizando BIM.....	68
4.4. Integración de la PRL en la etapa de operación utilizando BIM.....	73
4.5. Integración de la PRL en la etapa de demolición utilizando BIM	75
5. CONCLUSIONES	78
6. GLOSARIO DE TÉRMINOS	80
7. BIBLIOGRAFÍA	83



NECESIDAD DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS

0. NECESIDAD DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS.

BIM —*Building Information Modeling*— es una metodología de trabajo colaborativa para la concepción y gestión de proyectos de edificación y de obra civil que centraliza toda la información en un modelo digital. Los datos contenidos en este modelo permiten gestionar los elementos de la edificación o de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida. En un momento en el que se prevé la irrupción de BIM y en el que se está fomentando su utilización por parte de las Administraciones públicas, es una necesidad que se sienten las bases para que la seguridad y salud en el trabajo se integre en el citado modelo digital y a lo largo del ciclo de vida de la construcción. De esta forma, se contará con criterios preventivos de referencia que podrán ser tenidos en cuenta a medida que la implantación de BIM vaya extendiéndose.

El documento que se presenta a continuación tiene como fin analizar y presentar el potencial de la metodología BIM —por las características que le son inherentes— en el ámbito de la prevención de riesgos laborales. Para que dicho potencial se pueda alcanzar en la práctica, el modelo deberá incorporar información relevante de manera que esté disponible para la adecuada gestión de la seguridad y salud en cada una de las etapas del ciclo de vida de una construcción. Estas cuestiones se desarrollarán a lo largo del presente estudio y, en concreto, se abordarán los siguientes aspectos:

1. Oportunidades que ofrece BIM para la integración de la prevención de riesgos laborales y actuaciones que deberían realizarse a tal fin
2. Ventajas que puede aportar BIM para lograr una mejora efectiva de las condiciones de trabajo a lo largo de todas las etapas de una construcción.
3. Posibilidades que presenta la metodología BIM para facilitar un cumplimiento más eficaz de las obligaciones legales de los diferentes agentes intervinientes en el ámbito de la seguridad y salud laboral.

El marco de referencia que se ha utilizado en lo relativo a la prevención de riesgos laborales es el establecido en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), en su normativa de desarrollo y en los criterios técnicos emitidos por Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) en los siguientes documentos:

- Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción.
- Directrices básicas para la integración de la prevención de los riesgos laborales en las obras de construcción.
- Notas Técnicas de Prevención 1.126, 1.127 y 1.128 Integración de la PRL en el diseño de obras de construcción (fundamentos, criterios y soluciones organizativas y rehabilitación de un depósito).



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

La metodología BIM supone un importante cambio en la manera de gestionar los procesos de diseño, contratación, planificación y ejecución de una obra, así como en la explotación y el mantenimiento del activo. Para entender esta metodología, debemos partir de la definición establecida por la Comisión Interministerial BIM¹:

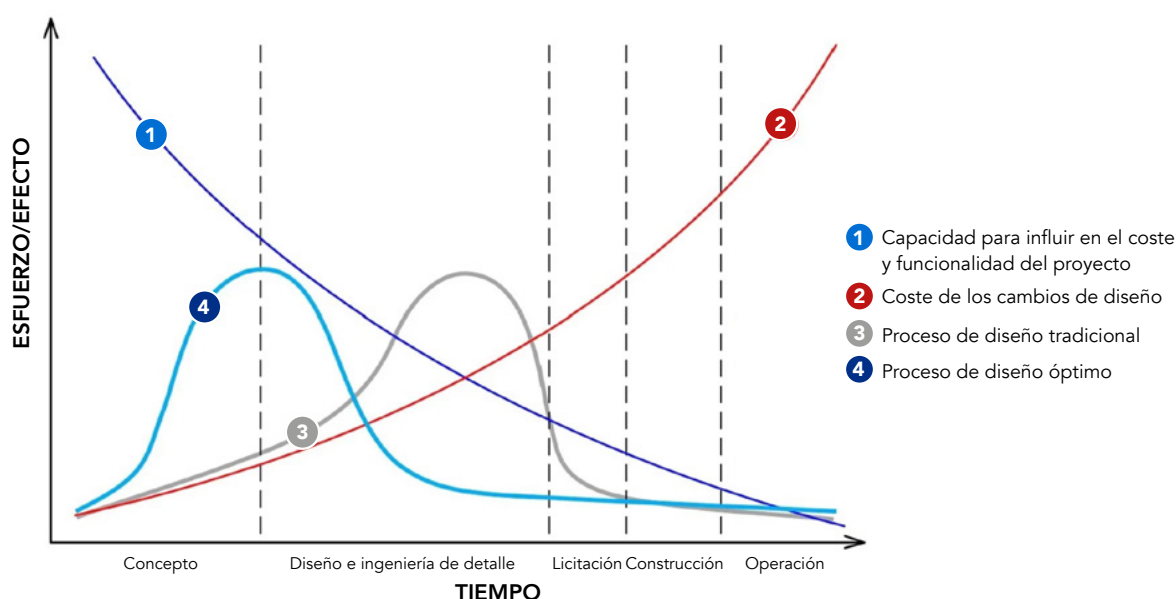
«BIM es una **metodología de trabajo colaborativa** para la **gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital**. Esta maqueta digital conforma una **gran base de datos** que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante **todo el ciclo de vida de la misma**».

Los principales atributos o características inherentes a BIM, conforme a lo establecido por diversos organismos y entidades especialistas en la materia², son los siguientes:

- **Es una metodología de trabajo, no el uso de un software determinado.** Realmente, se puede hablar de un conjunto de tecnologías y estándares. El cambio que supone BIM no se debe a la mera utilización de un software de diseño, de programación o de visualización, sino que implica modificar la forma de diseñar, de planificar, de programar, de controlar la ejecución de una obra y de gestionar la explotación del activo. Es precisamente dicho cambio lo que pone a disposición un buen número de oportunidades para mejorar la gestión integral de dichos proyectos.
- La configuración de esta metodología se basa en **aprovechar el potencial de las actuaciones desarrolladas en las fases iniciales de concepción del futuro proyecto.** Así, tal y como se muestra en la figura 1.1, se busca posibilitar un proceso de diseño óptimo concentrando recursos y actuaciones en las fases iniciales que mejoren la funcionalidad del proyecto a menor coste posible.

Figura 1.1. Curva de MacLeamy.
Potencial de las actuaciones desarrolladas en las etapas de concepción del proyecto

Fuente: elaboración propia con base en la Curva de Patrick MacLeamy, AIA/HOK (2004)



1 Comisión Interministerial BIM (cbim.mitma.es)

2 Entre ellos, la propia Comisión Interministerial BIM (cbim.mitma.es), bimchannel.net o buildingsmart.es

- Es una metodología de trabajo colaborativa que promueve la participación temprana de los diferentes agentes intervinientes en las distintas fases del ciclo de vida de la futura construcción. El principal reto es la organización de dicha participación y el diseño de la propia metodología de trabajo para facilitar la cooperación de cada agente en el momento adecuado agregando valor a los procesos de la industria. BIM supone un cambio en el modo habitual de trabajar, individual y fragmentado, abogándose por una metodología basada en la generación de información coordinada y en el intercambio fluido de esta entre los diferentes agentes intervinientes en las diferentes fases del proceso.
- **Se articula alrededor de un modelo o una maqueta digital sobre el que se irá generando e integrando una gran base de datos de la construcción.** El contar con un prototipo digital a escala a partir del que poder visualizar, modificar y simular en tiempo real y de manera compartida, ofrece un buen número de oportunidades para mejorar la eficacia de los procesos y de la integración de la prevención en las diferentes fases.
- **Aporta un enfoque de ciclo de vida evolutivo.** De forma que se integran en el modelo digital información que será de utilidad en todas las etapas de la construcción. Por tanto, si se concibe de manera adecuada el modelo BIM, se dispondrá de información vinculada que será beneficiosa para la gestión de etapas posteriores al diseño y a la construcción. Es el proceso de retroalimentación y evolución del modelo y su información vinculada durante el ciclo de vida lo que da valor a la metodología pues, **en cualquier momento, la realidad y el modelo deberán ser idénticos.**
- **La información se actualiza de manera automática en la nube.** Todos los agentes, en función de sus respectivos permisos, acceden en tiempo real al modelo convenientemente actualizado evitándose errores de coordinación.

Los atributos anteriormente descritos pueden ser utilizados en beneficio de la prevención de riesgos laborales y es precisamente esto lo que se quiere poner de manifiesto en este estudio. Partiendo de los aspectos esenciales de BIM —**colaboración, comunicación y transmisión de información entre todos los implicados** (arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, usuarios, expertos en prevención de riesgos laborales, etc.) se persigue integrar en un único **modelo virtual la información generada por los agentes de las distintas disciplinas.**



ANÁLISIS DE LEGISLACIÓN, NORMAS Y ESTÁNDARES TÉCNICOS Y CONTEXTO BIM EN ESPAÑA

2. ANÁLISIS DE LEGISLACIÓN, NORMAS Y ESTÁNDARES TÉCNICOS Y CONTEXTO BIM EN ESPAÑA.

2.1. Legislación, normas técnicas y estándares de referencia.

A continuación, se recoge una lista no exhaustiva de las principales normas legales, normas técnicas y otros estándares de referencia en el ámbito de BIM indicando, en cada caso, las aportaciones más reseñables en dicha materia³:

- [Directiva 24/2014/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE](#). Establece, en el artículo 22, que los Estados miembros podrán exigir el uso de herramientas de diseño electrónico en contratos públicos de proyectos y obras.
- [Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014](#). En su Disposición Adicional 15ª establece que se podrán exigir herramientas de modelado digital de información de la construcción (BIM).
- [Real Decreto 1515/2018, de 28 de diciembre, por el que se crea la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública](#). Este real decreto promueve el uso BIM en proyectos del Ministerio de Fomento desde diciembre de 2019 (hoy Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, MITMA).
- [Ley 9/2022, de 14 de junio, de Calidad de la Arquitectura](#). Indica, en su artículo 5, que fomentará en los proyectos del sector público la digitalización y la utilización de herramientas tecnológicamente innovadoras destinadas a hacer más eficiente, competitivo, seguro y de calidad, el proceso constructivo. Dichas herramientas facilitarán la redacción de proyectos, dirección de obra y dirección de la ejecución de la obra, el uso y mantenimiento de la arquitectura. Entre otras medidas, se fomentará en los proyectos del sector público el uso de herramientas electrónicas específicas, tales como metodologías de modelado digital de la información de la construcción (BIM) o similares y la incorporación de técnicas innovadoras. Dicha función se recoge en el apartado e) del artículo 6.3 entre las funciones del Consejo sobre la Calidad de la Arquitectura, que se crea en esta norma, se encuentra «facilitar, en coordinación con la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM (*Building Information Modelling*) en la contratación pública, la digitalización del proceso constructivo, así como la incorporación progresiva de modelos de información integrada en el patrimonio público al objeto de facilitar, optimizar y hacer más sostenible su explotación y mantenimiento».
- [Orden PCM/818/2023, de 18 de julio, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 27 de junio de 2023, por el que se aprueba el Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la contratación pública de la Administración General del Estado y sus organismos públicos y entidades de derecho público vinculados o dependientes](#).

Este plan fija las líneas de acción para facilitar la implantación coordinada del uso de BIM en los contratos del sector público relacionados con la construcción, en función del valor estimado de

3 Téngase en cuenta que las normas técnicas y otros estándares, con carácter general, no son de obligado cumplimiento salvo en aquellos casos en que así lo establezca una norma legal.

estos y del nivel BIM del órgano de contratación, estableciendo un calendario gradual y progresivo, que comienza en abril de 2024 para contratos de alto valor estimado, llegando al objetivo de implantación en el año 2030.

- [Decreto 194/2022, de 11 de noviembre, del Consell, por el que se crea la Comisión Interdepartamental para la Innovación en Edificació](#) . Por medio de este decreto de la Comunidad Valenciana, se aprobó la creación de dos órganos colegiados en diferentes escalas, la Comisión Interdepartamental para la Innovación en Edificación y, un órgano de asesoramiento consulta y deliberación con la participación de la administración junto con representantes vinculados al sector, concretado en el Consejo de participación y deliberación para la Innovación en Edificación. Todo ello ha favorecido la adopción de la «Estrategia BIM. Digitalización para la sostenibilidad en la edificación. Genera itat Valenciana».
- [ACUERDO GOV/81/2023, de 4 de abril, por el que se determinan los contratos en que debe aplicarse la metodología de trabajo colaborativa y virtual llamada Building Information Modelling \(BIM\) y la forma y las condiciones para hacerlo, y se deja sin efecto el Acuerdo del Gobierno de 11 de diciembre de 2018, y cuyo ámbito de aplicación se circunscribe a Cataluña.](#)

El Acuerdo del Gobierno de 11 de diciembre de 2018 estableció la obligación de utilizar la metodología de trabajo BIM en todos los contratos de obra civil y de edificación, de concesión de obras y de concursos de proyectos que tienen por objeto obras de primer establecimiento, rehabilitación o restauración, con un valor estimado igual o superior al establecido para los contratos sujetos a regulación armonizada, con un periodo transitorio de aplicación de entre tres y seis meses según sean contratos de redacción de proyectos o de obras, respectivamente. Asimismo, dispuso que el titular del departamento competente en materia de territorio, a propuesta de la Comisión, debía ampliar los contratos en que la implementación de la metodología BIM era obligatoria.

El Acuerdo GOV/81/2023 modifica el Acuerdo del Gobierno de 11 de diciembre de 2018, para ampliar los contratos en los cuales debe aplicarse obligatoriamente la metodología BIM rebajando el umbral mínimo de aplicación.

- [Normas UNE-EN ISO 16739-1 Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC \(Industry Foundation Classes\)](#). La relevancia de esta norma estriba en que recoge el formato de datos, IFC-*Industry Foundation Classes*, como esquema de datos de referencia. Se trata de un estándar abierto de intercambio de información de todo el ciclo de vida del proyecto. Actualmente, la mayor parte de las herramientas y visores BIM permite la importación/exportación de ficheros IFC lo que resulta imprescindible para la gestión interdisciplinar de los modelos.
- [La serie de normas UNE-EN ISO 19650 Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM \(Building Information Modelling\). Gestión de la información al utilizar BIM \(Building Information Modelling\)](#). Sustituyen buena parte de los estándares PAS⁴ británicos sobre esta materia. Establecen los procesos para efectuar la definición de requisitos, producción, gestión, uso y entrega de información por parte de los diferentes agentes intervinientes a lo largo del ciclo de vida de un edificio o infraestructura

4 PAS o Publicly Available Specification (Especificación Disponible al Público) es una especificación elaborada por el organismo British Standards Institution (BSI).

Cuenta con 6 partes que abarcan los siguientes aspectos: conceptos y principios generales, fase de entrega de activos, fase de desarrollo de los activos y en la gestión de activos, los procesos de intercambio de información, la gestión de la seguridad de la información y, por último, la producción y gestión de la información relacionada con la seguridad y salud (actualmente en fase de redacción).

- [PAS 1192-6 Especificación para compartir y utilizar información estructura de seguridad y salud en BIM](#). Aporta indicaciones sobre cómo producir e intercambiar la información de seguridad y salud laboral a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto por parte de los diferentes agentes intervinientes. Para lograr tales objetivos, la norma estructura la generación progresiva de información basándose en un esquema colaborativo y evolutivo.

2.2. Contexto BIM en España.

Referente al actual contexto de BIM en España, es relevante remarcar que el **impulso inicial proviene del sector privado con entidades multidisciplinares y agentes del sector de la edificación privada**. Es en este ámbito en el que se inició el desarrollo de esta metodología y en el que se han registrado mayores avances siendo, en la actualidad, la metodología de gestión en todo tipo de proyectos abarcando desde desarrollos inmobiliarios clásicos hasta proyectos emblemáticos (p. ej. remodelación del estadio Santiago Bernabéu o el futuro *Espai Barça*).

En relación con el sector de las infraestructuras e instalaciones, la adopción de esta metodología ha sido más lenta lo que se refleja, por ejemplo, en que aún no se han desarrollado completamente los estándares específicos para proyectos de esta tipología. No obstante, se están produciendo mejoras a este respecto y, en los últimos años, la implantación de BIM se ha ido ampliando progresivamente al **ámbito del sector público y a la gestión de infraestructuras**. De hecho, el Consejo de Ministros ha aprobado —en junio de 2023— el *Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la contratación pública* que establece una incorporación gradual y progresiva de la metodología BIM en diversos contratos públicos de la Administración General del Estado (AGE) y el sector público estatal relacionados con la construcción.

En todo caso, el **nivel de madurez en la implantación de esta metodología todavía es limitado en la etapa de diseño (con una implementación media que no alcanza el 30% de los proyectos) y aún menor en las fases de construcción y operación**. Es sin duda en estas dos últimas etapas en las que resulta todavía compleja la implementación de BIM debido a diversos factores como son la diversidad de agentes intervinientes, la todavía incipiente transformación digital del sector o la ausencia de estándares comunes.

Si centramos el análisis en la utilización de la metodología BIM para facilitar la integración de la PRL o la gestión de la seguridad y salud a largo de la vida de un activo en España, nos encontramos que los datos ponen de manifiesto que existe una implantación inferior a la indicada con carácter general. Si bien, es necesario mencionar que algunas organizaciones y empresas están trabajando en esta línea. Por ejemplo, la Fundacional Laboral de la Construcción ha elaborado una aplicación destinada al modelado BIM de protecciones colectivas para la ejecución de la obra, equipos de trabajo como grúas, andamios, etc., señalización, delimitación de la obra (vallado), zonas de acopio y la realización de determinadas comprobaciones. Además, otras empresas ya han realizado algún proyecto colaborativo en el que han participado todos los agentes implicados en la vida del activo

desde la fase de diseño. A lo largo del estudio, se citan otros ejemplos de la utilización de esta metodología para integrar la PRL en España.

Los principales **obstáculos a la implantación en todas las etapas van desde la ausencia de estándares de gestión en la metodología BIM hasta la falta de procesos de implantación de metodología BIM en organismos y empresas promotoras de las obras que, en definitiva, son los que deben definir los planes de gestión BIM del futuro proyecto si quieren integrar todas las fases del ciclo de vida en esta metodología.** Sin perjuicio de ello, tal y como se ha indicado, el hecho cierto es que se van registrando avances en estas implantaciones en grandes entidades públicas y privadas con el efecto tractor que ello tiene y, a la vez, se están desarrollando numerosas acciones formativas por lo que, en los próximos años, se irán reduciendo de manera sustancial estas limitaciones.

Adicionalmente, para que la metodología BIM pueda extenderse de forma generalizada es necesario que se produzca un **cambio profundo** en dos aspectos clave: la **transformación digital** de un sector en el que todavía persisten enfoques tradicionales —uno de los objetivos que persigue el mencionado *Plan BIM en la contratación pública*— y la evolución hacia **modelos colaborativos en los que se fomente la confianza mutua** entre agentes con objeto de que estos compartan información relevante sin percibirlo como un riesgo.

Por último, hay que tener en cuenta la adaptación a **todo tipo de proyectos y facilitar usos y gestión de información en proyectos de menor entidad** en los que, salvando los posibles obstáculos tecnológicos, se pueden habilitar **soluciones digitales suficientemente eficaces y adaptadas a los objetivos específicos de cada proyecto y etapa del ciclo de vida del activo.**



INTEGRACIÓN DE LA PRL EN EL CICLO DE VIDA DE UNA CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA BIM

3. INTEGRACIÓN DE LA PRL EN EL CICLO DE VIDA DE UNA CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA BIM.

3.1. Conceptos y consideraciones básicas sobre el funcionamiento de la metodología BIM.

BIM va mucho más allá de la mera utilización de una serie de herramientas informáticas o software 3D en la elaboración y gestión de un proyecto de construcción. En realidad, gestionar un proyecto en BIM supone **modificar la metodología de gestión del activo a lo largo del ciclo de vida del mismo**. Para ello, el/la cliente deberá decidir y programar —en las fases iniciales— los procesos, recursos y actuaciones necesarios para crear la información relativa a la gestión del activo en sus diferentes etapas.

Sin perjuicio de su adaptación a la entidad y particularidades de cada proyecto, los principales conceptos, documentos y actuaciones a considerar en la metodología BIM son los siguientes⁵:

- **Requisitos de Intercambio de Información (EIR):** documento que aglutina los requisitos de información establecidos por el/la cliente/a en un proyecto desarrollado bajo metodología BIM. El EIR concretará, entre otros, los siguientes requisitos específicos
 - El personal con el que deberán contar las empresas intervinientes y los requisitos exigidos (por ejemplo, del BIM Manager).
 - Los objetivos previstos para la implementación de BIM (por ejemplo, desde facilitar y mejorar la toma de decisiones y estudiar alternativas durante la redacción de proyecto hasta favorecer la integración de las instrucciones para la operación y el mantenimiento —en adelante O&M— del activo construido en su *gemelo digital*⁶).
 - Los usos de BIM, concretando las principales utilidades que se pretende dar al modelo (por ejemplo, facilitar las revisiones del diseño, detectar interferencias entre las diferentes especialidades, planificar temporalmente los trabajos en fase de construcción por parte del contratista, etc.). Cada uso posibilitará la consecución de un objetivo previamente identificado. Adicionalmente, el EIR podrá establecer, para cada uso, el grado de desarrollo que se quiere conseguir en cada fase del proceso e identificar la/s entidad/es responsable/s.
 - Los requisitos de gestión a considerar en el despliegue del modelo. Como, por ejemplo, la asignación previa de los roles intervinientes, cómo, dónde y cuándo se compartirá la información del proyecto (ver CDE), formatos de intercambio de información (IFC, PDF...) y otros.
 - Los requisitos técnicos exigibles durante todo el ciclo de vida. Como, por ejemplo, la determinación de las disciplinas a integrar, de los entregables a generar en cada etapa, del nivel de desarrollo del modelo y su información (ver LOD), de los requisitos de seguridad de la

5 Se han resumido los más relevantes de manera cronológica. Para más información y detalle ver glosario de términos.

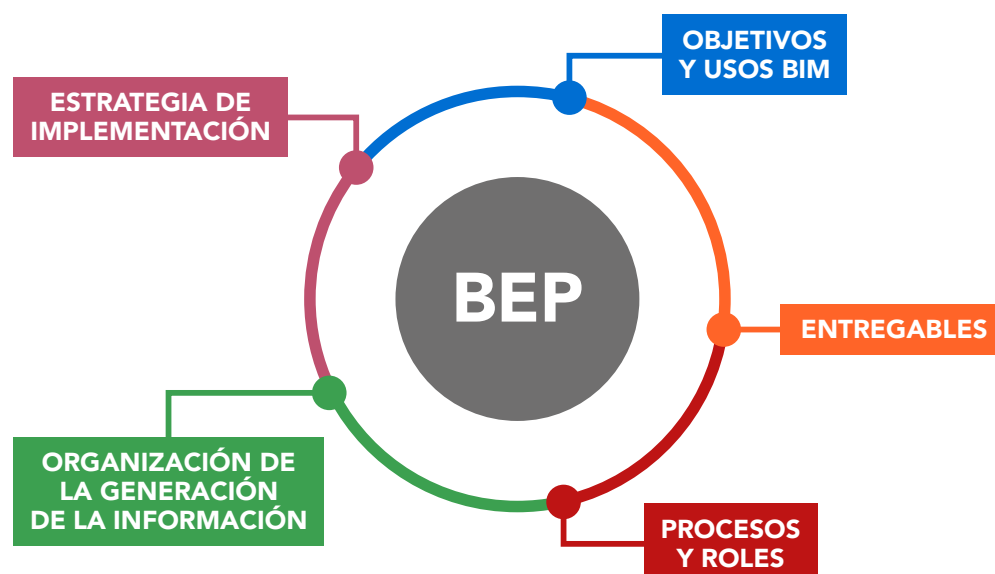
6 El término *gemelo digital* se refiere a una copia virtual de un producto o proceso que permite simular el comportamiento del sistema real. En las primeras etapas de un proceso constructivo, se hablará de *gemelos descriptivos* destinados a registrar la información del activo construido para ir evolucionando, en su caso, hacia gemelos informativos e integrados. Con la implementación, en estos últimos, de técnicas de monitorización, Internet de las Cosas (IoT) y sensores se logrará la conexión entre el sistema real y el digital de forma que ambos se puedan sincronizar.

información creada y compartida, de las plataformas de software a utilizar en el desarrollo de trabajos BIM, etc.

- **Plan de Ejecución de BIM (BEP):** documento ejecutivo en el que se concretan —tal y como se muestra en la figura 3.1— las normas internas, estrategias, procesos, técnicas y herramientas a aplicar en el desarrollo de un proyecto BIM⁷, a fin de dar respuesta a los requisitos fijados por el/la cliente en el EIR y conseguir que todos los agentes implicados realicen un trabajo coordinado y coherente. Generalmente, será elaborado por un BIM Manager que actúe por cuenta del/la cliente/a. Será compartido y asumido por los diferentes agentes implicados en el proceso y determinará los usos BIM requeridos para el proyecto BIM y la forma en la que se cumplirán y se llevarán a cabo los requisitos iniciales fijados en el EIR. También definirá quién desarrollará qué información y hasta qué nivel de detalle.

Figura 3.1. Contenidos mínimos del BEP

Fuente: elaboración propia con base en BIMnD



- **BIM Manager:** responsable de la implantación y utilización de la metodología BIM que, en nombre del/la cliente/a y en cualquier etapa del ciclo de vida del activo, coordina la generación de la información y del modelaje del proyecto BIM, en colaboración con todos los agentes implicados. Asegurará la correcta integración de los modelos y sus disciplinas con la visión global del proyecto y coordinará la generación de contenidos. Su papel, por tanto, se centra en definir y gestionar la aplicación cooperativa de esta metodología a lo largo de las diferentes etapas.
- **Entorno Común de Datos (CDE):** espacio digital común y compartido al que podrán acceder los diferentes agentes intervinientes en las diferentes etapas del proyecto BIM. De esta forma, se consigue que la información creada durante todo el proyecto BIM esté disponible y actualizada para quienes tengan permiso de acceso. Contará con su procedimiento/organización por

⁷ El término proyecto BIM se utiliza para hacer referencia a un proyecto constructivo gestionado, en sus diferentes etapas, mediante metodología BIM.

categorías de información, concreción de formatos y estado de desarrollo de la información. Generalmente será creado y gestionado por técnicos dependientes del/la cliente/a o del/la consultor/a BIM que colabore con el mismo.

- **Modelo de información federado o modelo BIM federado:** modelo BIM que, según avanza el diseño, integra varios modelos de las diferentes disciplinas participantes en la elaboración del proyecto (por ejemplo, arquitectura, estructuras, instalaciones...). Cada objeto del modelo tendrá asociada toda la información de las diferentes disciplinas pudiendo añadir, además, otros datos como imágenes, documentos de requisitos, etc. Con todo ello, se puede mantener actualizada la información de manera continua y detectar eventuales interferencias o incompatibilidades entre disciplinas.
- **Nivel de desarrollo (LOD):** indicador de crecimiento geométrico y de atributos e información de cada elemento del modelo en cada una de las fases de un proyecto BIM. Se trata de una escala, especificada en el EIR y determinada en el BEP, que informa de la cantidad y la calidad de la información gráfica y paramétrica de cada elemento del modelo.

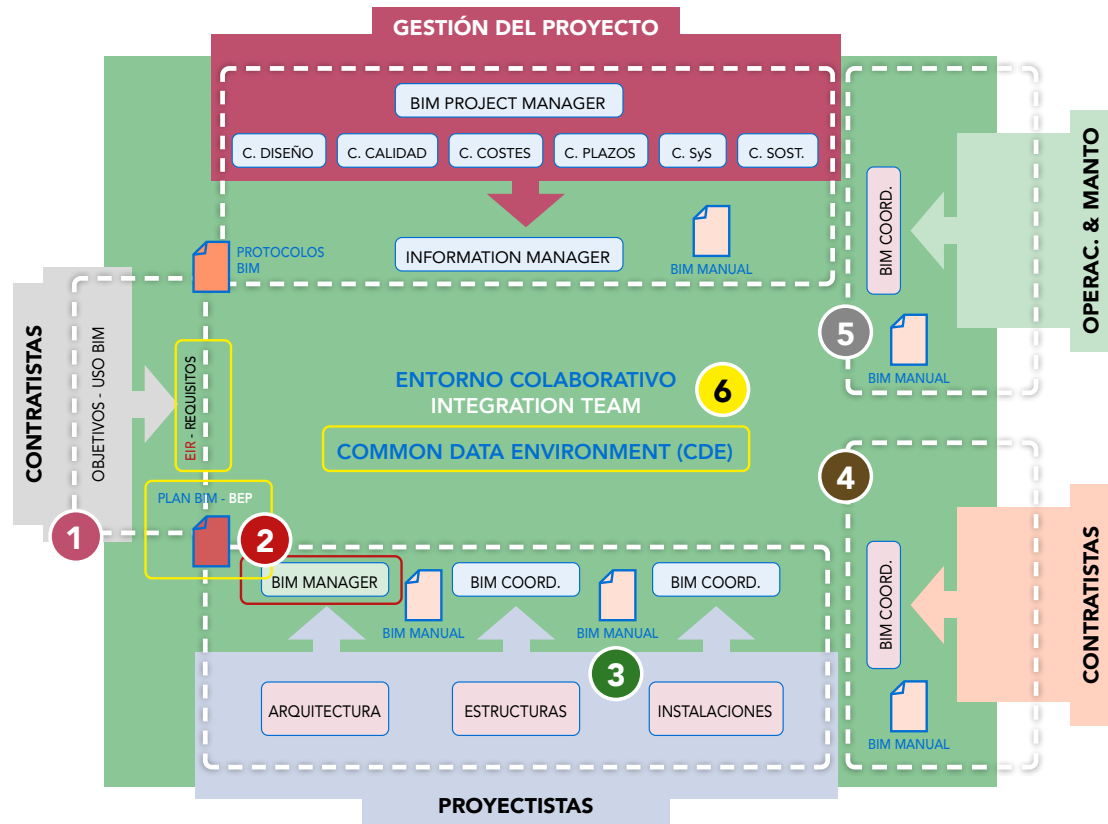
Para facilitar la lectura del presente documento, se entenderá que el/la cliente/a del proyecto BIM coincide con el/la promotor/a de la obra según se define en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción asumiendo que esta situación será la más habitual.

Una vez definidos los conceptos básicos, es preciso continuar con algunas consideraciones sobre el funcionamiento de la metodología BIM, para poder analizar, en los siguientes apartados, su potencial en lo relativo a la prevención de riesgos laborales. A diferencia de un proyecto gestionado de manera tradicional y compartimentada, la **generación de la información en un proyecto BIM es progresiva, compartida y coordinada**. A partir de los requisitos definidos por el cliente en el EIR, el BIM Manager plasmará en el BEP los objetivos, usos y actuaciones. A medida que el resto de los agentes vayan interviniendo, se organizará la generación de información y su eventual integración en el modelo federado. Para ello se contará con un entorno colaborativo común, **CDE**, gestionado en su caso, por un gestor de la información.

A continuación, se muestra esquemáticamente el desarrollo de la metodología BIM en un proyecto de cierta entidad.

Figura 3.2. Esquema de desarrollo de la metodología BIM para un proyecto de cierta entidad

Fuente: elaboración propia con base en *Definición de roles en procesos BIM* (Choclán Gámez, Felipe et al., 2017)

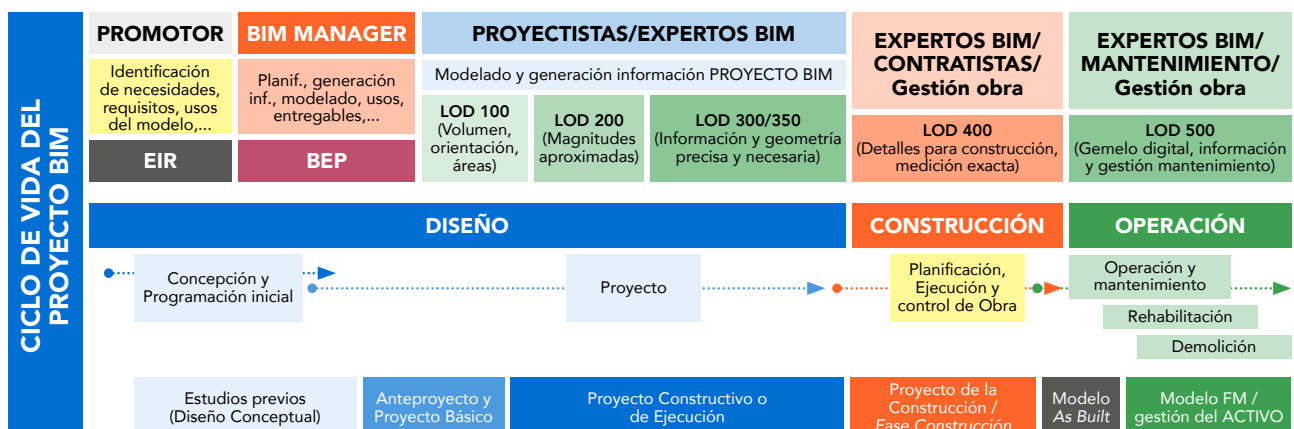


La metodología BIM en grandes proyectos suele requerir la participación de consultores especializados en BIM y la definición y estandarización de procesos y de roles adicionales como los recogidos en la figura 3.2. Sin embargo, **los proyectos de menor entidad también pueden beneficiarse de las oportunidades de esta metodología.**

El proceso de generación de información, su **nivel de desarrollo del modelo BIM (LOD)** y su **correspondencia con las fases y documentos habituales de un proceso constructivo tradicional** se recogen en la siguiente figura 3.3

Figura 3.3. Evolución orientativa del nivel de desarrollo del modelo en un proyecto BIM y equivalencia con el tipo de proyecto

Fuente: elaboración propia



3.2. Oportunidades que presenta BIM para la integración de la PRL en el ciclo de vida de un activo.

El uso de la metodología BIM, siempre que incluya un enfoque preventivo, puede contribuir en gran medida a superar las dificultades **que habitualmente se encuentran en el sector de la construcción para integrar la prevención a lo largo del ciclo de vida de un activo**. Antes de empezar a detallar las oportunidades que puede ofrecer en cada una de las etapas del ciclo de vida de una construcción, se incluye una breve reflexión sobre cómo las características propias de BIM solventan algunas de las barreras más frecuentes para integrar la prevención en la construcción. En la figura 3.4 se resumen las principales dificultades identificadas basada en diversas publicaciones en esta materia [véase bibliografía (Gambatese et al. 2017), (Toole 2005), (Gu and London 2010), (Zahrizan et al. 2013), (Tan et al. 2019), (Wang et al. 2015), (Olatunji 2011), (Abubakar et al. 2014), (Azhar and Behringer 2013), (Chan 2014), (Deacon and Smallwood 2016), (Ghosh et al. 2011)], las consecuencias habituales y cómo BIM podría suponer una ventaja al respecto.

Figura 3.4. Análisis de barreras existentes a la integración de la prevención en el sector de la construcción

Fuente: elaboración propia.

*Constructibilidad entendida como la facilidad y eficiencia con la que se puede diseñar la construcción de un activo.

DIFICULTADES IDENTIFICADAS	CONSECUENCIAS	OPORTUNIDADES DE BIM
Diversidad de agentes participantes	Complejidad en su organización y gestión coordinada	Entorno colaborativo en el que se planifican las actuaciones desde el inicio
Fragmentación de los procesos a gestionar por cada agente	Dificultad en la transmisión de la información entre fases	Cada agente elabora su información sobre la preexistente
	Insuficiente visión a largo plazo o ciclo de vida	Incorpora, desde su concepción, los requisitos, usos y actuaciones de todo el ciclo de vida
Mero cumplimiento formal de obligaciones	Insuficiente eficacia eventiva de actuaciones efectuadas	Metodología basada en la gestión de información y no de documentación
Desacople entre los procesos de diseño del producto final (proyecto) y del proceso de ejecución (planificación del contratista)	Dificultad para integrar la constructibilidad* del activo y las condiciones de trabajo en la definición del proyecto por el proyectista	Facilita la inclusión de los sistemas y de los procedimientos constructivos desde la fase de proyecto, permitiendo su análisis preventivo desde esta fase.
Cultura poco colaborativa ni proclive a la innovación	Dificultades para desarrollar mejoras en procesos	Obliga a compartir información y favorece la colaboración entre los agentes
Limitaciones de plazo y de presupuestos	Dificultades para desarrollar mejoras en procesos	Anticipa a las fases iniciales la planificación de actuaciones y mejoras de diseño.
Insuficiente integración de la prevención en el diseño de la obra	Limitaciones en la mejora de procesos y métodos de trabajo	Facilita el proceso de integración de la PRL en el proyecto para una construcción y mantenimiento más seguros.
Enfoque único por proyecto (prototipo a escala natural)	Pérdida de las oportunidades de evitar riesgos y de diseñar soluciones constructivas más seguras	Posibilidad de contar con un "gemelo digital" que mejora capacidad de análisis
Insuficiente participación preventiva de promotores y proyectistas	Pérdida de ventajas de eliminar o de controlar riesgos en etapas previas al comienzo de la obra.	Concentra buena parte de las actuaciones, también las preventivas, en la fase de diseño

Estas ventajas y oportunidades que presenta la metodología BIM se pueden resumir en los siguientes **tres aspectos generales**:

1. En primer lugar, al tratarse de una **metodología basada en un enfoque colaborativo y a nivel de ciclo de vida**, favorece tanto la puesta en común de información y la coordinación entre los diferentes agentes intervinientes como la **consideración temprana de la problemática preventiva desde la concepción del proyecto y a lo largo de las diferentes etapas de este**.
2. Disponer de un **modelo con información —gráfica y paramétrica— vinculada desde la etapa de diseño** facilita, enormemente, la integración de la PRL en la toma de decisiones a lo largo del ciclo de vida de la construcción.
3. La inherente **ordenación de procesos, roles, información y actuaciones que caracteriza la implantación de esta metodología** permite la estandarización de procesos. Esto supone una mejora considerable en términos de eficacia, innovación, sostenibilidad, coste y plazos, así como en la actuación preventiva de cada agente interviniente.

Por consiguiente, **la metodología BIM, por su propia configuración, presenta un potencial cierto de cara a posibilitar la eliminación y/o minoración de las habituales barreras que dificultan la integración de la prevención en este sector**. Lógicamente, para ello, será preciso **integrar los aspectos preventivos desde la propia concepción, programación y organización del proyecto BIM**.

Otra de las ventajas diferenciales de BIM radica en disponer de un **CDE**. Esto agiliza y mejora el acceso a la información convenientemente actualizada y, si se diseña considerando las necesidades que, en el ámbito de la seguridad y salud laboral serán relevantes a lo largo del ciclo de vida de la construcción, dicha ventaja podrá aprovecharse en este campo por todos los intervinientes en dicho ciclo. No obstante, la mera habilitación de un **entorno centralizado de información con participación de los diferentes agentes supone una mejora global en términos de coordinación y eficacia**, además de lo que implica obtener la información a partir de una única fuente fiable de datos

Tras esta visión general, a continuación se analizarán y detallarán las ventajas y oportunidades que presenta esta metodología en **cada etapa del ciclo de vida del activo**, apuntando, de manera específica, posibles actuaciones a desarrollar para aprovechar tal potencial y las figuras que deberán intervenir mayoritariamente. Para ello, se ha dividido el ciclo de vida de un activo en las etapas recogidas en la figura 3.5, entendiéndose que tal división no tiene por qué ser rígida y que, en muchos casos, habrá actuaciones yuxtapuestas entre dichas etapas.

Figura 3.5. Etapas utilizadas para el análisis de oportunidades preventivas de la metodología BIM a lo largo del ciclo de vida de un activo

Fuente: elaboración propia



Para cada una de las etapas señaladas se incluye un apartado previo con los criterios preventivos que resultan críticos en dicha etapa y, posteriormente, se detalla cómo BIM puede facilitar la realización de estas actuaciones. Se ha estimado conveniente incorporar una fase previa de concepción y programación inicial —formando parte de la etapa de diseño— puesto que es en este momento en el que el cliente o promotor debería decidir si opta por la metodología BIM para el desarrollo de la obra y, en ese caso, establecer una serie de requisitos que hagan posible la integración de la prevención en la citada metodología. Por este motivo, a diferencia del resto de las etapas, se analizan las actuaciones previas que el cliente o promotor debería desarrollar para lograr este objetivo.

3.3. Etapa de DISEÑO: integración de la PRL aplicando la metodología BIM.

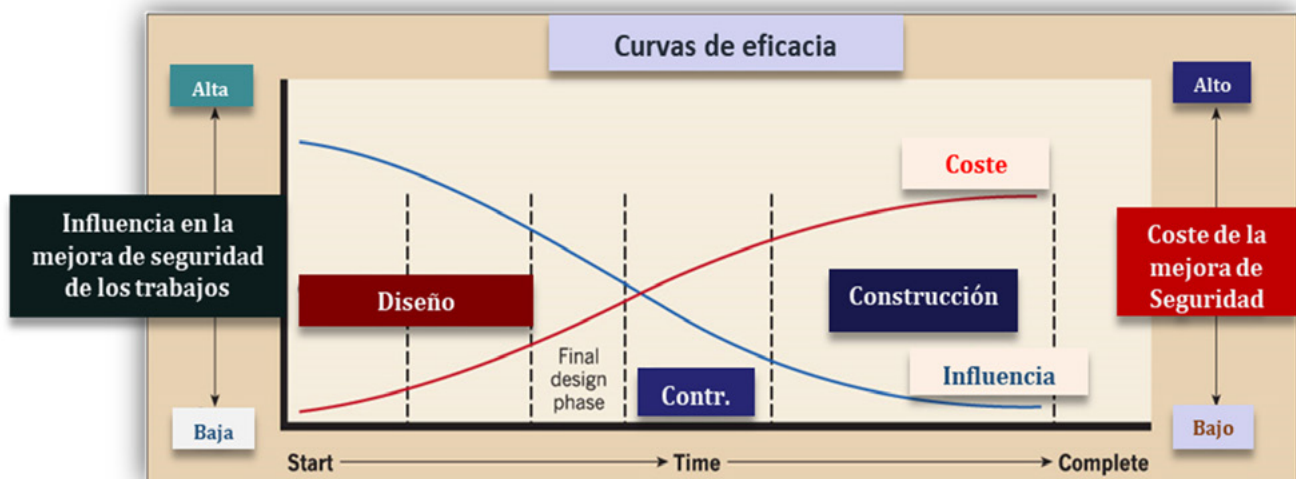
AGENTES IMPLICADOS

- › Promotor
- › Coordinador de SSP
- › Proyectista

La *etapa de diseño* engloba las actuaciones que van desde la **concepción del futuro activo** a construir hasta la **elaboración del proyecto de construcción** correspondiente. Independientemente de la metodología que se utilice, la integración de la prevención en el diseño es clave para eliminar y/o reducir los riesgos a lo largo del ciclo de vida de una infraestructura o de una edificación. En la figura 3.6 se observa la **importancia de concentrar las actuaciones preventivas en las etapas iniciales del proceso**.

Figura 3.6. Curva de eficacia acción preventiva: influencia y coste de mejora preventiva

Fuente: elaboración propia con base en *Construction project safety planning* (Szymberski, R. T. 1997)



Se ha optado por separar esta etapa en dos apartados diferenciados para identificar en mayor detalle las actuaciones que se llevan a cabo en la concepción y programación inicial⁸ del futuro proyecto BIM y en la elaboración del proyecto de obra propiamente dicha.

⁸ Puede darse el caso de que algunas de las recomendaciones recogidas en este apartado no se ajusten a las expectativas de determinados promotores/clientes (por ejemplo, en aquellos casos en los que este no va a explotar el activo), pero ello no obsta para que estas deban ser consideradas por el mismo para facilitar la integración de la prevención a lo largo del ciclo de vida del activo y cumplir sus obligaciones legales a este respecto.

3.3.1. Concepción y programación inicial.

3.1.1.a) Concepción y programación inicial: aspectos relevantes.

Una vez que un/a promotor/a —público o privado— decide impulsar una actividad constructiva, existe una fase inicial en la que, de manera formal o implícita, trata de **identificar las necesidades y objetivos de la citada actuación y de programar las diferentes etapas de la misma.**

En concreto, analiza y delibera acerca de cuestiones como las siguientes:

- **Necesidades que se quieren cubrir por el futuro activo.**
- **Previsión del plazo y presupuesto del proyecto.**
- **Metodología de gestión del proyecto**, concretando, por ejemplo, si se seguirá una metodología tradicional o se aplicará la metodología BIM.
- **Previsión de los agentes intervinientes y programación inicial de su actuación.**

Estas y otras decisiones de carácter estratégico afectarán a las actuaciones que posteriormente llevarán a cabo a los diferentes agentes intervinientes y, por supuesto, podrán condicionar su desempeño en materia preventiva. En este sentido, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) remarca **la relevancia preventiva de la selección de las empresas y agentes que lleven a cabo el diseño, la construcción y control técnico de la obra** (2022).

A continuación, se recoge una recopilación de los aspectos cruciales que pueden tenerse en consideración en la concepción y programación inicial de la obra:

- La determinación de **plazos, presupuestos o programaciones muy ajustadas** puede suponer **barreras y dificultades** añadidas para poder **eliminar riesgos y mejorar las condiciones de trabajo** (Lopez del Puerto et al. 2013).
- La **anticipación en la contratación de los coordinadores en materia de seguridad y salud y la previsión de su participación en la etapa de diseño** ha sido recomendada por la Comisión Europea para potenciar la prevención en la fase de preparación de la obra (2011).
- La previsión de la **participación en la etapa de diseño de especialistas en determinadas técnicas constructivas o en la futura operación y mantenimiento del activo** puede mejorar la constructibilidad y las condiciones de seguridad del proyecto (Gambatese John et al. 2005).

3.1.1.b) Concepción y programación inicial: actuaciones previas para integrar la PRL en BIM

El/la promotor/a únicamente sacará provecho a la metodología BIM en el ámbito preventivo si tiene en cuenta estos aspectos en la concepción del modelo BIM. Es decir, si la prevención de riesgos laborales se considera **en la propia definición del proyecto BIM, sus objetivos y sus futuros usos.** Para ello, se **incluirá en el EIR⁹ y se concretará en el BEP —por parte del BIM Manager— una serie de requisitos y actuaciones**, como los siguientes:

9 Téngase en cuenta que, además del EIR, existen otros documentos en los que el/la cliente define requisitos de información y que no se abordan en este estudio para facilitar su comprensión: OIR (Organizational Information Requirement), AIR (Asset Information Requirements) y PIR (Project information requirement). Se deberían incluir aspectos preventivos en todos ellos.

Para más información, se recomienda consultar la “Guía BIM para propietarios y gestores de activos” de BuildingSMART.

- **Establecer los objetivos del proyecto en materia de seguridad y salud** como, por ejemplo, que sirva para mejorar la seguridad de la futura operación y mantenimiento (O&M) del activo, posibilitando el desarrollo de procedimientos de trabajo seguros mediante técnicas de realidad aumentada vinculadas al modelo de O&M.
- **Definir los usos BIM que resulten de utilidad en términos preventivos.** Por ejemplo, la revisión y comparación de las alternativas constructivas en la fase de diseño, de modo que se facilite la integración de la prevención que el proyectista debe realizar en esta fase. Si se opta por que el modelo no disponga de usos BIM específicos en materia preventiva, se aconseja que se incluyan los aspectos preventivos en la formulación de los usos BIM que se vayan a habilitar. Un ejemplo de ello puede ser la incorporación, en el uso BIM de recorridos virtuales del activo construido, con el objeto de integrar en los mismos la identificación de los riesgos existentes en cada zona de la instalación o del activo y vincular en los modelos correspondientes la información necesaria para la representación gráfica de las principales medidas preventivas a cumplir.
- **Identificar la información relevante en materia preventiva para cada una de las fases del activo.** En cada uso BIM se podrá concretar la información a generar en cada fase, qué agente creará la información y los responsables de la misma (por ejemplo, información de la cubierta o de las medidas de protección previstas para la operación y mantenimiento del activo a vincular al modelo).
- **Definición de los entregables en materia de PRL en cada etapa.** Por ejemplo, de cara a los trabajos a efectuar en la etapa de O&M se puede prever en el EIR y en el BEP la elaboración y entrega de información específica sobre los riesgos y medidas preventivas para el acceso seguro a determinados lugares o para la utilización de determinados equipos de trabajo.

De todo lo anterior se concluye que, para **lograr una adecuada integración de la prevención en un proyecto BIM, es indispensable considerar las necesidades preventivas de los agentes intervinientes en las diferentes fases del activo.** Para ello, es necesario identificar la información a crear en esta materia desde **la fase de concepción y programación inicial** pues, en caso contrario, esta no estará disponible para usos posteriores.

3.3.2. Elaboración del proyecto de obra.

3.3.2.a) Elaboración del proyecto de obra: aspectos relevantes.

La integración de la prevención en el diseño de una edificación o de una infraestructura es clave para eliminar riesgos y reducir aquellos que no se puedan evitar y se extenderá tanto a la ejecución de la obra como a las actividades que se vayan a desarrollar posteriormente en la construcción¹⁰.

Las determinaciones que se adopten durante la elaboración del proyecto repercutirán indudablemente en las condiciones de trabajo presentes en la ejecución de la obra y en las actuaciones que se realicen en las siguientes fases del ciclo de vida de la construcción. Al ser esto especialmente relevante desde un punto de vista preventivo, se van a desarrollar en mayor profundidad los criterios del INSST en esta materia para proceder a analizar, en el siguiente apartado, las oportunidades que BIM puede ofrecer a este respecto.

¹⁰ Cabe recordar que la integración de la prevención en el proyecto de obra es una obligación legal recogida en los artículos 5.6, 6.3 y 8 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

En la figura 3.7 se muestra la influencia que tienen las decisiones en el proyecto (diseño) sobre las condiciones de trabajo reales en la obra (ejecución):

Figura 3.7. Influencia preventiva de las decisiones de diseño tomadas en el proyecto

Fuente: elaboración propia

DECISIÓN DE DISEÑO	INFLUENCIA EN CONDICIONES DE TRABAJO
Planificación temporal de los trabajos: plazos y plan de obra	Determina las actividades concurrentes y los posibles trabajos incompatibles durante la ejecución de la obra
Soluciones constructivas: tipologías y métodos de ejecución a emplear	Determina los peligros que afectan a cada actividad y los riesgos a los que estarán expuestos los trabajadores en las etapas posteriores
Gestión y organización de espacios tanto en la ejecución de la obra como en las etapas posteriores	De cara a la ejecución de obra, delimita los accesos, zonas de acopio e instalaciones auxiliares, las condiciones de evacuación, o las interferencias con el entorno y terceros.
	Determina los accesos y las condiciones ergonómicas de los puestos de O&M, configura zonas peligrosas como espacios confinados
Elección de los materiales a utilizar en cada etapa.	Determina la eventual presencia o ausencia de riesgos higiénicos en las diferentes etapas del activo.
Configuración del activo de cara a etapas posteriores	Determina las condiciones en las que se podrá rehabilitar, reformar o, en su caso, demoler el activo de forma segura.

Para promover la integración de la prevención en el proyecto, el **proyectista** desarrollará, entre otras, las siguientes **actuaciones**¹¹:

- **Recopilación de información** para poder conocer, por ejemplo, los servicios afectados, las condiciones del entorno con influencia en la seguridad de los trabajos o los requisitos preventivos a considerar en los diferentes equipos e instalaciones.
- **Análisis preventivo de las alternativas de diseño para eliminar riesgos y, cuando no sea posible, reducirlos, así como mejorar el control de los riesgos remanentes.** Para cada alternativa (solución constructiva, de planificación y otras decisiones de diseño) se valorarán las consecuencias preventivas asociadas. Se priorizarán aquellas alternativas que posibiliten la eliminación de riesgos, por ejemplo, diseñando accesos de dimensiones adecuadas o asegurando una ventilación favorable en determinados lugares de trabajo para evitar la conformación de espacios confinados. En el caso de riesgos no evitables, se seleccionarán las soluciones considerando los principios de la acción preventiva¹².
- **Definición de solución de diseño y traslado de la información necesaria para las siguientes etapas,** haciendo posible que los agentes participantes en las siguientes etapas conozcan dicha información. Por ejemplo, incluyendo en el proyecto información preventiva específica sobre los equipos de trabajo y las condiciones de seguridad para su operación y mantenimiento.

11 Para más información, ver NTP 1.126 y 1.127.

12 Los principios de la acción preventiva se recogen en el artículo 15 de la LPRL.

Figura 3.8. Actuaciones a poner en práctica para facilitar la integración de la prevención en la etapa de diseño

Fuente: elaboración propia



3.3.2.b) Elaboración del proyecto de obra: oportunidades de BIM para mejorar la integración de la PRL.

En este apartado se analizan las oportunidades que aporta la metodología BIM para llevar a cabo las actuaciones anteriormente citadas y que son críticas para posibilitar la integración de la prevención que deben realizar los proyectistas / equipo de diseño y, en caso de ser preceptivo, el Coordinador en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra, como agente que coordina dicha integración.

Recopilación de información

Referente a la recopilación de información que llevan a cabo los proyectistas/ equipo de diseño se debe de destacar que, disponer de un **CDE** adecuadamente parametrizado, que tenga en cuenta las necesidades que, en materia preventiva se hayan establecido en el **EIR**, supone una mejora importante, puesto que se facilita el acceso, comunicación y conservación de la información en una única fuente fiable de datos, disponible y permanente actualizada para los agentes autorizados, mejorando la **coordinación y eficacia**.

Así, la digitalización del entorno existente, prestando atención a los servicios afectados, es fundamental, ya que **esta información se puede vincular a los elementos del modelo y facilitará la detección condiciones peligrosas**.

A continuación, se recoge, a modo de ejemplo, la información que podría vincularse en el caso de líneas eléctricas aéreas que pudieran estar presentes:

Ejemplo de información vinculable a una Línea Eléctrica Aérea:

- Trazado, gálidos y dimensiones.
- Tensión nominal de la instalación.
- Distancias de peligro y proximidad.
- Actuaciones previstas sobre la misma (retranqueos, retiradas...).

Las figuras 3.9 y 3.10 muestran ejemplos gráficos de digitalización de servicios afectados en la que los distintos colores permiten caracterizar los servicios en cuestión. Dichos elementos incorporan parámetros de información vinculados a los mismos.

Figura 3.9. Digitalización de servicios afectados. Parc de les Aigües Espai Agbar Llobregat

Fuente: www.bimplycity.es

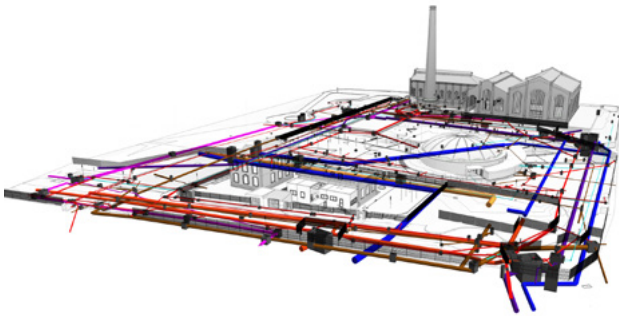
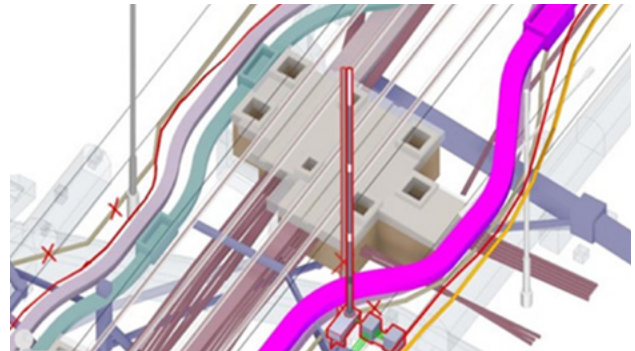


Figura 3.10. Caracterización e información vinculada a servicios afectados

Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

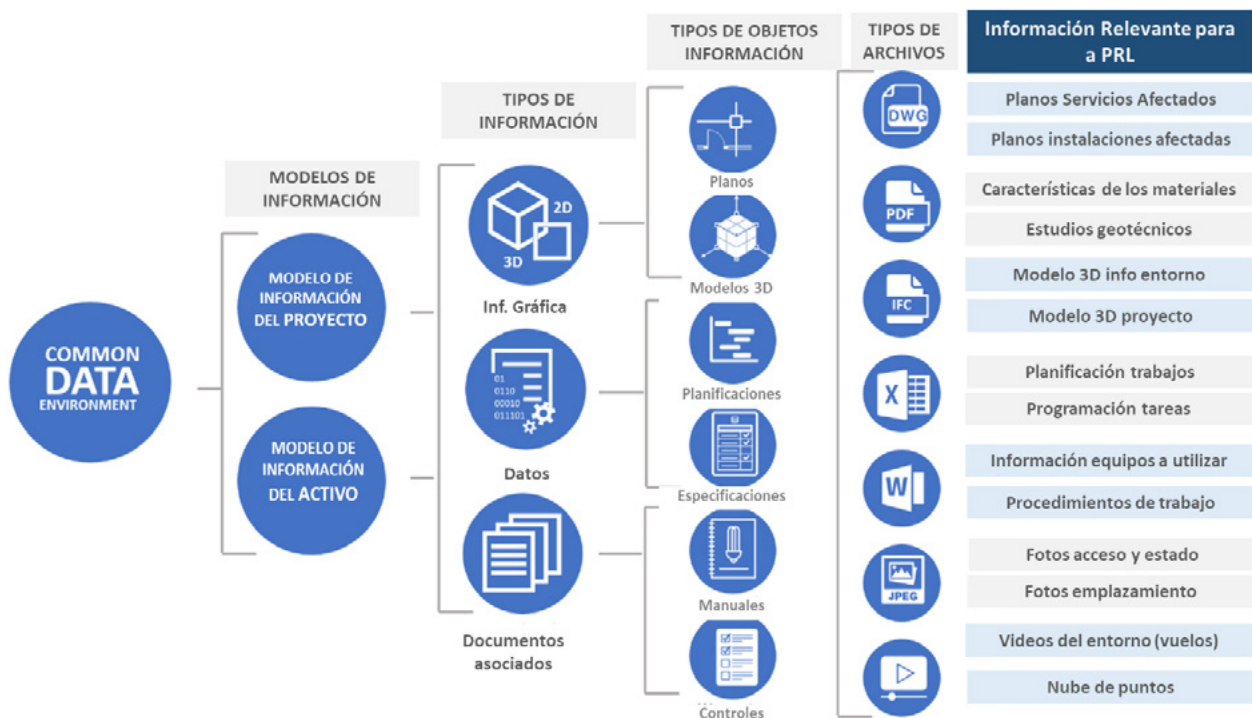


Según se vaya creando y publicando en el CDE la información, el modelo BIM **permitirá visualizar y entender la información modelizada en 3D** con un mero visualizador sin necesidad de contar o utilizar herramientas de software BIM de creación. Al tratarse de un **proceso progresivo**, el modelo irá incorporando de manera secuencial información sobre el diseño del futuro activo que se mantendrá permanentemente actualizado y disponible para los roles autorizados.

La figura 3.11 recoge, a modo orientativo, posibles fuentes y objetos de información que, cuando están correctamente configuradas en la **estructuración del EIR y el CDE**, resultan útiles y relevantes para agilizar este primer proceso de la integración de la prevención en diseño:

Figura 3.11. Estructura de información de un CDE y aplicación en PRL

Fuente: elaboración propia con base en el modelo general de CDE propuesto por AECOM, 2018



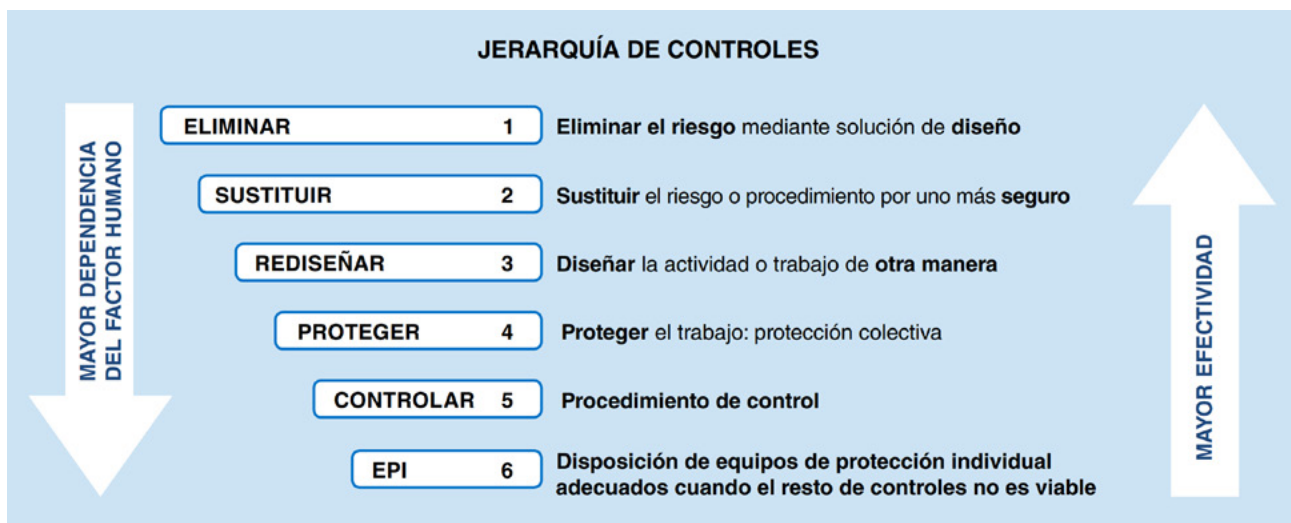
Análisis preventivo de las alternativas de diseño para eliminar riesgos y, cuando no sea posible, reducir y mejorar del control de los riesgos remanentes.

Para analizar la calidad preventiva de las posibles alternativas de diseño y las repercusiones de cada una de ellas, BIM ofrece importantes ventajas que parten de la propia existencia de un modelo digital con información vinculada lo que facilita la **identificación y la obtención de información relativa a las condiciones de peligro vinculadas a cada solución constructiva**. Además, al tratarse de una **metodología eminentemente colaborativa**, su propia configuración favorece la participación de diferentes agentes tanto en la modelización como en estas revisiones preventivas del modelo. El hecho de que puedan intervenir tanto empresas especializadas en determinadas técnicas o actividades constructivas como los propios responsables de operación y mantenimiento del activo, permite tener en consideración las necesidades preventivas de las etapas posteriores desde el inicio.

Un aspecto clave para la integración de la prevención en el proceso de diseño consiste en valorar las implicaciones a nivel preventivo de las principales alternativas constructivas existentes aplicando, para ello, la denominada jerarquía de controles (ver figura 3.12)

Figura 3.12. Jerarquía de controles y prioridades de actuación preventiva a aplicar en el proceso de diseño

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 1126 (INSST)

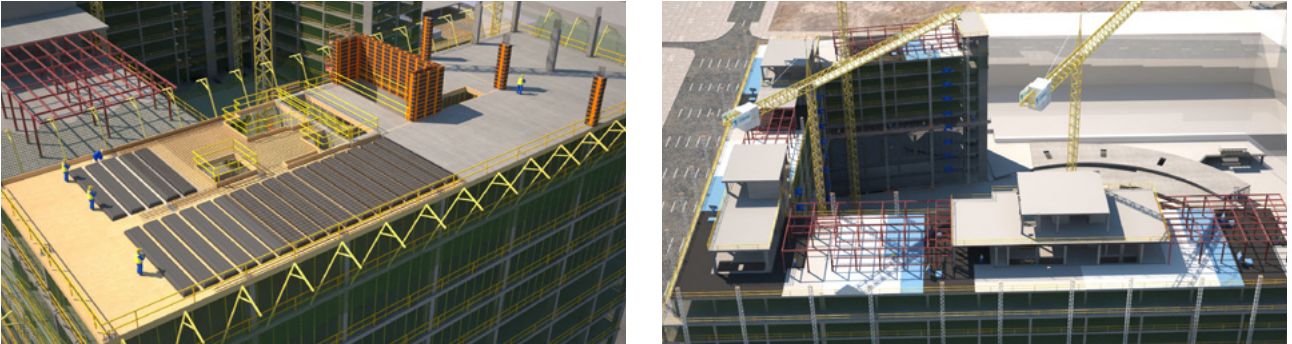


Este proceso puede agilizarse notablemente mediante la **utilización de simulaciones constructivas a partir del modelo BIM** de manera que se visualicen las condiciones de trabajo derivadas de cada una de las alternativas constructivas, la identificación de los riesgos previsible y la determinación de las opciones que permitan su eliminación o mejoren su nivel de control.

Como ejemplo de lo anterior, en la figura 3.13 se ilustra cómo se pueden comparar las condiciones de ejecución derivadas de determinadas soluciones constructivas en actividades de ejecución de forjado unidireccional y ejecución de cubierta.

Figura 3.13. Simulaciones constructivas - Ejecución de forjado unidireccional y ejecución de cubierta

Fuente: OBRASCON HUARTE LAIN S.A.



Partiendo del modelo BIM, y según avanza el proceso de diseño, se pueden efectuar **comprobaciones espaciales** aprovechando los parámetros vinculados a cada elemento y confirmar así, por ejemplo, los **accesos, distancias y gálibos necesarios para ejecutar determinadas operaciones** —tal como se puede ver en las figuras 3.14 y 3.15—. De esta manera se facilita el análisis de las **actividades críticas de la futura obra en términos de riesgo potencial o complejidad técnica**.

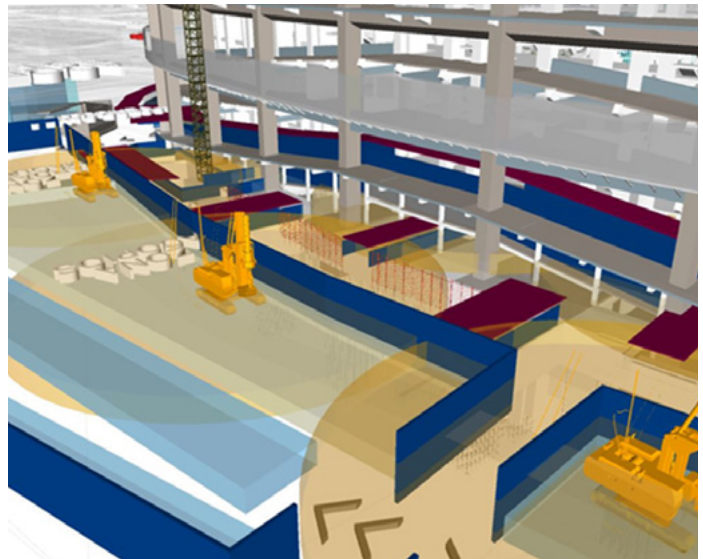
Figura 3.14. Recreación 4D. instalación tramo de tubería

Fuente: *Guidance Note for clients writing an EIR*, BIM 4 Health & Safety Working Group, 2018



Figura 3.15. Espacios ocupados según la evolución de la obra

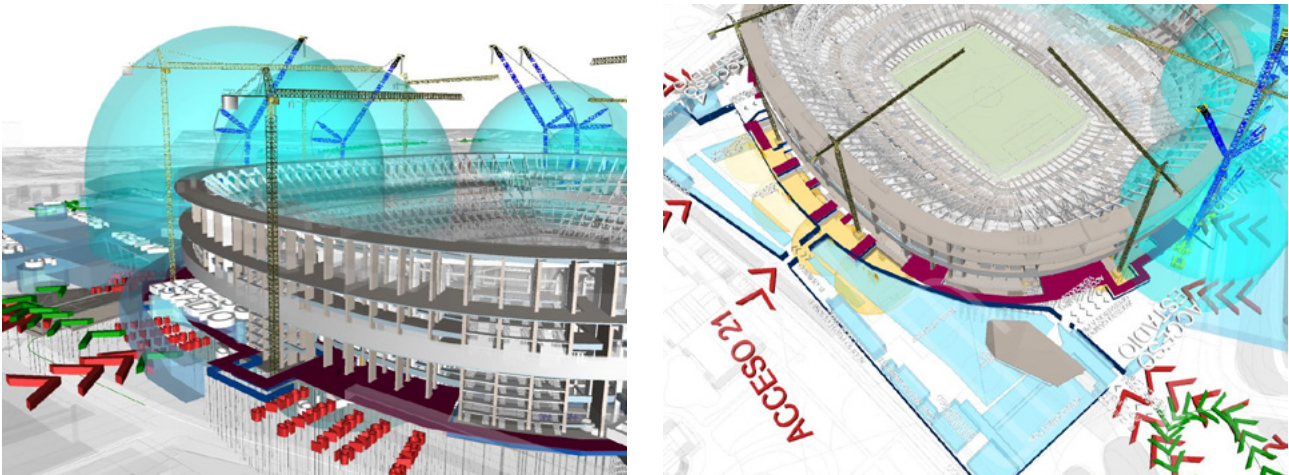
Fuente: Acciona Ingeniería S.A.



Otro ejemplo de lo anterior podría ser **el análisis —en la fase de proyecto— de las zonas de la obra que se pueden ver afectadas por el radio de acción o influencia de determinados equipos**. En la figura 3.16 se ilustra un estudio dinámico de ubicación de una grúa torre para identificar afecciones y comprobar interferencias entre grúas y riesgos en un posible colapso.

Figura 3.16. Comprobación automatizada de radios de acción de grúas y visualización de zonas de peligro y afección de cada grúa torre

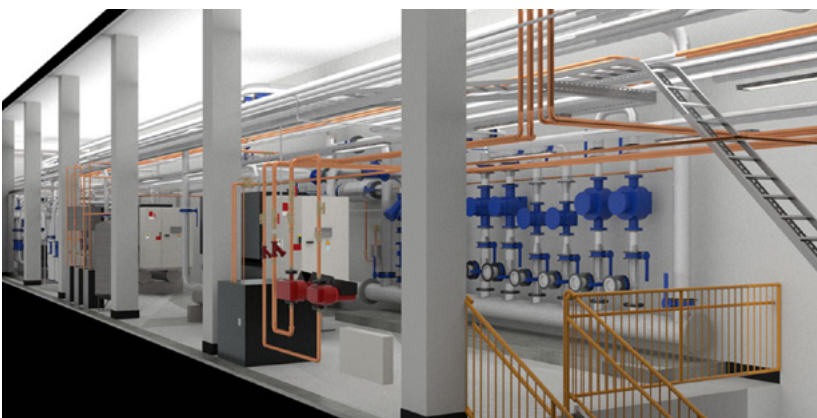
Fuente: Acciona Ingeniería S.A.



Referente a la integración de la prevención, y de cara a las **etapas posteriores a la construcción**, BIM también aporta importantes ventajas. Resulta extremadamente útil contar, ya durante el diseño, con un **gemelo digital descriptivo del futuro activo** que —aunque se utilice en etapas posteriores para gestionar la información de O&M— sirva para conocer y examinar en detalle cómo será el resultado final y detectar posibles necesidades o insuficiencias antes de comenzar las obras. De esta forma, tal y como se observa en la figura 3.17, se podrán realizar recorridos virtuales de revisión por el activo, visualizando las **futuras condiciones de trabajo asociadas a las tareas de mantenimiento, limpieza u operación**, con lo que ello supone en cuanto a la posibilidad de implementar mejoras de diseño que eliminen o disminuyan riesgos en dichas etapas. Gracias al enfoque colaborativo de BIM, en estas revisiones podrán participar los diferentes agentes involucrados en las actividades que se vayan a desarrollar en la edificación o infraestructura una vez construidos

Figura 3.17. Recorridos virtuales y comprobación visual de accesos y condiciones de seguridad en puestos de operación y mantenimiento

Fuente: www.thecadroom.com



También es posible **verificar las condiciones de seguridad del propio activo y de los puestos de trabajo** de O&M estableciendo distancias o envolventes de seguridad alrededor de determinados equipos o instalaciones y detectando, en su caso, la presencia de elementos que pudieran influir en que las condiciones

de acceso y ergonómicas para su manejo y mantenimiento¹³ sean las adecuadas. A modo de ejemplo, en la figura 3.18 se muestra la detección sobre el modelo BIM, de la presencia de una conducción que dificultará los trabajos posteriores de mantenimiento.

Figura 3.18. Verificación en el modelo BIM de las condiciones para el mantenimiento

Fuente: *BIM: Designing for safe and smart maintenance* (Bell, Nick, 2018)



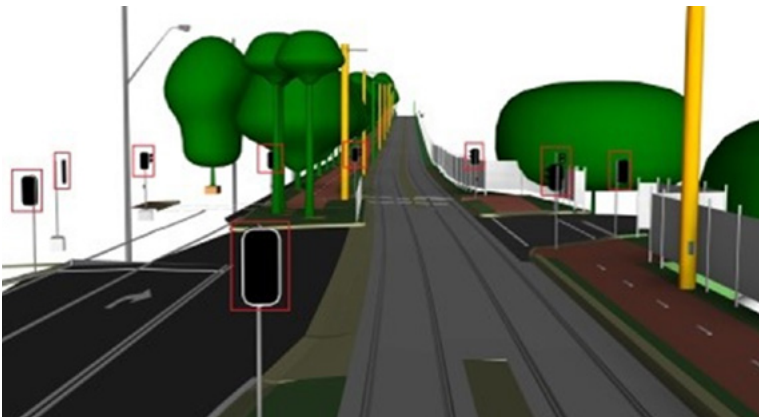
Asimismo, la posibilidad de ejecutar rutinas de comprobación sobre el modelo de la etapa de diseño resulta especialmente útil para verificar el cumplimiento de aspectos relacionados con la gestión de emergencias. En función de los requisitos normativos, se pueden realizar comprobaciones de la dotación de extintores o medios de lucha contra incendios en determinadas áreas o cumpliendo ciertas distancias a elementos como escaleras, ascensores y similares.

En la misma línea, sobre dichos gemelos digitales del futuro activo se podrán implementar tecnologías de **realidad virtual** —que permiten la visualización del modelo con tecnología inmersiva— para efectuar **comprobaciones de acceso, operabilidad y condiciones de seguridad de para la operación y el mantenimiento del activo en etapas posteriores**. Dado que dichas comprobaciones pueden extenderse a aspectos relacionados con la utilización del propio activo por terceros, es importante la colaboración de los diferentes agentes involucrados (usuarios, operadores, mantenedores...). Un ejemplo de esto, tal como se muestra en la figura 3.19, es la simulación desde la posición de operación de un/a maquinista de tranvía para determinar las señales en los cruces que este puede ver y las que pueden despistarle por contener información que no es requerida para el desempeño de su trabajo.

13 Para ello, se definirán sobre el modelo distancias libres alrededor de determinados equipos e instalaciones para verificar que se puede acceder y manipular los mismos con el espacio necesario o verificar anchos necesarios para el paso de determinados equipos de mantenimiento o, por ejemplo, de medios de evacuación de accidentados y otros.

Figura 3.19. Simulación de la visibilidad de las señales en los cruces

Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

**Definición de solución de diseño y traslado de información.**

Un aspecto especialmente relevante de BIM en lo relativo a la prevención radica en la **facilidad y eficacia con la que la información relacionada con la seguridad y salud del activo queda ya incorporada al propio modelo desde la etapa de diseño.** Una vez generada dicha información,

se podrá vincular a los diferentes elementos del activo de tal manera que estará disponible para la **ejecución de la obra y para las posteriores etapas de construcción, operación y mantenimiento, rehabilitación y, en su caso, demolición.** La ventaja que ofrece BIM a este respecto es que, como fruto de la integración de la prevención en la elaboración del proyecto de construcción, **los diferentes elementos del modelo ya incorporarán información específica de los aspectos relevantes para la seguridad y salud de las posteriores operaciones de mantenimiento y explotación del activo.** Así, por ejemplo, y como se muestra en la figura 3.20, se podrá incluir información relativa a la resistencia de la cubierta, los accesos, las protecciones, etc.

Figura 3.20. Información relevante para los trabajos posteriores sobre la cubierta

Fuente: INSST



La metodología BIM también puede ser utilizada para mejorar la calidad del **estudio de seguridad y salud (o estudio básico de seguridad y salud, según el caso)**¹⁴. En la siguiente figura se exponen algunas de las oportunidades identificadas y el documento del estudio de seguridad afectado por esta mejora:

¹⁴ El contenido, alcance y características del estudio de seguridad y salud (o del estudio básico de seguridad y salud, en su caso) serán las que se determinen en la normativa vigente.

Figura 3.21. Oportunidades de BIM para mejorar la calidad del estudio de seguridad y salud

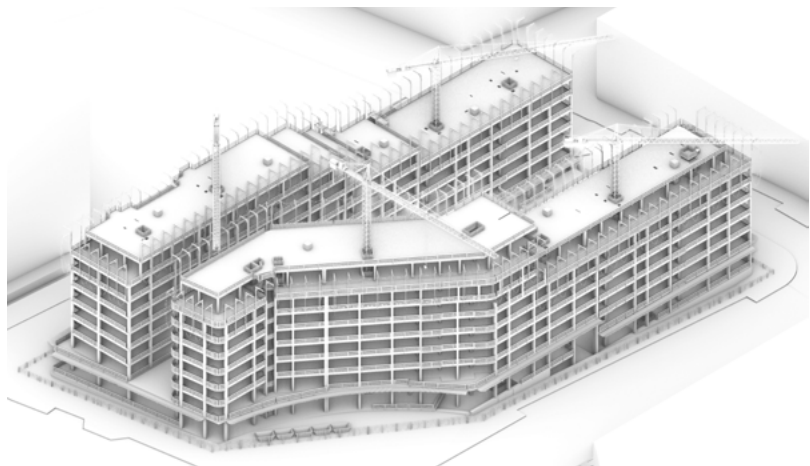
Fuente: elaboración propia

VENTAJAS QUE OFRECE BIM	CONSECUENCIAS DE SU APLICACIÓN	PARTES DEL ESS
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo gráfico de simulaciones, secuencias constructiva y procedimientos de trabajo. • Planificación real de obra, detallada, visual y que permite detección de interferencias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la descripción de los procedimientos de trabajo, equipos técnicos y medios auxiliares. - Mejora en el detalle de la planificación de los trabajos y los riesgos derivados de las interferencias. 	Memoria
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo gráfico de secuencias y procedimientos de trabajo. • Posibilidad de vincular información a elementos (por ejemplo: Líneas eléctricas y servicios afectados). 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de verificar la existencia real de tales riesgos especiales sobre el modelo (por ejemplo: con rutinas de comprobación de distancias o alturas a ciertos elementos y/o servicios afectados). 	Memoria y Planos
<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información del entorno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora en la identificación, representación e información del entorno, servicios afectados, terreno... y de los riesgos asociados. 	Memoria y Planos
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de vincular la información sobre los propios elementos/medidas de seguridad del modelo de la fase de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede integrar la información de las características e información más relevante de máquinas, medios auxiliares y equipos preventivos; requisitos de montaje, certificación, instrucciones de uso. 	Pliego
<ul style="list-style-type: none"> • Integración gráfica real de medidas de seguridad (señalización, balizamiento, protecciones, equipos preventivos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Integración de los medios y sistemas de seguridad en los procedimientos constructivos y en el entorno real de la obra. Fases de instalación real en el modelo según la planificación y procedimientos. 	Planos
<ul style="list-style-type: none"> • Automatización en la obtención de mediciones de todos los materiales, equipos y dispositivos de seguridad y salud. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de mediciones reales de equipos de seguridad, (protecciones, señalización, balizamiento...) - Trazabilidad de las medidas de seguridad a disponer por cada actividad. 	Mediciones y Presupuesto
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de integrar en los elementos del modelo de la fase de diseño la información necesaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inclusión en modelo de la información de seguridad relativa a futuros trabajos de operación, mantenimiento, e incluso demolición. Posibilidad de adaptarlo o completarlo en fases posteriores. 	Memoria y Planos

Figura 3.22. Comprobación de las medidas preventivas previstas

Fuente: Morph Estudio

A continuación, se muestra de forma gráfica algunos ejemplos de las oportunidades recogidas con anterioridad. Con la figura 3.22 se puede comprobar, mediante BIM, que las medidas preventivas previstas son adecuadas a los métodos de trabajo que se van a seguir para la ejecución de la obra.



3.4. Etapa de PLANIFICACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE OBRA: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.

AGENTES IMPLICADOS

» Promotor » Contratista » Subcontratista » Coordinador SSE

3.4.1. Planificación, ejecución y control de obra: aspectos relevantes.

Las características de una obra van cambiando durante el transcurso de la misma y, con ellas, los riesgos a los que pueden verse expuestos los trabajadores y las trabajadoras. De igual manera, es habitual que en la ejecución participen distintas empresas o personas trabajadoras por cuenta propia —bien de forma simultánea, bien de forma sucesiva— por lo que será preciso considerar los riesgos de la propia tarea y los que el resto de los intervinientes generen. Asimismo, el emplazamiento en el que se desarrolle la obra y la actividad que pueda estar llevándose a cabo en el entorno afectarán a las condiciones en que esta se realice. Todo lo anterior deberá tenerse en cuenta en esta etapa y, para ello, la coordinación y el intercambio de información son imprescindibles.

Aunque la planificación, ejecución y control se han agrupado dentro de una única etapa, a continuación se indican las actuaciones y consideraciones particulares de cada una de ellas:

- Planificación¹⁵: debe entenderse como un proceso dinámico que se adaptará a la realidad de la obra que, como ya se ha dicho, es cambiante. Partiendo de la información contenida en el proyecto, se realizarán las siguientes actuaciones:
 - *Identificación y clasificación temprana de las situaciones de peligro*. Estas pueden venir de las condiciones y de la actividad del entorno (por ejemplo: presencia de líneas eléctricas o de tráfico rodado). Se identificarán las circunstancias que podrían condicionar la seguridad de los trabajos de ejecución debiendo adoptarse medidas preventivas a tal efecto.
 - *Análisis preventivo de soluciones constructivas*: métodos y procesos constructivos y detección de interferencias e incompatibilidades. Se adaptarán las previsiones recogidas en el proyecto —particularmente, en el estudio de seguridad y salud o en el estudio básico de seguridad y salud— al sistema de ejecución de la obra. Se tendrán que identificar y valorar los riesgos generados por la concurrencia de actividades en la obra y adoptar las medidas técnicas y/u organizativas que, en consecuencia, procedan.

Como resultado de este proceso, se establecerán los procedimientos de trabajo¹⁶ —integrando los aspectos productivos y preventivos— dentro de cada fase de la obra, para cada actuación que tenga una entidad propia desde el punto de vista de la seguridad y salud. En este sentido, las personas trabajadoras implicadas en estos procedimientos deberán disponer de los medios materiales necesarios y de la formación preventiva específica que les permita trabajar con seguridad. Esto implica que, entre otras cosas, este personal debe conocer el procedimiento que les corresponda llevar a cabo.

15 En el proceso de planificación de la obra intervendrán quienes tomen parte en la ejecución de la misma. No obstante, cabe recordar que corresponde a cada contratista la elaboración del plan de seguridad y salud en el trabajo que constituye el instrumento básico de evaluación de riesgos y planificación de la actividad preventiva de la obra. El citado plan, así como sus modificaciones, será aprobado por el coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra o por la dirección facultativa, según sea el caso.

16 Para más información, se recomienda consultar el apéndice 4 de la Guía para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción, elaborada por el INSST y con carácter no vinculante.

En este punto, también es posible determinar la necesidad de que se establezcan controles —permisos de trabajo, designación de recurso preventivo, etc.— para la realización de determinadas tareas que puedan ser especialmente peligrosas.

- Ejecución y control: Se realizará un seguimiento y control continuo para comprobar que la ejecución de la obra se desarrolla conforme a lo planificado. Cualquier circunstancia que no se ajuste a lo previsto inicialmente deberá ser objeto de una nueva planificación.

3.4.2. Planificación, ejecución y control de obra: oportunidades de BIM para mejorar la integración de la PRL.

Para que la metodología BIM ofrezca ventajas en esta etapa, el promotor o cliente habrá tenido que establecer previamente determinados requisitos —en la etapa de concepción y programación inicial— para, por ejemplo, poder desarrollar un modelo 4D y contar con la información relevante generada durante el diseño. Asimismo, aun en ausencia de tales previsiones y requisitos, la empresa contratista podrá valorar la implementación de BIM a fin de **mejorar sus propios procesos internos de gestión y ejecución de las obras**.

Los modelos 4D son aquellos que incorporan la variable tiempo como cuarta dimensión y, de esta forma, permiten simular las secuencias de ejecución —tal como se muestra en la figura 3.25— y el avance de las obras. Igualmente, favorecen la planificación dinámica de procedimientos y soluciones constructivas con todo lo que ello supone en términos de poder visualizar la futura ejecución de las obras con la debida antelación y en un modelo virtual tridimensional.

Figura 3.25. Secuencias temporales de trabajos de canalización con tuberías

Fuente: www.freeform4d.co.uk



Estos modelos también permitirán la integración de otras tecnologías en BIM como la **realidad virtual, VR**, (para efectuar recorridos virtuales por el modelo en la construcción) y la **realidad aumentada, AR**, que permite incluir información a un determinado objeto real (por ejemplo, añadiendo a un objeto real una determinada información vinculada que pueda facilitar la formación o el control operativo en obra).

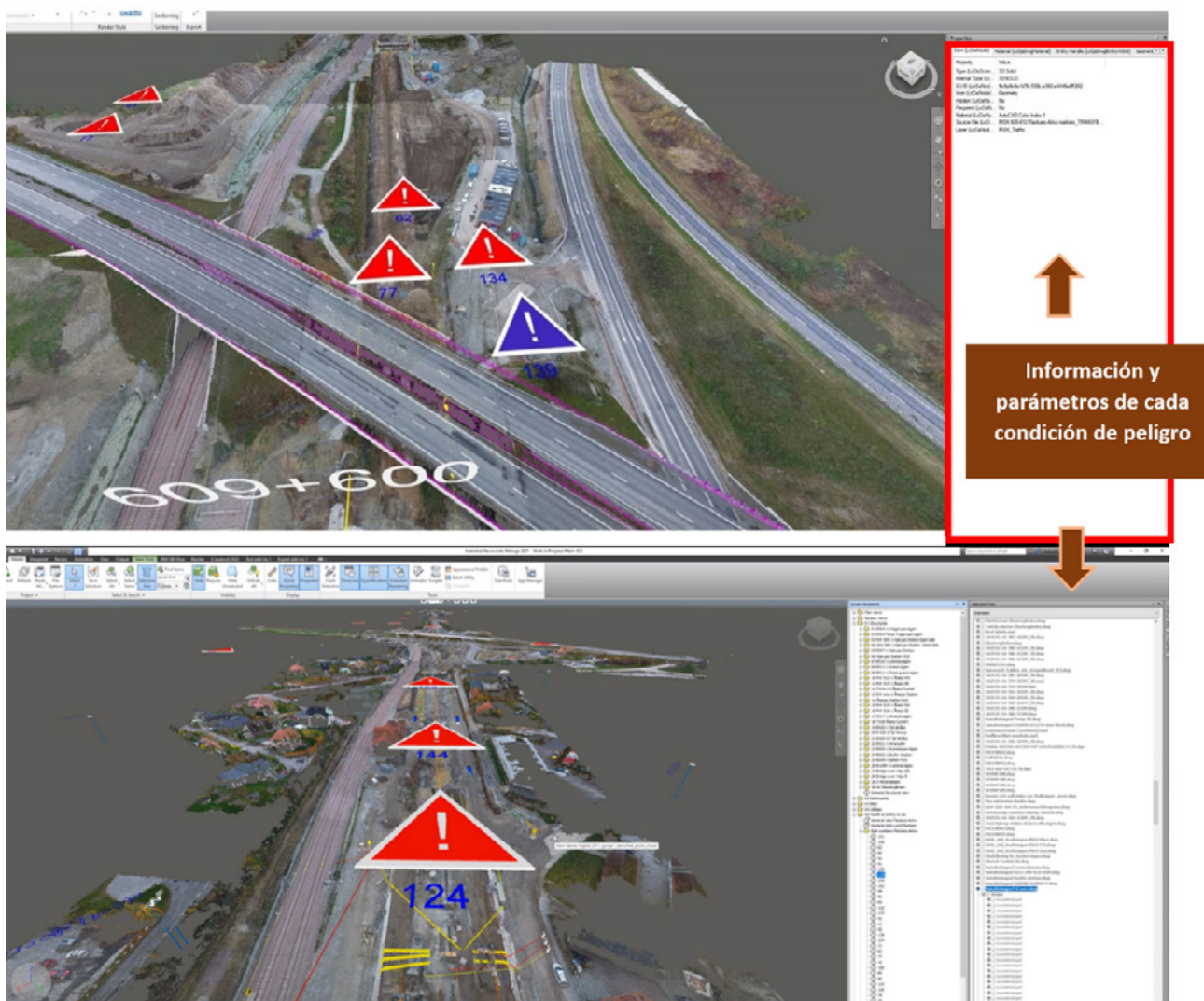
En todo caso, en la medida en que se cuente con este modelo 4D y en función de su alcance y de su orientación, determinados procesos preventivos se verán optimizados gracias a la posibilidad de realizar **simulaciones de planificación, gestión de espacios o análisis de soluciones constructivas de la futura obra**. En esta línea, se han identificado fundamentalmente **las siguientes oportunidades**:

Identificación y clasificación temprana de condiciones de peligro.

El modelo en 3D ofrece la posibilidad de incorporar una **serie de alertas**¹⁷ con la identificación temprana de las condiciones de peligro susceptibles de generar riesgos a lo largo de la ejecución de la obra. Se pueden incluir, por ejemplo, las condiciones del entorno (presencia de materiales nocivos o peligrosos, presencia de tráfico rodado, peatonal...). Como se puede observar en la figura 3.26, esto permite visualizar señales de advertencia de condiciones de peligro sobre las que se vincula información específica (propiedades, características y descripción).

Figura 3.26. Sistemas de identificación temprana de riesgos

Fuente: OBRASCON HUARTE LAIN S.A.



Además, al tratarse de elementos parametrizados, las condiciones de peligro detectadas se podrán clasificar —por ejemplo: según su naturaleza— permitiendo generar listados que recojan las zonas de la futura obra en las que se hay peligros susceptibles de generar riesgos como la presencia de material tóxico o de líneas eléctricas enterradas, etc.

¹⁷ Por ejemplo, utilizando software específico se pueden crear sobre el modelo señales de alerta con información vinculada de las condiciones de peligro existentes en determinadas zonas de la obra.

Según se vaya desarrollando el modelo, el sistema de alertas se puede ir complementando con **información adicional** (por ejemplo: incluyendo detalles gráficos de las medidas de protección necesarias) y con la actualización de **la situación de cada uno de los riesgos derivados del avance de las obras**. Lo anterior servirá de base para llevar a cabo con mayor eficacia los procesos de evaluación de riesgos¹⁸, planificación de la actividad preventiva e información de los riesgos remanentes.

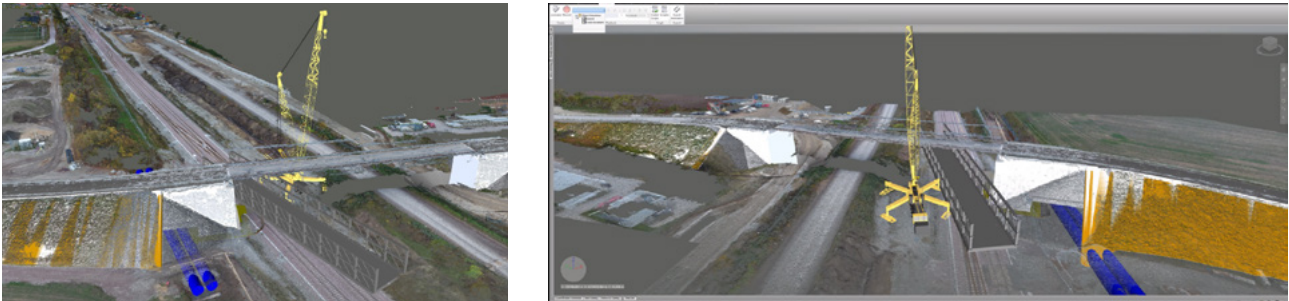
Análisis preventivo de procesos constructivos.

La posibilidad de desarrollar **simulaciones constructivas 4D** facilita la valoración preventiva de alternativas constructivas a la vez que mejora la planificación de los procedimientos y de las técnicas constructivas a utilizar. Por ejemplo, la generación de vistas o recorridos en 3D de las diferentes fases de montaje de una estructura permite realizar un **análisis de las diferentes posiciones de una grúa** incluyendo **comprobaciones espaciales** como la distancia entre esta y líneas eléctricas aéreas presentes. Gracias a esto, se podrá seleccionar la grúa más adecuada y planificar el trabajo con mayor eficacia

Como muestra de lo anterior, en la figura 3.27 se observa una animación 4D de la ejecución de montaje de un puente sobre ferrocarril en la que se pueden visualizar las zonas de acopio del tablero, el acceso y posicionamiento de la grúa, las distancias a la catenaria y a la vía, e integrado la planificación de circulaciones, se puede ver la afección de los trabajos al tráfico ferroviario.

Figura 3.27. Animación 4D - Ejecución de montaje de puente sobre ferrocarril

Fuente: OBRASCON HUARTE LAIN S.A.

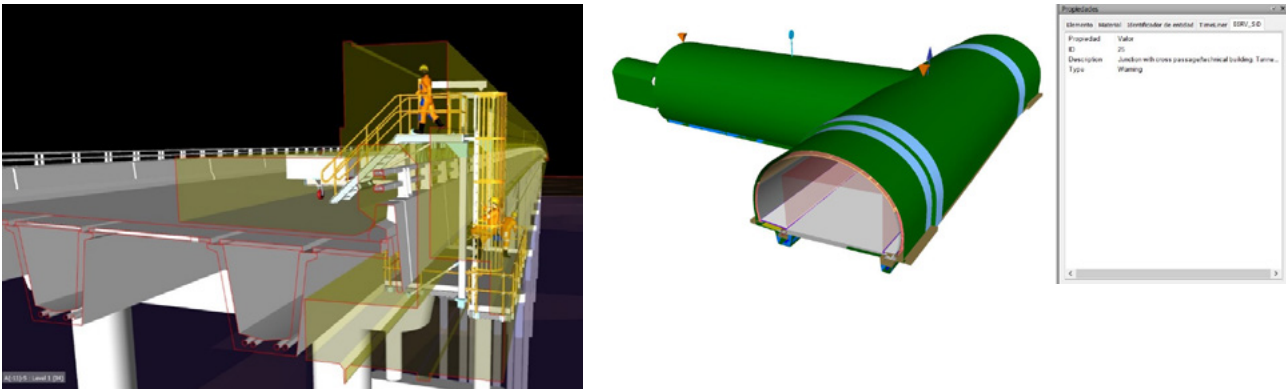


En la misma línea, la generación de vistas o de recorridos en 3D y la introducción sobre el modelo de envolventes a cierta distancia hace que se puedan **comprobar, entre otras, las condiciones de acceso**. En la figura 3.28 se ilustra el diseño de un elemento auxiliar para acceder a diferentes zonas de una estructura incluyendo la zonificación —en amarillo— de los espacios reservados para el desplazamiento de dicha estructura auxiliar de forma que se verifica que el elemento de acceso es válido y se puede desplazar con seguridad y que se mantiene el gálibo necesario —cajón en rojo— para su paso por el túnel en las diferentes fases de ejecución.

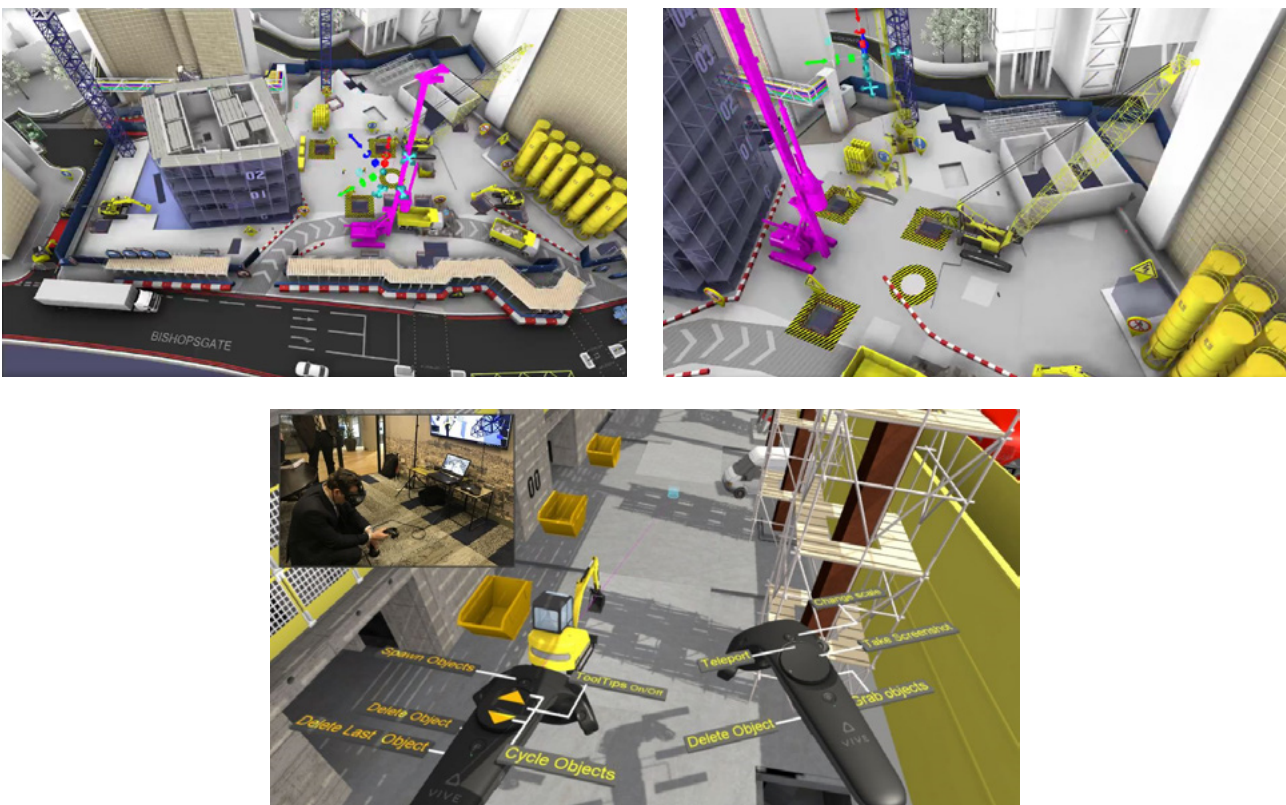
¹⁸ En todo caso, la evaluación de riesgos laborales se ajustará a lo establecido Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y a la normativa específica que sea aplicable.

Figura 3.28. Recreación 3D del diseño de elemento auxiliar

Fuente: UTE Acciona Construcción S.A. – Ferrovial Agroman S.A.

**Detección de interferencias o incompatibilidades entre actividades.**

El modelo 4D permite el análisis previo de la planificación de las actividades —mediante simulaciones— de manera que se detecten **posibles interferencias o incompatibilidades entre las distintas actividades debidas a los riesgos que cada una de ellas genera** (por ejemplo: identificando la ejecución de trabajos en caliente en la proximidad de productos inflamables). De ser así, se podrá modificar la planificación temporal para eliminarlas o para determinar medidas preventivas específicas para controlarlas. En la figura 3.29 se comprueban automáticamente, sobre el modelo 4D y en función de las **posibles ubicaciones de grúas o equipos**, las **distancias de seguridad a otras máquinas o zonas de trabajo**.

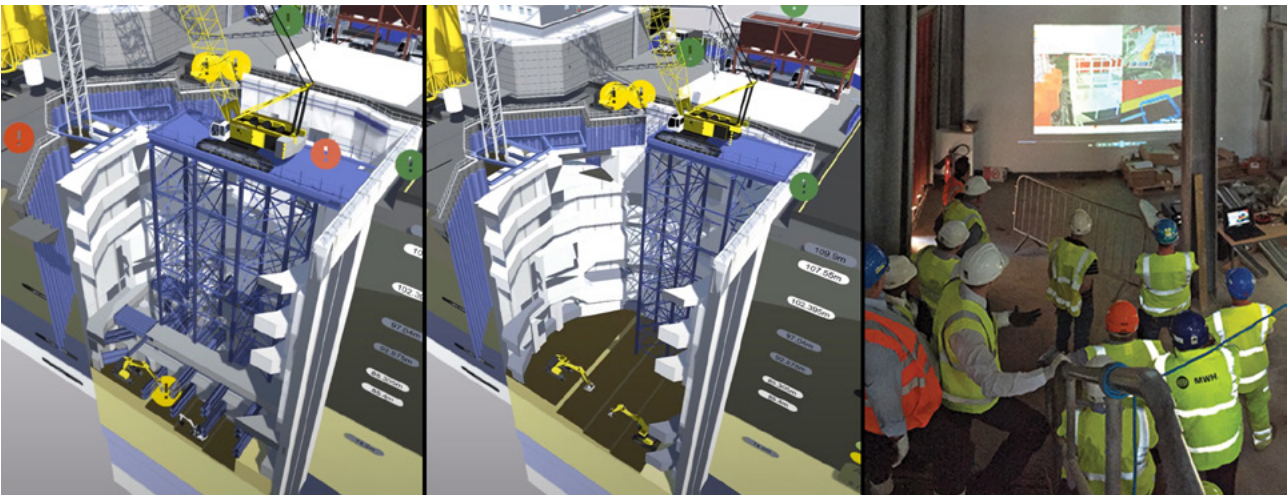
Figura 3.29. Análisis de interferencias según distintas ubicaciones de los equiposFuente: www.freeform4d.co.uk

Formación del personal que interviene en la ejecución de la obra.

En el apartado anterior se ha hecho referencia a la importancia de que las personas trabajadoras tengan conocimiento del procedimiento de trabajo en el que estén involucrados. En relación con esto, el hecho de disponer de modelos 4D que ilustren el estado, avance y desarrollo de la obra facilita enormemente que la formación e información proporcionada esté acorde con los riesgos y medidas preventivas de la obra en cuestión. Tal y como se observa en la figura 3.30, mediante herramientas de software estándar de planificación 4D o plataformas de gestión de modelos BIM, se puede **visualizar la forma de ejecutar una determinada actividad (realidad virtual) incluyendo sobre el modelo los principales riesgos y medidas de seguridad a considerar por los operarios que vayan a ejecutar dicha actividad.**

Figura 3.30. Recreación previa de los trabajos a ejecutar

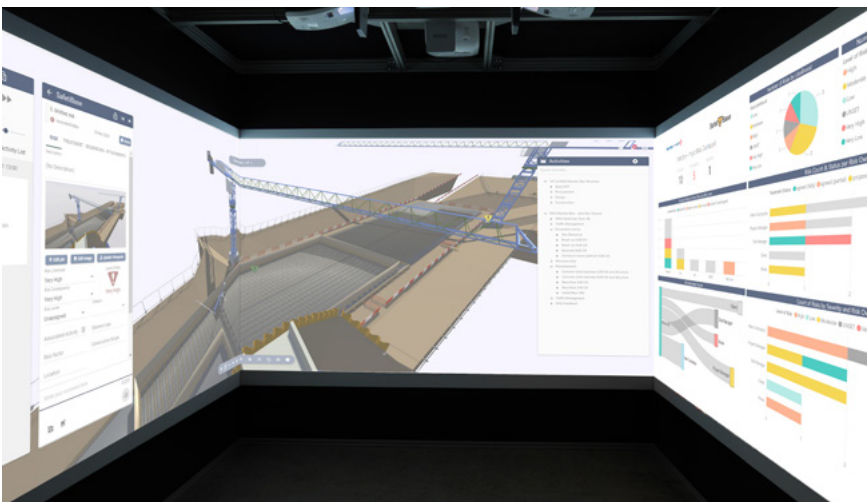
Fuente: www.freeform4d.co.uk y www.3drepo.com



Estas mismas soluciones pueden utilizarse para realizar recorridos virtuales sobre la propia obra de manera que se muestren, antes de comenzar una determinada actividad, los principales riesgos a considerar tal como se observa en la figura 3.31

Figura 3.31. Sala para inducción y formación en PRL basada en 3D

Fuente: www.3drepo.com.



De acuerdo con lo anterior, el uso de BIM en la formación del personal puede ofrecer ventajas en dos direcciones:

- Permite que el contenido de la formación esté ajustado a la realidad de la obra en cada momento.
- Puede utilizarse como herramienta visual durante el proceso de aprendizaje.

Ejecución y control

La planificación de la obra puede ser incorporada al modelo y, a partir de dicha información, es posible definir y programar, por ejemplo, inspecciones periódicas de las condiciones de trabajo sobre el modelo en 4D. Los encargados de efectuar las citadas inspecciones podrían registrar los resultados obtenidos en el propio modelo BIM. A modo de ejemplo, se podrían utilizar herramientas digitales que permitan **visualizar los puntos de control de cada actividad sobre el propio modelo 4D** y, a la vez, realizar una **inspección digital** cuyo resultado (grado de cumplimiento e imágenes que lo ilustran) quedarán incorporadas al modelo 4D. Esto tiene, fundamentalmente, dos ventajas: por un lado, contar con información y datos fácilmente analizables desde el momento en que se generan y, por otro, contar con tales inspecciones incorporadas sobre el propio modelo 4D lo que, en términos de visualización, mejora evidentemente las alternativas tradicionales.

Dicha planificación, en fase virtual utilizando el modelo 4D, **se irá actualizando y adaptando a la evolución de la obra** de manera que, en la práctica, se contará con una planificación dinámica de las condiciones de seguridad de ejecución de los trabajos y, a la vez y vinculada al modelo, información de los controles efectuados utilizando dispositivos portátiles en obra. Adicionalmente, esta herramienta permite una visualización rápida del estado de la obra, de forma que se puede hacer el seguimiento de las condiciones de seguridad y salud.

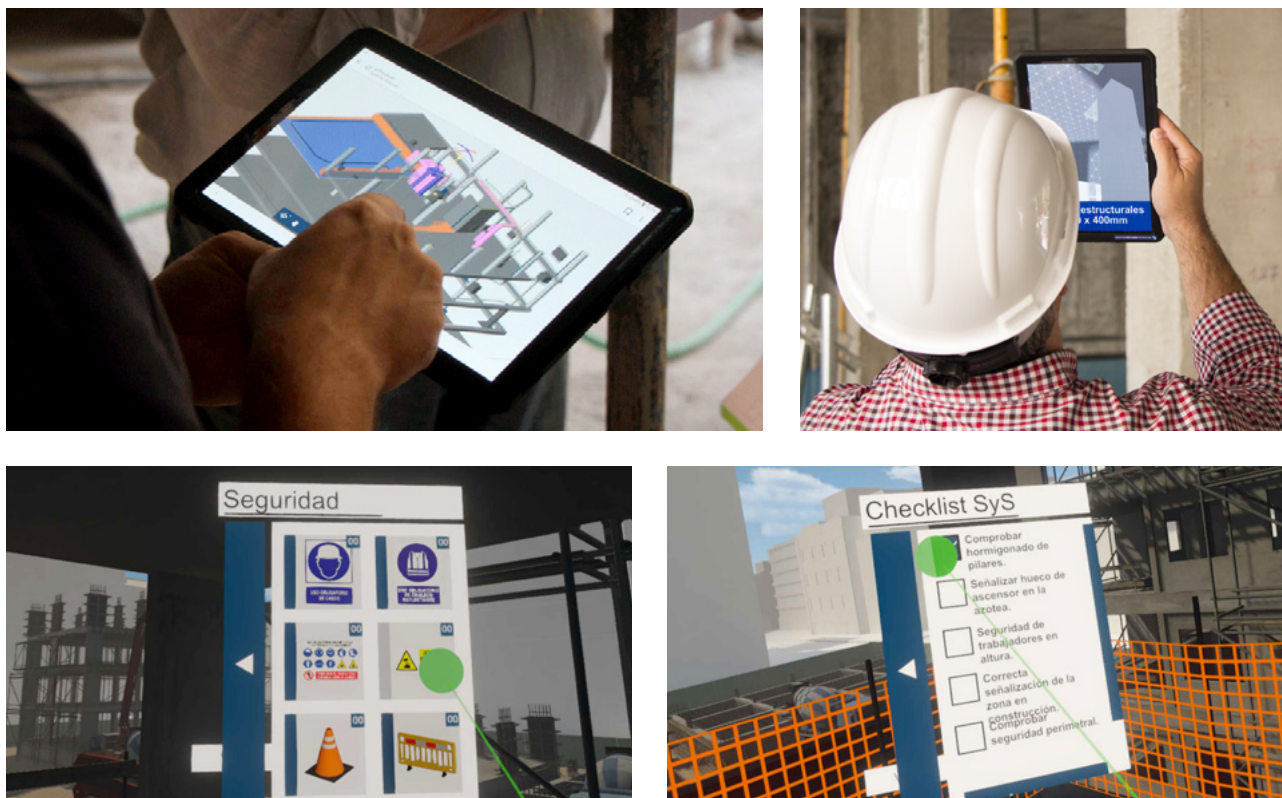
BIM también presenta ventajas a la hora de **incluir en el modelo información relevante en materia de seguridad y salud**. Por ejemplo, se puede vincular a ciertos materiales, equipos y protecciones colectivas la información del fabricante que permita comprobar que lo construido se ajusta a lo diseñado escaneando etiquetas o códigos QR en obra¹⁹. En la misma línea, se facilita que las empresas que ejecutan la obra incorporen sobre el modelo la información de los equipos y materiales realmente dispuestos en los aspectos ya señalados lo que, además, será muy útil de cara a las etapas posteriores de O&M.

Este tipo de utilidades —que permiten contar con un sistema de planificación y control de medidas preventivas vinculada sobre el propio modelo 4D— pueden constituir la puerta de entrada para desarrollar e implementar otras tecnologías como la **realidad aumentada (AR)**. Como se observa en la figura 3.32, utilizando dichas tecnologías, se puede dar un paso más a la hora tanto de registrar, sobre el propio modelo, los controles efectuados como de visualizar las medidas previstas en el mismo o asignar, en una visita a obra, nuevos controles a efectuar en función de lo apreciado en la misma.

¹⁹ Puede servir para facilitar información como fichas de datos de seguridad o manuales de instrucciones, fecha de caducidad de protecciones, información sobre el instalador y registro de instalación, etc.

Figura 3.32. Visualización de las medidas a implantar, posibilidad de programar inspecciones o controles o de efectuar tal registro en obra

Fuente: Visual Technology LAB S.L. (VT-Lab)



Por otra parte, es posible incorporar al modelo información a tiempo real de las condiciones de trabajo de la obra mediante **sensores que las detecten, registren y vinculen al modelo** (por ejemplo, mediante *beacons*²⁰ para registrar itinerarios seguidos por los operarios, presencia de los mismos en caso de emergencia en obra o mediante instrumentación que registre las condiciones ambientales).

Todo ello conlleva, importantes ventajas a la hora de planificar la actuación preventiva en obra y facilita una **gestión preventiva dinámica y eficaz con evidencias y registros de actuación que van más allá del mero cumplimiento formal de obligaciones documentales.**

Transmisión de información

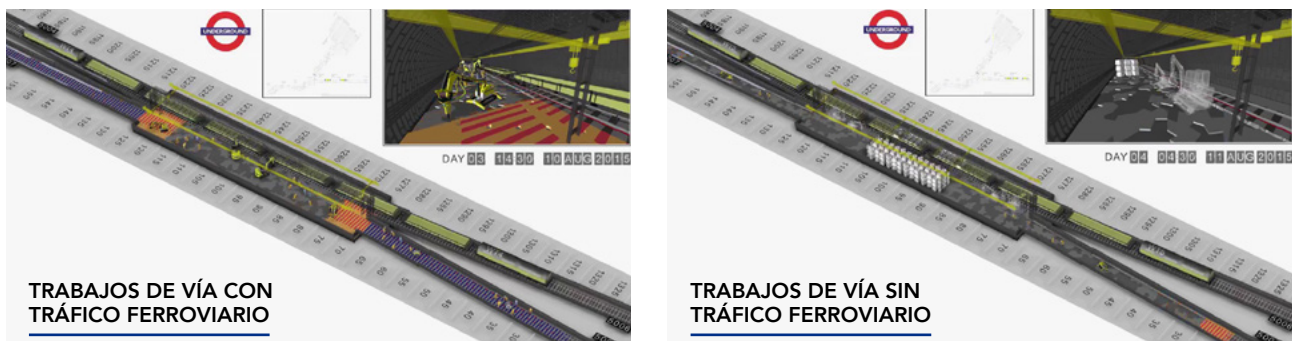
Como ya se ha dicho al inicio de este documento, uno de los atributos inherentes a esta metodología es su carácter colaborativo y el hecho de que se articula sobre un único modelo que irá evolucionando a lo largo del ciclo de vida. Teniendo lo anterior como base, es evidente que supone una ventaja diferencial en lo relativo al acceso a la información y las posibilidades que esto ofrece desde un ámbito preventivo. El intercambio de información es fundamental para la coordinación entre los distintos intervinientes durante la planificación, ejecución y control. Asimismo, el usuario final del elemento construido debería conocer las características del mismo para su gestión en las siguientes etapas del ciclo de vida por lo que la metodología BIM también presenta oportunidades en este sentido.

²⁰ Los *beacons* o balizas electrónicas son dispositivos portátiles que funcionan con tecnología Bluetooth emitiendo una señal que identifica a cada dispositivo. Esta señal puede ser recibida e interpretada por otros dispositivos móviles (smartphone, tabletas...) lo que permite la geolocalización de sus portadores.

A modo de ejemplo, en la figura 3.33 se ilustra la planificación y coordinación de trabajos de remodelación y ampliación de una red de metro en la que se coordinan temporalmente los trabajos de vía con las circulaciones existentes en la red. Esto permite conocer con exactitud los trabajos que se realizarán con tráfico ferroviario, verificar sobre el modelo las distancias de seguridad y prever las medidas de control necesarias. A su vez, estos modelos dinámicos podrán servir para informar y coordinar a las empresas participantes en la obra.

Figura 3.33. Coordinación de trabajos de vía con tráfico ferroviario según el día y hora, verificación de distancias de seguridad y medio de información y coordinación

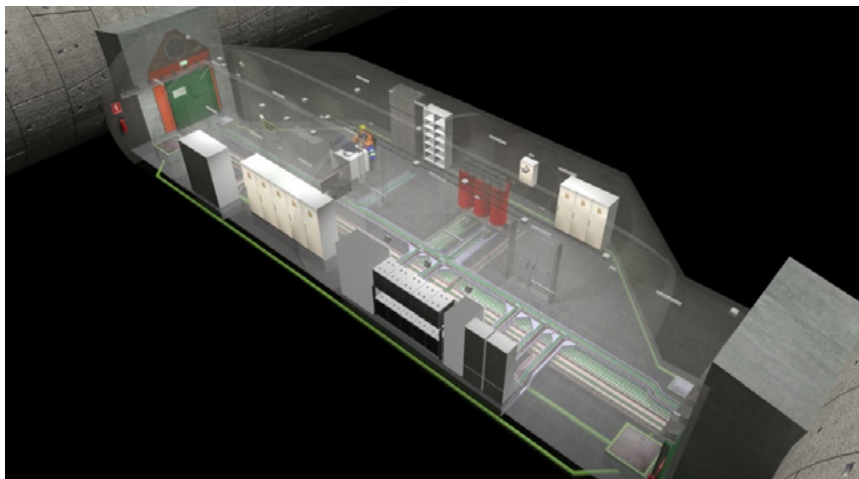
Fuente: www.freeform4d.co.uk y www.3drepo.com



Además, referente al traslado de información al usuario final BIM facilita la recopilación y gestión de esta. Para ello, el/la promotor/a de la obra gestionará el modelo BIM de tal forma que cuente —una vez finalizada la ejecución— con la información generada en la etapa de diseño convenientemente actualizada y completada por los contratistas y el resto de los agentes intervinientes. De esta forma, se dispondrá de un **modelo As built que servirá de repositorio digital del activo construido** que dispondrá, entre otras cuestiones, de la información relacionada con el uso y mantenimiento del activo y sus instalaciones, así como los correspondientes planes de mantenimiento e instrucciones en caso de emergencia²¹.

Figura 3.34. Modelo As Built que incluye identificación, en 3dMax, de volúmenes y posiciones de equipos en cuartos técnicos de una galería transversal entre túneles

Fuente: Acciona Ingeniería S.A.



21 En el caso de los proyectos de edificación, dicha información formará parte del Libro del Edificio.

3.5. Etapa de OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.

AGENTES IMPLICADOS

› Titular del activo › Operadores › Mantenedores

3.5.1. Operación y mantenimiento: aspectos relevantes.

Si en el activo construido se realiza una actividad empresarial, se deberá garantizar que se lleva a cabo en las debidas condiciones de seguridad y salud y que las personas trabajadoras están adecuadamente formadas e informadas y que cuentan con los medios materiales necesarios para su ejecución. Para ello, previamente habrá que identificar y evaluar los riesgos a los que el personal pueda verse expuesto y, en función del resultado de dicha evaluación, establecer las medidas preventivas aplicando los principios de la acción preventiva, de conformidad con el artículo 15 de la LPRL. Con base en lo anterior, se podrá determinar la formación e información que requieren los operarios y que se ajustará, en todo caso, a lo dispuesto en los artículos 18 y 19 de la LPRL.

Además, es habitual la contratación de obras²² y servicios²³ a empresas o a personas trabajadoras por cuenta propia. Esta contratación puede implicar que en un mismo centro de trabajo realicen actividades y coincida personal perteneciente a distintas empresas y/o distintas personas trabajadoras por cuenta propia. Lo anterior supone que trabajadores y trabajadoras se puedan ver expuestos/as no solo a los riesgos de su actividad, sino también a los que pueda generarles la actividad desarrollada por otras empresas (o personas trabajadoras por cuenta propia) y/o los originados por el centro de trabajo donde se ejecuten las tareas contratadas. Ante esta problemática, es esencial una coordinación entre los implicados con el fin de controlar los mencionados riesgos.

3.5.2. Operación y mantenimiento: oportunidades de BIM para mejorar la integración de la PRL.

Si el activo ha sido diseñado y construido aplicando la metodología BIM, se partirá del modelo *As Built*—que contendrá toda la información generada en fases previas— y que podrá evolucionar al modelo FM (*Facility Management*) o de gestión del activo. Este último estará orientado a la etapa de operación e incorporará la información relativa a las tareas de mantenimiento²⁴ (por ejemplo: inspecciones o revisiones realizadas, registro de sus resultados y seguimiento de actuaciones derivadas, modificación de procesos de trabajo, gestión de equipos de trabajo...).

22 Para más información, se recomienda consultar las *Directrices básicas para la integración de la prevención de los riesgos laborales en las obras de construcción*.

23 Para más información, se recomienda consultar las *Directrices para una eficaz coordinación de actividades empresariales*.

24 En función del tipo de activo y de los requisitos de operación y de mantenimiento, se adaptará el modelo *As Built* o bien discretizando elementos, o bien incorporando nueva información o bien, incluso, eliminando detalles temporales de la ejecución de la obra como vistas y planos o información de la gestión técnica de la ejecución de la obra.

En caso contrario, tal y como muestra la figura 3.35, se puede proceder a la digitalización del activo o *levantamiento BIM* mediante técnicas de escaneo láser 3D (*Scan to BIM*). Posteriormente, se podrá cargar el levantamiento en *software* BIM para añadir, sobre el modelo 3D generado, información relevante en materia preventiva acerca de aspectos como las características de las instalaciones y equipos de trabajo, los procesos productivos, la distribución de puestos de trabajo, los materiales y condiciones de los mismos, las sustancias y productos químicos empleados, etc. A partir de este momento, se contará con un gemelo digital descriptivo del activo²⁵ que contendrá la información y los parámetros relacionados con los usos que se quieren en esta etapa.

Figura 3.35. Levantamiento 3D de instalación en servicio con escáner digital y nube de puntos

Fuente: www.grupoabstract.com



Independientemente de su origen, el modelo BIM permite disponer de datos digitalizados a partir de los cuales se puede elaborar un gemelo digital descriptivo en 3D. Además, es posible utilizar este modelo como un modelo FM en el que se podrán realizar, entre otras, las siguientes actuaciones relacionadas con la gestión de la prevención de riesgos laborales del activo:

- **Planificación de medidas preventivas y el control de condiciones de trabajo en la operación y mantenimiento del activo.** La metodología BIM podrá facilitar y mejorar —mediante simulaciones dinámicas 4D— la planificación de las medidas preventivas que se requieren para los trabajos de operación y mantenimiento. La visualización previa sobre el gemelo digital de las condiciones en las que se efectuarán los citados trabajos simplificará y agilizará la identificación de peligros y la obtención de información para hacer la evaluación de riesgos y la consiguiente planificación p eventiva²⁶.

Un ejemplo de lo anterior se ilustra en la figura 3.36 que se centra en la simulación en 4D de la planificación del corte de carril necesario para la realización de ciertas tareas de conservación de carreteras. Dicha simulación permite comprobar que la anchura de los arcones es suficiente para que puedan estacionar vehículos auxiliares en condiciones seguras o visualizar la conformación del corte de carril y verificar la propia visibilidad del mismo desde los vehículos que circulen por la vía.

25 Esta primera versión del gemelo digital podrá evolucionar a un gemelo digital integrado si se monitorizan las condiciones reales y se habilita la interconexión entre la realidad y el modelo (por ejemplo: mediante sensores que permitan conocer el nivel de ocupación, condiciones atmosféricas, tráfico...)

26 A este respecto se debe indicar que, si el diseño del activo se ha realizado teniendo cuenta las recomendaciones de este documento, el proceso será más sencillo y el activo será más seguro y saludable para las personas trabajadoras, porque se habrán eliminado riesgos evitables y habrán adoptado medidas para reducir/minimizar y controlar los riesgos remanentes.

Figura 3.36. Simulación 4D de trabajos de mantenimiento de carretera

Fuente: Norwich Highway, BIM Safe sobre Bentley Openroads Designer



En la misma línea, el modelo FM puede servir de base para que las empresas responsables de O&M del activo puedan desarrollar una planificación de actuaciones preventivas más realista e, incluso, vincular su plan de control de condiciones de trabajo y/o inspecciones de seguridad al propio gemelo digital. Para ello, mediante un software desarrollado en entorno BIM, se podrán gestionar digitalmente las inspecciones de tal forma que el **control de condiciones de trabajo quede registrado en el propio modelo** incluyendo los registros de las inspecciones efectuadas o la asignación de futuras inspecciones o controles sobre determinadas zonas o equipos de la instalación, tal y como refleja la figura 3.3

Figura 3.37. Registros de inspecciones y controles vinculados a modelos BIM

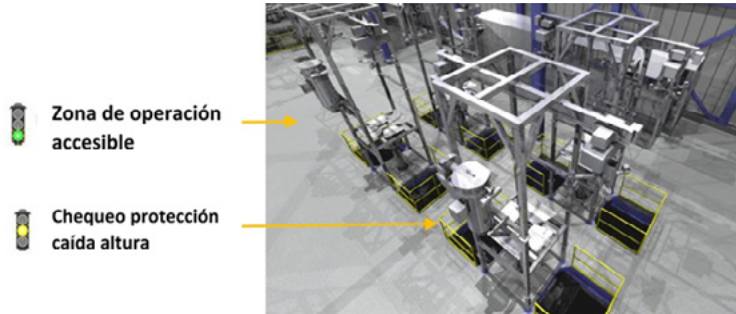
Fuente: www.3drepo.com



- **Comprobación de determinadas condiciones de trabajo** como las relativas a los lugares de trabajo, equipos, etc. Contar con un modelo 3D con información parametrizada sobre aspectos como distancias, pesos o alturas hace posible —mediante reglas/algoritmos o mediante un software específico— la **realización de chequeos automáticos sobre las condiciones de seguridad**. Por ejemplo: se pueden verificar las vías y las condiciones de acceso a los diferentes puestos de trabajo o de operación (acceso a llaves y válvulas) o la existencia de espacio suficiente para acceder a determinadas zonas o equipos de trabajo. La figura 3.38 muestra la utilización del modelo BIM para verificar las condiciones de acceso a un puesto de trabajo y la identificación, gracias a estas comprobaciones, de la falta de protecciones frente a caídas de altura.

Figura 3.38. Comprobación de acceso a un puesto de trabajo y detección de protecciones insuficientes

Fuente: www.gray.com



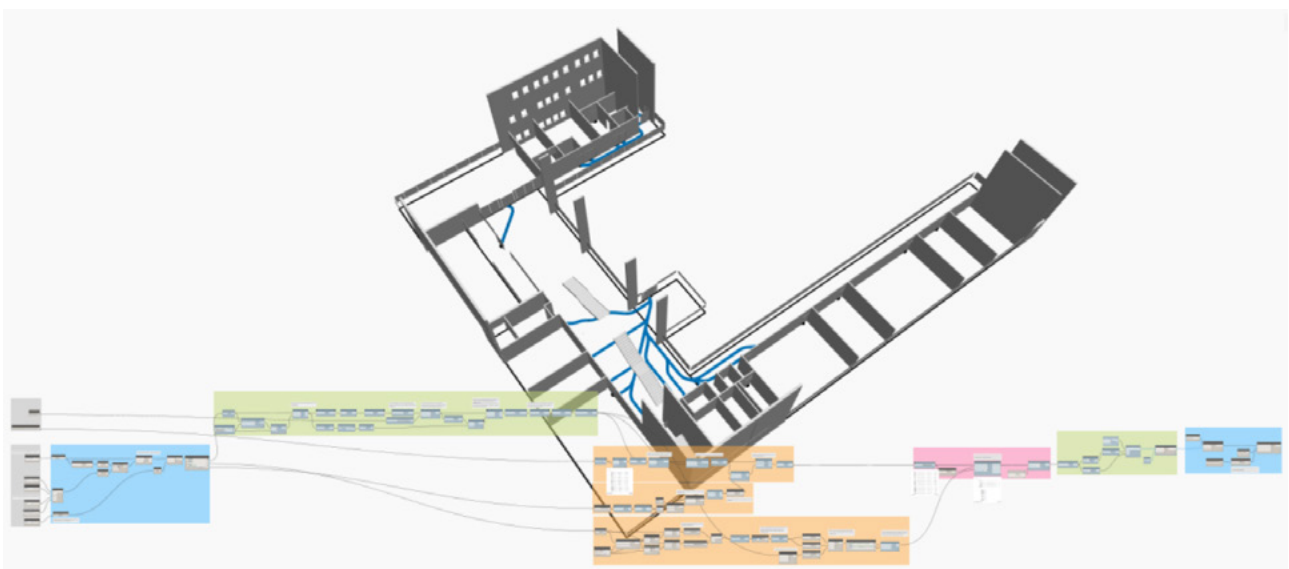
En el mismo sentido, utilizando reglas de comprobación espacial y de envolventes, se puede constatar, por ejemplo, que las distancias a los elementos a accionar son las adecuadas desde un punto de vista ergonómico o se puede identificar la existencia de peligros de exposición a riesgo eléctrico incluyendo en el modelo, para cada conductor o elemento en tensión, envolventes de seguridad en torno a los mismos en función de su tensión.

Además, mediante simulaciones con software específicos, se pueden desarrollar modelos predictivos para ver, por ejemplo: el impacto acústico de fuentes sonoras o el movimiento de masas de aire en edificaciones mediante simulaciones térmicas y de fluidos.

- **Verificación y gestión de las medidas actuación en caso de emergencia.** El modelo parametrizado permite programar secuencias de comandos o rutinas (*scripts*) para automatizar el análisis de las rutas de emergencia en función de parámetros como el grado de ocupación —tal como se refleja en la figura 3.39— o, en su caso, determinar las vías de evacuación a utilizar en cada zona de la construcción. El modelo FM puede servir, asimismo, para cerciorarse de que se cuenta con la dotación suficiente de medios para actuar en caso de emergencia (por ejemplo: comprobación del número de extintores o de rociadores por planta, superficie o verificación de la existencia de espacio para acceso de camillas y evacuación de heridos).

Figura 3.39. Análisis y definición de rutas de evacuación

Fuente: www.autodesk.com



En la figura 3.40 se ilustra como se pueden aprovechar los modelos FM para simular la generación y propagación de incendios en ciertos elementos o equipos o analizar las rutas óptimas de evacuación y tiempos de salida disponibles y requeridos.

Figura 3.40. Simulación dinámica de focos de fuego

Fuente: www.cype.com



- **Transmisión de información preventiva.** La metodología BIM permite agilizar procesos que tradicionalmente se efectúan en papel y con base en información habitualmente genérica. Poder navegar en 3D por un activo/gemelo digital y detenerse en la información existente en cada zona o equipo conlleva ventajas más que evidentes tal y como refleja las figuras 3.41 y 3.42.

Figura 3.41. Acceso a la información de los equipos de trabajo

Fuente: BIM for Construction Health and Safety (Mordue, Stefan y Finch, Roland 2014)

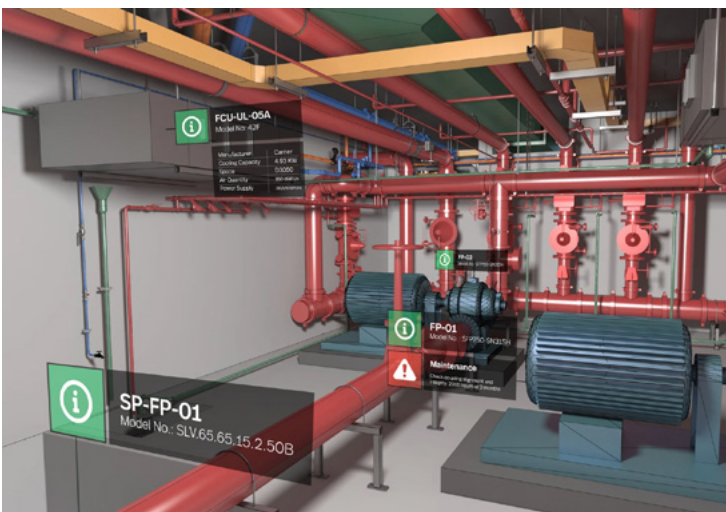
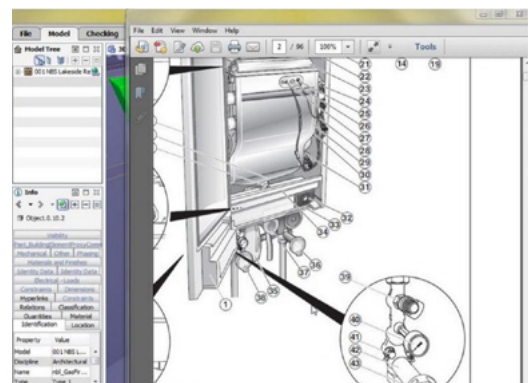


Figura 3.42. Acceso a la información mediante tecnología de Realidad Aumentada

Fuente: www.autodesk.com



Asimismo, como se observa en la figura 3.43, al modelo FM se pueden vincular tanto instrucciones o procedimientos de trabajo como recursos formativos y/o informativos (por ejemplo: vídeos o simulaciones con realidad virtual) que muestren cómo realizar las operaciones de manera segura.

Figura 3.43. Acceso a instrucciones para operaciones de O&M

Fuente: Allende Arquitectos S.A.P.



A este respecto, es importante tener en cuenta que, en función de la parametrización del activo, se puede contar con **modelos 3D que incorporen información realmente valiosa para aquellos que ejecuten el mantenimiento** como pueden ser: los pesos de los elementos o los equipos de izado que se pueden utilizar. Toda esta información figuraría ya vinculada en el modelo y facilitaría la identificación visual de zonas como espacios confinados, tuberías con fluidos peligrosos y otras situaciones similares.

Este proceso de información puede ser mejorado, además, mediante la **integración de técnicas de realidad aumentada** que permiten la visualización 3D con información vinculada desde dispositivos portátiles como se puede observar en la figura 3.44.

Figura 3.44. Visualización de riesgos y medidas preventivas mediante realidad aumentada

Fuente VT-Lab- instrucciones en paso a paso de una operación de mantenimiento industrial y Virtualprojects.build inclusión de información de riesgos vinculadas al modelo digital



- **Acceso a información sobre las condiciones reales del activo mediante su gemelo digital integrado.** Una última funcionalidad de BIM para mejorar los procesos de prevención en la etapa de O&M se centra en las ventajas que puede suponer conocer las condiciones reales del activo en cada momento. Para ello, se puede pasar del gemelo digital descriptivo al gemelo digital integrado mediante la colocación de sensores que monitoricen las condiciones del activo y se pueda llegar a disponer de un gemelo digital interconectado al activo real. Todo ello, puede facilitar **conocer en tiempo real las condiciones físicas de un determinado espacio** (por ejemplo: la concentración de oxígeno o de agentes nocivos y la temperatura en un espacio confinado estado de ocupación del activo... antes de acceder al mismo) o, en el caso de llegar a monitorizar con sensores determinados equipamientos de seguridad de las instalaciones (por ejemplo: enclavamientos o protecciones), **recibir avisos sobre la eventual retirada de los mismos**.

Adicionalmente, en relación con la gestión de los riesgos generados por la concurrencia de distintas empresas y/o trabajadores por cuenta propia, las oportunidades que esta metodología ofrece son extrapolables a las ya enumeradas en la etapa de construcción. Puesto que ya han sido detalladas suficientemente en dicha etapa, no se ahondará en estas cuestiones en este punto.

3.6. Etapa de REHABILITACIÓN Y CAMBIO DE USO: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.

AGENTES IMPLICADOS

- | | | |
|---------------------------------|------------------|----------------|
| › Promotor / Titular del activo | › Contratista | › Mantenedores |
| › Coordinador SSE | › Subcontratista | › Projectista |
| › Coordinador de SPP | › Operadores | |

3.6.1. Rehabilitación y cambio de uso: aspectos relevantes.

A lo largo del ciclo de vida de una construcción es muy probable que se vea sometida a trabajos de rehabilitación o de modificación para habilitar nuevos usos. Habrá que valorar si estas tareas son una obra de construcción para determinar la normativa de aplicación y, en caso de serlo, si requieren la elaboración de un proyecto (véanse los aspectos relevantes recogidos en el apartado 3.3.2.a)).

Asimismo, es habitual, en estas circunstancias, que se contrate a empresas o a personas trabajadoras por cuenta propia para que efectúen estas actuaciones y que la ejecución de las mismas pueda coincidir con el desarrollo de otras actividades. Por tanto, para una adecuada planificación será necesario conocer los riesgos del emplazamiento, los riesgos generados por la concurrencia y los de la actuación que se pretende llevar a cabo. En función de lo anterior, se determinarán las medidas preventivas apropiadas. Además, para garantizar que los trabajos se lleven a cabo con seguridad, el personal que los ejecute deberá contar con los medios materiales necesarios para cumplir con lo planificado y estar adecuadamente formado e informado.

3.6.2. Rehabilitación y cambio de uso: oportunidades de BIM para mejorar la integración de la PRL.

Partiendo de un modelo con información de las características del activo, de sus instalaciones y equipos, será posible conocer –desde las fases iniciales de la rehabilitación– las condiciones del mismo que resulten relevantes para la ejecución de los citados trabajos. Asimismo, la posibilidad de visualizar y simular determinadas actuaciones aporta numerosas ventajas en el ámbito de la

seguridad y salud. Muchas de ellas ya se han precisado en etapas anteriores por lo que, en este apartado, se enumerarán únicamente algunas de las más destacables y que son las siguientes:

- **Identificación de las condiciones de peligro.** Para que los trabajos se puedan planificar adecuadamente es necesario conocer las características del emplazamiento en el que se van a llevar a cabo, los equipos o instalaciones que pueden verse afectados o que deben ser tenidos en consideración. En relación con esto, del modelo digital se podrá obtener información gráfica y/o paramétrica relevante a este respecto. Por ejemplo, tal y como muestra la figura 3.45, se pueden medir las distancias y establecer la distancia de seguridad a instalaciones previamente identificadas

Figura 3.45. Medición y establecimiento de distancias de seguridad

Fuente: www.gruponadir.es

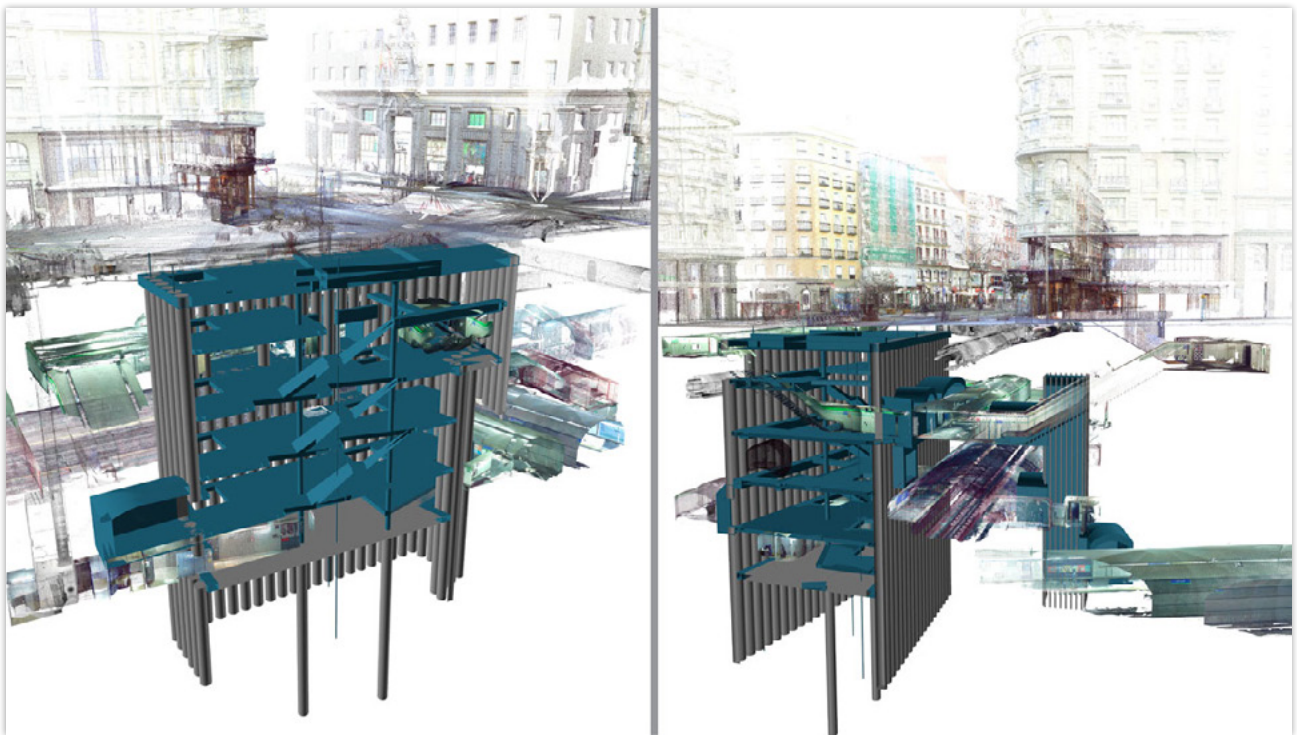
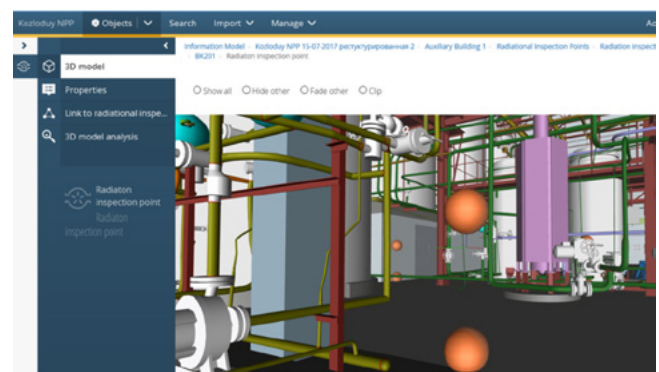


Figura 3.46. Comprobaciones de niveles de radiación estimados en las diferentes zonas de central nuclear

Fuente: www.neolant.com

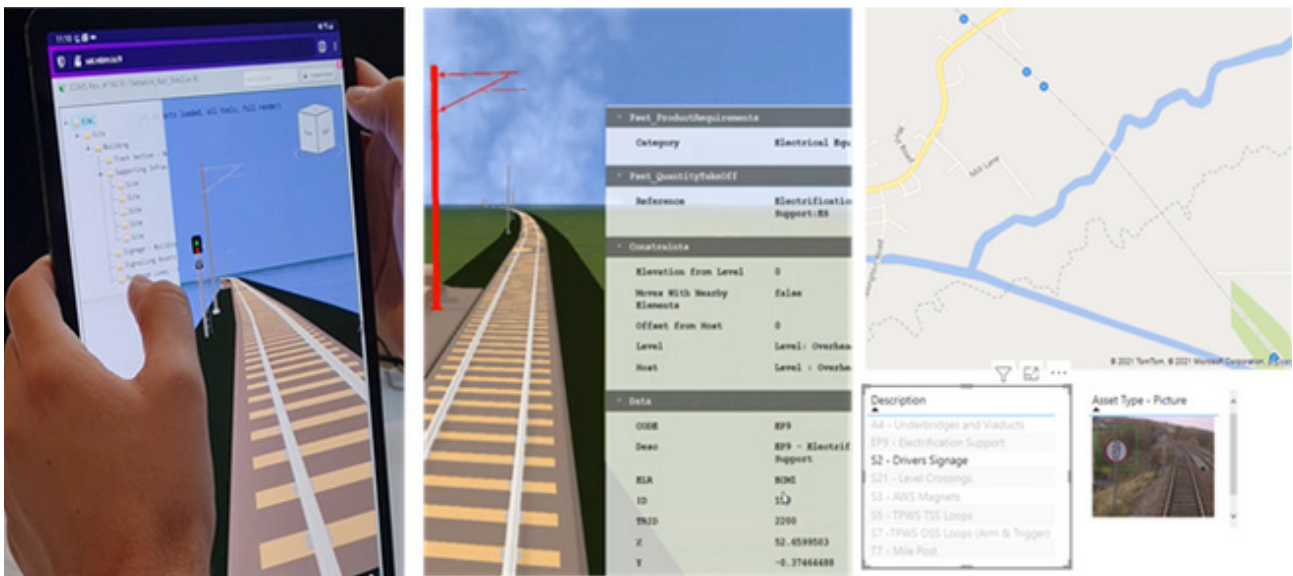
Otro ejemplo, representado en la figura 3.46, es la realización de comprobaciones geométricas para determinar zonas en las que la dosis de radiación estimada (por la distancia a los elementos que la emiten en el modelo) impiden realizar trabajo alguno, en el desarrollo de unas tareas de modificación en una central nuclear.



En la medida en la que el gemelo digital del activo esté conectado con la realidad, se dispondrá de información sobre aquello que se esté monitorizando. Por ejemplo, como se puede observar en la figura 3.47, se puede monitorizar una instalación eléctrica de tal manera que se compruebe, antes de la realización de la tarea, la desconexión de parte o de la totalidad de la instalación tanto en campo como en el modelo.

Figura 3.47. Información del sistema de regulación de la instalación eléctrica para conocer, en campo y sobre el modelo, el estado en tensión de cada elemento

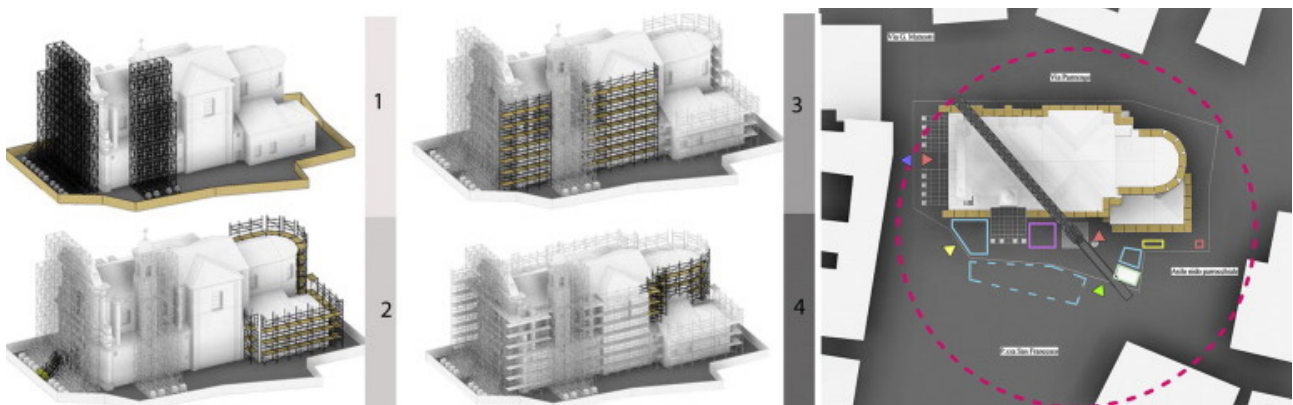
Fuente: www.neolant.com y www.bentley.com



- **Planificación de los trabajos.** La metodología BIM permite disponer de información gráfica de las distintas actuaciones que componen una tarea. Esto hace que sea posible visualizar cada una de las actuaciones y determinar, para cada una de ellas, de las medidas preventivas requeridas. A modo de ejemplo, en la figura 3.48 se recrea el análisis de afecciones entre las distintas actuaciones englobadas en los trabajos de rehabilitación de un edificio histórico.

Figura 3.48. Actuaciones de rehabilitación de edificio histórico-análisis de afecciones existentes en las mismas

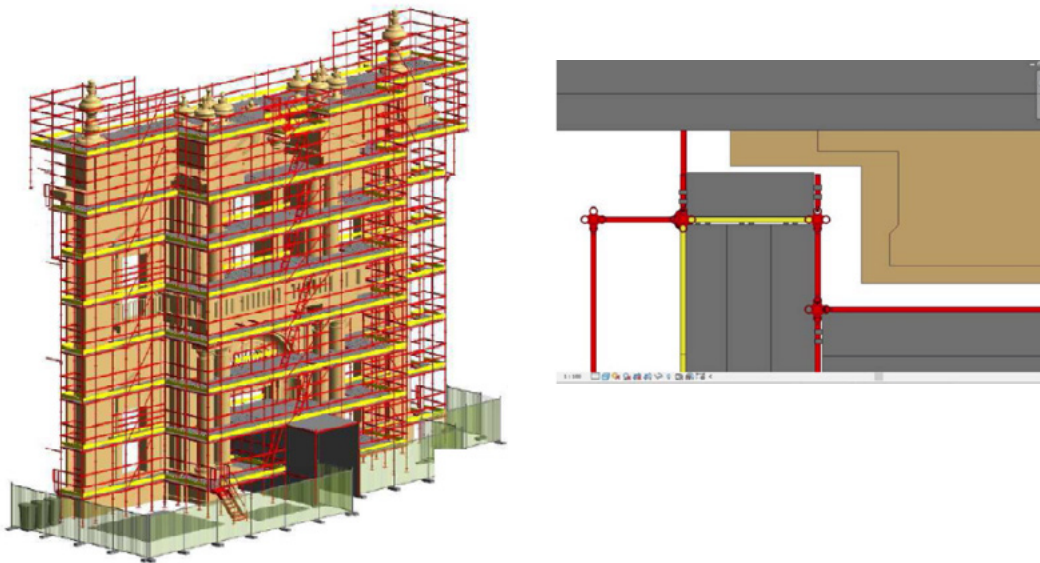
Fuente: *Towards the BIM implementation for historical building restoration sites* (Biagini et al., 2016)



En la misma línea, el modelo permitirá **detectar los obstáculos existentes para, por ejemplo, instalar los medios auxiliares** de forma que se comprueben previamente los espacios existentes en el activo real, evitando colisiones con el mismo (utilizando funcionalidades de *clash detection*). Por ejemplo: en el caso que se ilustra en la figura 3.49, se identifica la necesidad de hacer modificaciones en el montaje de un andamio gracias a la detección de interferencias y comprobación de espacios en planta —realizada sobre el modelo— para minimizar los riesgos por el espacio existente entre el andamio y la fachada.

**Figura 3.49. Rehabilitación Real Fábrica de Tabacos de Sevilla.
Detección de interferencias y comprobación de espacios**

Fuente: *Use of BIM technology as a safety tool in the restoration phase of buildings: case study of the façade of the "Royal Tobacco Factory" in Seville, Spain* (Cioni et al., 2019).



Las modificaciones sobre el activo que se deriven de la rehabilitación o cambio de uso quedarán incorporadas al modelo. De esta forma, la información estará actualizada y se corresponderá con la realidad de la construcción.

3.7. Etapa de DEMOLICIÓN: integración de la PRL utilizando la metodología BIM.

AGENTES IMPLICADOS

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| › Promotor / Titular del activo | › Contratista |
| › Coordinador SSE | › Subcontratista |
| › Projectista | › Coordinador de SPP |

3.7.1. Demolición: aspectos relevantes.

Para la planificar adecuadamente la demolición de una obra civil o de una edificación es fundamental conocer con detalle y con antelación el estado del activo, de sus instalaciones, componentes y materiales e, incluso, las condiciones de acceso, interferencias con servicios afectados o el propio estado del terreno en el que se ubica. Toda esta información será básica para poder identificar los peligros que puedan afectar a los posibles métodos de demolición y/o desmontaje a emplear. En

concreto, resulta de especial importancia tener conocimiento previo de la posible presencia de materiales tóxicos o peligrosos y de su estado. Por otra parte, un aspecto crítico, desde el punto de vista de la seguridad y salud, es el relacionado con la estabilidad de las estructuras e instalaciones según evolucionen los trabajos de demolición o la definición de métodos constructivos y sistemas de demolición manuales o mecanizados.

Para evitar la redundancia con lo recogido en apartados anteriores, se remite a los puntos 3.3 —cuando sea preceptivo elaborar un proyecto— y 3.4 de este documento en lo relativo al resto de aspectos relevantes que, en el ámbito preventivo, se deberían considerar en esta etapa.

3.7.2. Demolición: oportunidades de BIM para mejorar la integración de la PRL.

En esta etapa se podrá disponer de un modelo O&M o de un gemelo digital del activo que se quiere demoler o bien se podrá realizar una digitalización de este, como se ha indicado en punto 3.5 de este documento. Por tanto, se tendrá acceso a información acerca de sus características, materiales, estado, etc. que, al igual que en etapas anteriores, se podrá visualizar. Además, se podrán realizar simulaciones sobre el modelo 4D. Ya se han analizado en detalle las ventajas que esto implica para la integración de la prevención. Por este motivo, a continuación, se exponen únicamente las más notables incorporando ejemplos específicos para la demolición²⁷:

- **Caracterización y análisis de las condiciones del activo.** En relación con esto, se podrán categorizar los materiales asignándoles un color determinado, lo que facilitará la identificación de aquellos con ciertas características (por ejemplo: materiales nocivos como el amianto o en función de su capacidad portante). Tal como muestran las figuras 3.50, 3.51 y 3.52, es posible analizar previamente el estado de las instalaciones y sus características, así como determinar los servicios e instalaciones afectadas en cada fase de la demolición.

Figura 3.50. Afecciones por fase de la demolición de un puente de carretera

Fuente: www.avenirdeconstruction.com

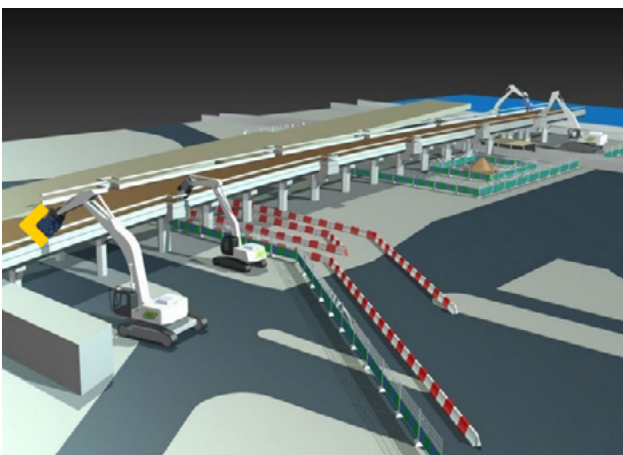
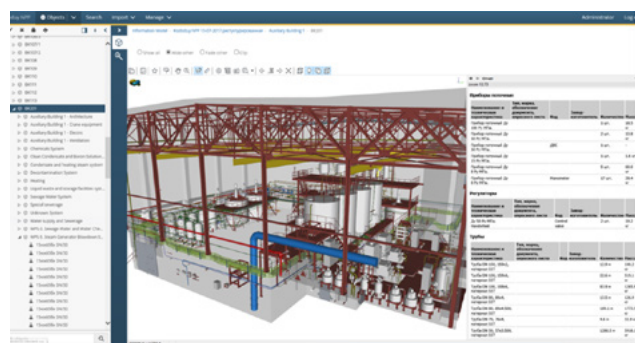


Figura 3.51. Desmantelamiento de la central nuclear de Kozloduy. Análisis previo del estado de las instalaciones

Fuente: www.neolant.com



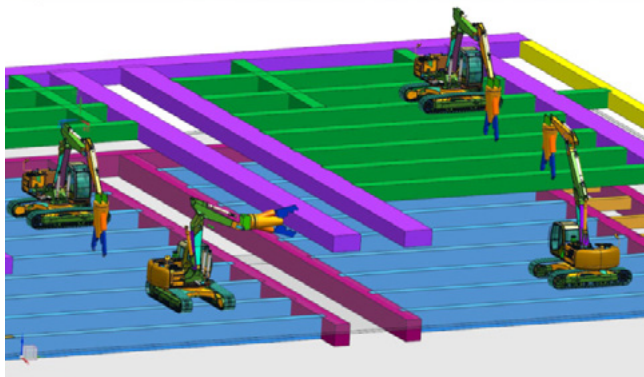
²⁷ Para evitar repetir cuestiones abordadas en puntos anteriores, se han incluido únicamente algunas de las funcionalidades de BIM para la etapa de demolición. No obstante, puede extrapolarse lo recogido en los apartados 3.3 y 3.4 de este estudio.

- **Valoración preventiva de los posibles métodos de demolición.** La visualización de los posibles métodos que se pueden utilizar para la demolición (uso de grúas, equipos mecanizados con cizallas, voladuras controladas, soluciones automatizadas descendentes o sistemas mixtos) facilitará enormemente la **valoración preventiva de cada una las alternativas** y la eliminación de riesgos desde el inicio.

Figura 3.52. Comparación de métodos alternativos de demolición: equipos mecanizados con cizallas vs. sistema automatizado de demolición descendente

Fuente: www.bimplus.co.uk (The Coleman Group)

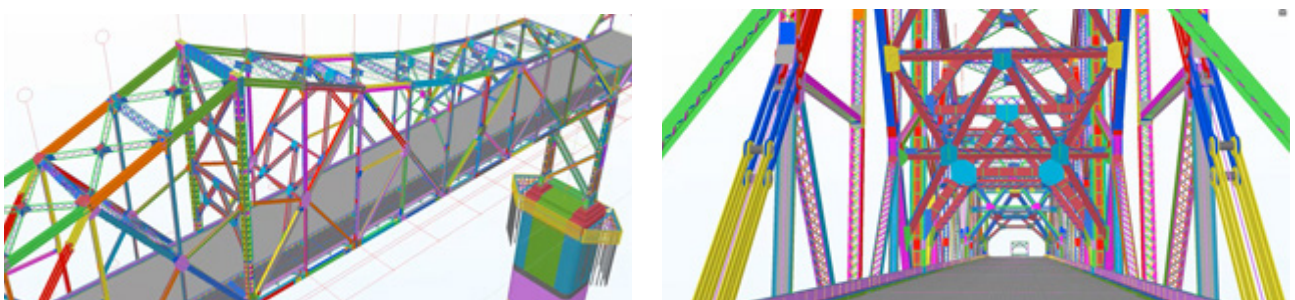
Fuente: Taisei-Seibu JV; Kajima Corporation



- **Planificación de los trabajos.** Partiendo de la información vinculada al modelo, se podrá determinar, por ejemplo, la resistencia y estabilidad de las distintas estructuras y componentes lo que servirá para identificar zonas no estables, detectar la necesidad de realizar apeos o apuntalar ciertas zonas para asegurar la estructura y, con base en esto, ordenar temporalmente las distintas actuaciones. En la figura 3.53 se muestra el modelo demolición de un puente con etiquetado con código de colores de los diferentes elementos de la celosía metálica para visualizar la secuencia de desmontaje seguro de la misma.

Figura 3.53. Secuencia de demolición de un puente-código de colores

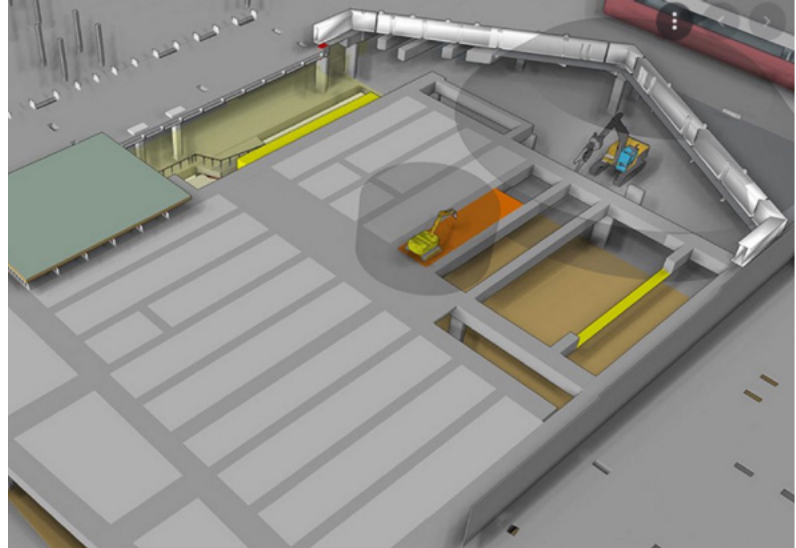
Fuente: San Francisco-Oakland Bay Bridge Seismic Safety Project coalition



**Figura 3.54. Estación New Street (UK).
Análisis de interferencias entre actuaciones de la demolición**

Fuente: proyecto Birmingham New Street station redevelopment

Referente a la planificación secuencial de los trabajos, la posibilidad de generar modelos 4D de las actuaciones de la demolición permite analizar las afecciones entre equipos y maquinaria pudiéndose, tal como se observa en la siguiente figura, comprobar sobre el propio modelo BIM los radios de acción y distancias de seguridad entre los diferentes equipos intervinientes en cada actuación.



En la figura 3.55 se ilustra otro ejemplo de las oportunidades de BIM en la planificación de los trabajos de demolición. En este caso, se realiza un análisis y simulación sobre el modelo digital de la voladura de edificios del Ayuntamiento de Leicester (UK), identificando previamente el área afectada, las zonas de paso restringido, zonas de control de paso y rutas de evacuación habilitadas.

**Figura 3.55. Voladura de edificios del Ayuntamiento de Leicester (UK).
Análisis previo y simulación sobre modelo digital**

Fuente: Leicester City Council.







EJEMPLO PRÁCTICO DE INTEGRACIÓN DE LA PRL A TRAVÉS DE METODOLOGÍA BIM

4. EJEMPLO PRÁCTICO DE INTEGRACIÓN DE LA PRL A TRAVÉS DE METODOLOGÍA BIM.

4.1. Descripción del supuesto analizado.

Con el presente supuesto práctico se pretende ilustrar las ventajas y oportunidades que el uso de la metodología BIM presenta a la hora de efectuar un seguimiento desde la concepción y el diseño de las diferentes propuestas, alternativas y soluciones. A diferencia de un proyecto gestionado de manera tradicional y compartimentada, **la generación de la información en BIM es progresiva, compartida y coordinada.**

En el caso práctico que se plantea, se parte de una parcela **que está ocupada en su mayor parte por una nave de construcción tradicional utilizada como matadero de cerdos** que cuenta con una zona de estabulado de los animales y varias líneas para el sacrificio y despiece de los animales. También cuenta con una **zona de cámaras de frío** para el almacenaje de productos cárnicos sobre la que se sitúa una **zona de oficinas** para la gestión administrativa del matadero.

Se prevé la construcción de nuevos establos que garanticen unas mejores condiciones para el ganado. Por ello, la propiedad plantea la inversión en una **nave anexa al matadero que sirva para el estabulado del ganado en unos establos que aumenten el bienestar de los animales, mejorando la iluminación, ventilación, etc.** Desde esta nave se accederá a la zona de sacrificio a través de una puerta nueva a ejecutar en el lateral del edificio existente.

La tipología del matadero existente es de **estructura tradicional de pilares y cerchas metálicas**. El cerramiento está constituido por **bloques de hormigón y la cubierta está conformada por panel tipo sándwich**, pero no se dispone de información precisa sobre sus características (resistencia, resbaladidad, pendiente, etc.).

Figura 4.1. Recreación del matadero y de la nave anexa de ampliación que se va a diseñar y construir

Fuente: elaboración propia



El cliente considera un aspecto especialmente relevante que en el **proyecto se integre la prevención de riesgos laborales** de tal manera que se facilite la gestión de la seguridad y salud a lo largo del ciclo de vida del matadero.

Además, quiere que en la fase de diseño se tenga en cuenta la seguridad de los trabajos posteriores que se lleven a cabo sobre la cubierta. Opta por contratar a un estudio de ingeniería que, a través de la implementación de metodología BIM, pueda facilitarle no solo la elaboración del proyecto sino también la **gestión de su ejecución y, posteriormente, la explotación y mantenimiento del matadero con una metodología simplificada.**

4.2. Integración de la PRL en la etapa de diseño utilizando BIM.

En la etapa de diseño, las actuaciones propuestas corresponden a las propias iniciativas del promotor y al equipo de diseño y elaboración del proyecto.

AGENTES IMPLICADOS

» Promotor / Titular del activo » Projectista » Coordinador de SPP

4.2.1. Análisis de alternativas de diseño: estructura in situ vs. prefabricada.

La primera decisión que debe ser valorada es relativa a la metodología constructiva. En este sentido, se plantean dos alternativas constructivas para la nueva nave de ampliación del matadero:

- **Solución tradicional.** Seguir la **tipología constructiva de la nave existente**, compuesta por estructura metálica, cerramiento de bloques de hormigón y cubierta inclinada tipo sándwich con un techo industrial.
- **Solución prefabricada.** Optar por una **estructura prefabricada de hormigón**, compuesta por pilares y vigas prefabricadas, **cerramiento compuesto por paneles prefabricados y cubierta plana ejecutada con placas alveolares pretensadas y capa de compresión de hormigón.**

En la elección de una u otra alternativa constructiva se tendrá en consideración tanto la seguridad en los trabajos de ejecución de la obra como en los trabajos que se realicen posteriormente sobre la cubierta. Además, el cliente desea una cubierta segura que facilite en un futuro el montaje de paneles fotovoltaicos para el consumo eléctrico del matadero, así como una vía de acceso segura a la cubierta existente.

Valoración preventiva de las alternativas constructivas. Inconvenientes detectados

Para realizar el análisis de las soluciones constructivas propuestas se efectúa una modelización en BIM y, a través de la visualización del modelo de ambas opciones, se detectan los siguientes inconvenientes desde el enfoque preventivo:

Figura 4.2. Paneles fotovoltaicos sobre cubiertas tipo sándwich

Fuente: www.depositphotos.com

- Se identifican limitaciones en las cubiertas tradicionales de paneles sándwich para el montaje de instalaciones pesadas en un futuro, así como para su posterior mantenimiento.
- Se identifica mayor probabilidad de rotura de la cubierta ligera frente a la solución prefabricada.
- Se identifican riesgos de caída en altura en trabajos en instalaciones en cubiertas inclinadas con aleros sin protección perimetral.



Figura 4.3. Estado final previsto de la nave y su ampliación

Fuente: elaboración propia

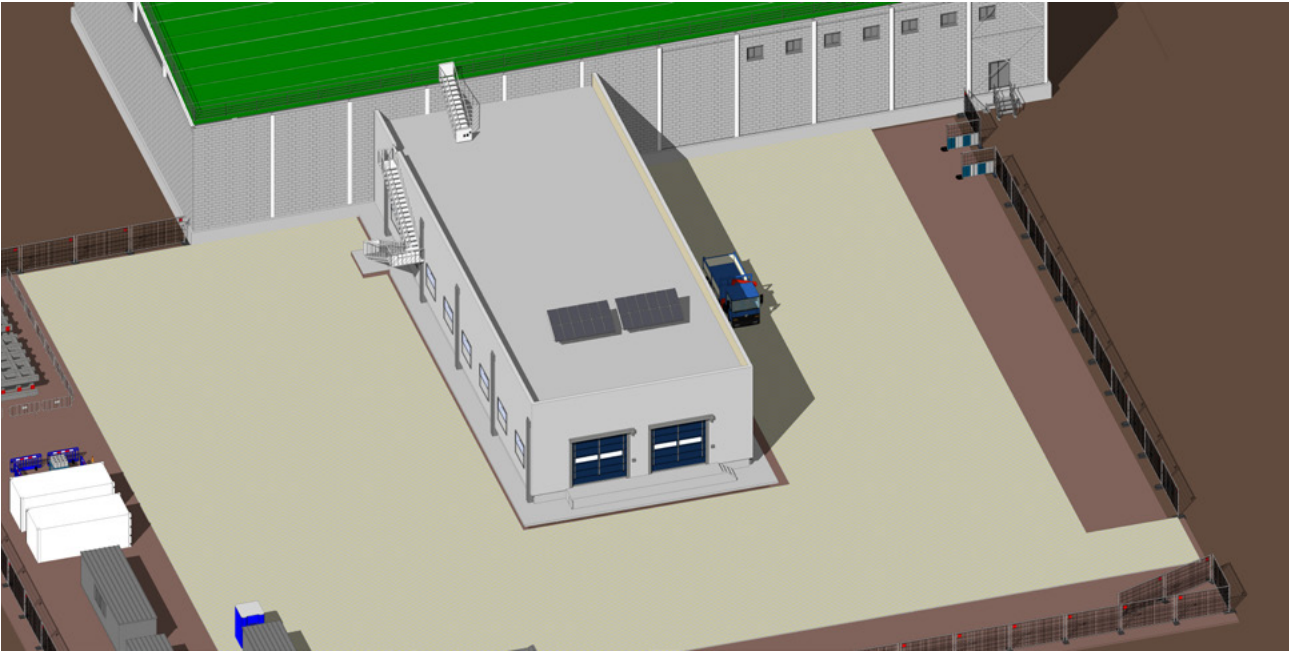


Figura 4.4. Recreación de paneles fotovoltaicos sobre la cubierta plana

Fuente: www.sunballast.it





Figura 4.5. Mejoras de diseño en estructuras de soporte de los paneles para el montaje y mantenimiento que no son posibles en las cubiertas tipo sándwich. Este tipo de estructuras ofrecen mayor seguridad frente a las acciones del viento sobre los paneles solares.

Fuente: www.depositphotos.com.

Para realizar la valoración técnica de las alternativas constructivas propuestas, la metodología BIM facilita y agiliza tanto la estimación de costes como los plazos de ejecución y la identificación de los riesgos de ambas alternativas. El resultado de este análisis técnico, y considerando las mejoras preventivas que supone, hace que el equipo de diseño se decante por una **solución prefabricada de hormigón ya que se evitan parte de los riesgos detectados al ejecutar la estructura tradicional y mejora la accesibilidad y operaciones de mantenimiento de la nave.**

Oportunidades de BIM

- Los modelos BIM facilitan el análisis de las alternativas constructivas, la valoración de las consideraciones de seguridad y salud del proyecto en la fase de toma de decisiones de diseño, así como la obtención de información de la cubierta de la nave existente.

4.2.2. Identificación de riesgos y medidas preventivas en la construcción de la solución prefabricada.

Tras optar por la solución prefabricada el equipo de diseño analiza, desde un punto de vista preventivo y haciendo uso de la metodología BIM, las principales actividades constructivas de la ampliación recreando, a un nivel de desarrollo bajo, las principales secuencias de ejecución.

Dicha modelización facilita y agiliza la identificación y el análisis de riesgos tanto del entorno como de las principales actividades constructivas a ejecutar.

4.2.2.a) Recopilación y gestión de la información de riesgos del entorno.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

Se realiza un levantamiento digital que se integra en el modelo BIM, modelándose la estructura de la nave existente y las instalaciones en la zona de conexión con la nueva nave. Esto permite un análisis de las interferencias entre los trabajos de explotación del matadero y los trabajos de la obra de conexión entre las dos naves. Esta información quedará vinculada al modelo BIM de forma que se mejorará, además, la información que el titular de la instalación y promotor (en este caso) está obligado a facilitar en relación con los riesgos del centro de trabajo.

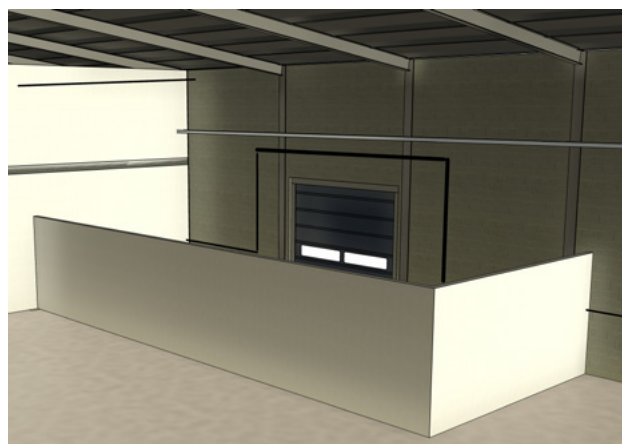
Figura 4.6. Información vinculada en el modelo en relación con las instalaciones existentes

Fuente: elaboración propia



Figura 4.7. Información ya incluida en el modelo de cerramiento y separación de la zona de operación del edificio existente y la obra de conexión con la nueva nave

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- **Mejora de la modelización en el diseño y planificación de los procedimientos constructivos para evitar riesgos en su origen mediante la aplicación de soluciones en el diseño.**

4.2.2.b) Análisis preventivo de las principales actividades constructivas.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

La modelización de las principales actividades constructivas facilita la detección de los riesgos y la eliminación de los riesgos evitables mediante soluciones de diseño.

En lo que respecta al montaje de paneles y pórticos, la modelización en BIM permite, entre otros, establecer la mejor ubicación de la grúa y su interacción con otros equipos, como plataformas elevadoras y camiones de suministro de los elementos prefabricados, lo que redundará en beneficio de la seguridad al evitar los riesgos derivados de las interferencias. La modelización de la secuencia de montaje permite garantizar la definición de protecciones para cada una de las fases.

Para ello, con el objeto de garantizar una cubierta segura, se ha previsto que el cerramiento de la nave mediante paneles prefabricados se prolongue 1 metro de altura por encima del plano de la cubierta, de forma que el peto perimetral constituya la protección definitiva contra el riesgo de caída a distinto nivel sin necesitar la implantación de protecciones colectivas provisionales. Esto permite que, tanto para el montaje de las prelasas como para la posterior colocación del mallazo y el hormigonado de la capa de compresión, se disponga de una protección colectiva de borde definitiva en la zona de trabajo y no sea necesaria la implantación de protecciones colectivas o individuales adicionales frente al riesgo de caída de altura por el borde o perímetro de la nave.

Figura 4.8. Fase de montaje de paneles prefabricados de cerramiento. El modelo BIM integra las fichas de montaje con los puntos y forma segura de estroboje de los elementos prefabricados

Fuente: elaboración propia

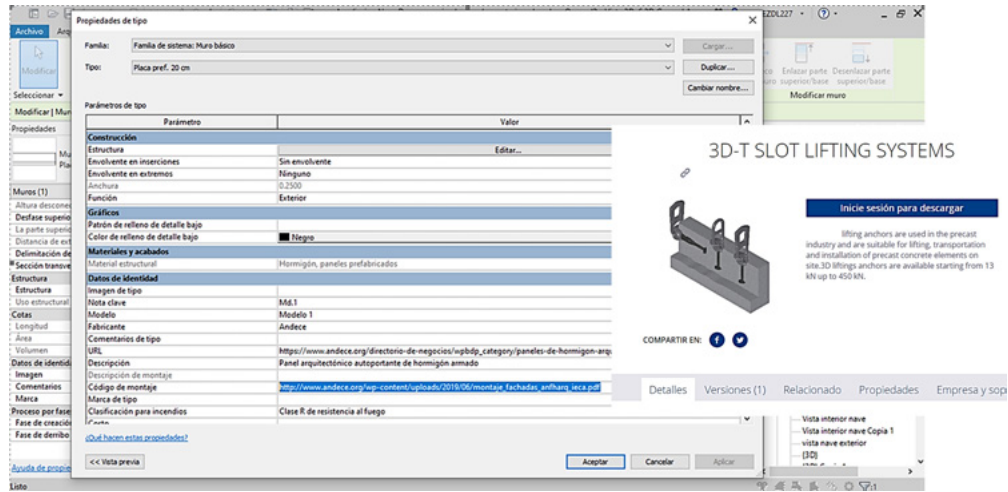


Figura 4.9. Fase de Montaje de placas alveolares (prelisa) para cubierta transitable: las placas alveolares integran sistemas provisionales de protección de borde (barandillas) que se colocan antes del izado para la fase de montaje. De esta forma el frente de trabajo está siempre protegido para los montadores en el momento de aproximación para el ajuste de las prelasas

Fuente: elaboración propia

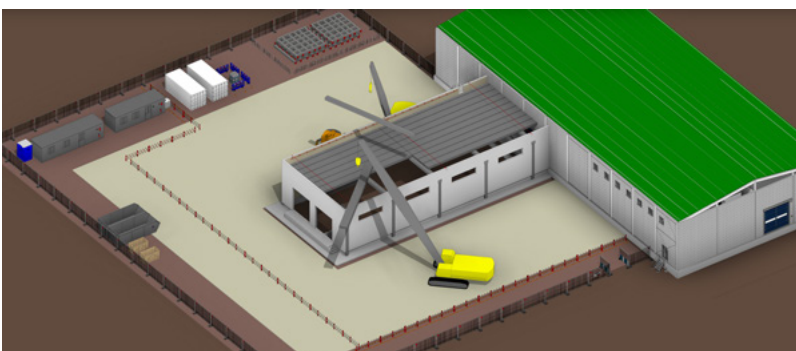


Figura 4.10. Montaje de placas alveolares con barandillas integradas desde el suelo para el montaje.
Ficha de procedimiento de montaje incluida en modelo BIM para la fase de construcción.
Este sistema permite la protección en avance durante el montaje

Fuente: elaboración propia



Fuente: Rubiera Predisa.

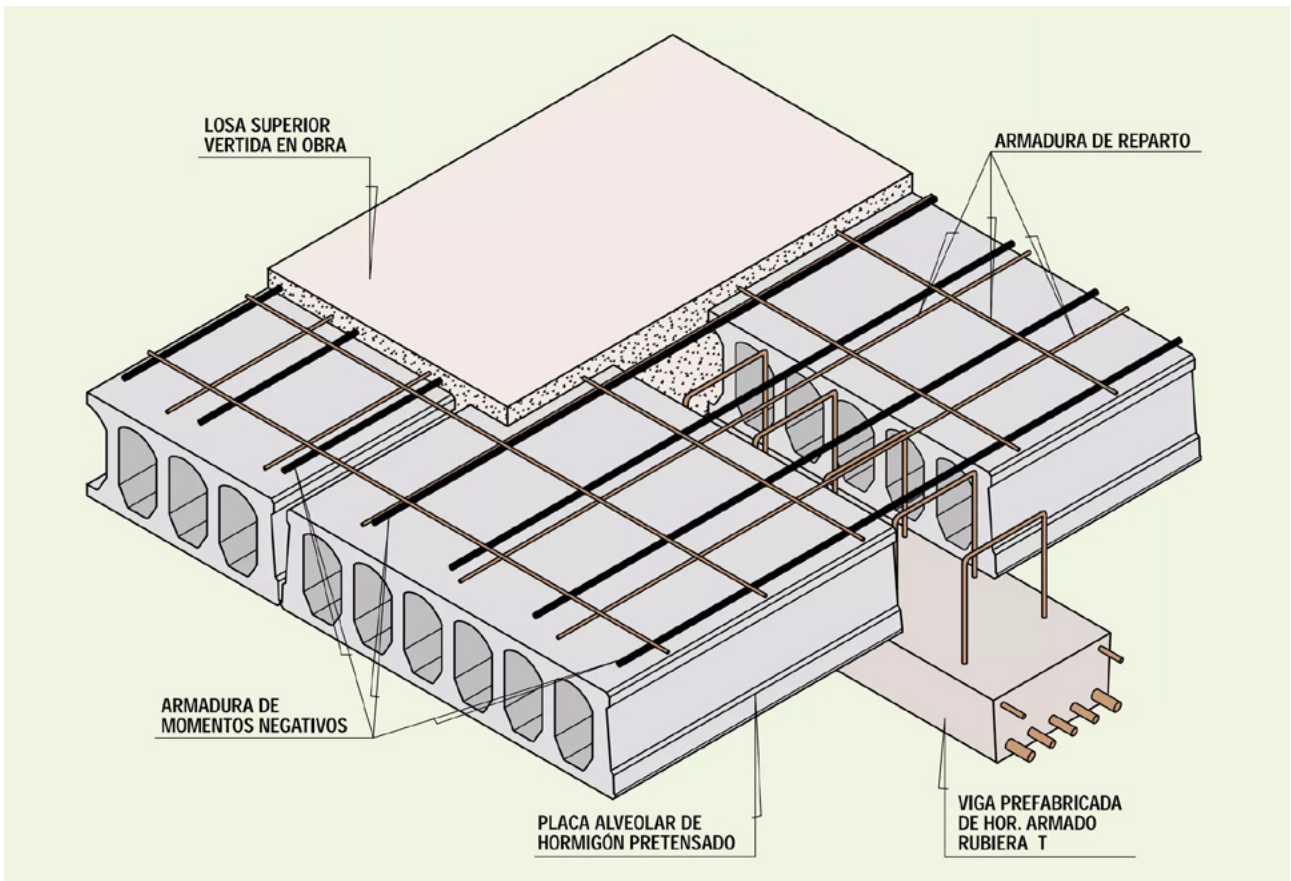
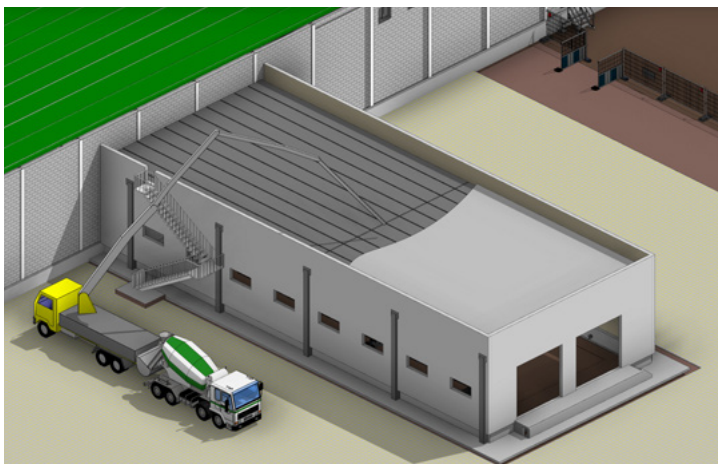


Figura 4.11. El diseño de los paneles de fachada sobrepasando 1 metro de altura sobre la cubierta garantiza una protección eficaz durante la ejecución de los trabajos, así como en su mantenimiento y posibles actuaciones futuras

Fuente: elaboración propia



Mediante la solución adoptada en fase de diseño, durante el hormigonado de la cubierta ya se dispone de una protección colectiva definitiva contra el riesgo de caída a distinto nivel en el perímetro de la cubierta y, por lo tanto, no está previsto implantar otras protecciones colectivas y/o individuales provisionales frente a dicho riesgo para la ejecución de las posteriores fases de trabajo; impermeabilización, instalación de paneles solares, etc.

Por último, en la planificación temporal de actividades constructivas se anticipa la disposición de la escalera de acceso definitiva. De esta forma se posibilita el acceso a la cubierta en la etapa de construcción tanto para el montaje de las placas alveolares como para la ejecución de la losa de compresión. Esto se materializa en la metodología BIM a través de la asignación de las unidades de obra a una fase constructiva.

Oportunidades de BIM

- Mejora de la modelización en el diseño de los procedimientos constructivos para evitar riesgos en origen adoptando soluciones en la fase de diseño.

4.2.3. Gestión de riesgos de operación y mantenimiento.

4.2.3.a) Análisis preventivo del acceso a la cubierta existente desde la cubierta de la nueva nave.

De cara a analizar los trabajos a realizar en la cubierta existente, y dado que no se contaba con información específica de la misma se recopiló información de esta (características de los materiales y estructuras, estado de estos, pendiente, resbaladidad, etc.) y se incluyeron en el modelo BIM. Así, se pudo estimar la resistencia de la cubierta, concluyendo que esta era lo suficientemente resistente para soportar el peso de dos trabajadores más sus herramientas, y que la pendiente no era superior al 6%.

Otra de las inquietudes planteada por el promotor es la de aprovechar la nueva nave para disponer desde esta de un acceso seguro a la cubierta existente para los **trabajos de reparaciones, limpieza o mantenimiento**.

Así, con la nueva ampliación se diseña una escalera definitiva de acceso a la cubierta de la nueva nave y, desde esta, se prevé la instalación de una escalera de escalones para salvar el desnivel entre la nueva cubierta y la cubierta de la nave existente, que se encuentra en una altura superior. Esta escalera se equipa con una puerta con enclavamiento remoto para evitar accesos a la cubierta no controlados.

En el proyecto también se incluye la instalación de protecciones de borde definitivas en la cubierta existente a fin de proteger todo el perímetro contra riesgos de caída de altura en trabajos de mantenimiento, limpieza o reparaciones.

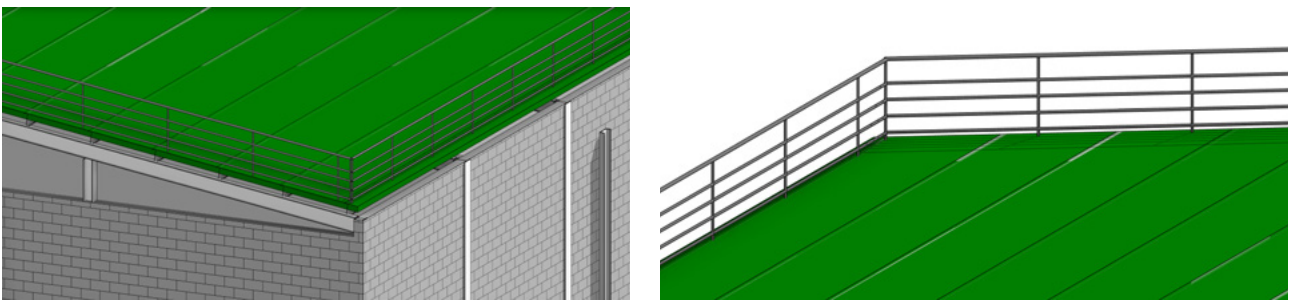
Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

En el modelo BIM se integra la información respecto a las protecciones colectivas definitivas en el perímetro de la cubierta existente, incluyendo sus características e instrucciones y, en fase de construcción, se integra en el modelo BIM el certificado de montaje de estas protecciones colectivas.

Respecto a la información de la cubierta existente, se incluye en el modelo BIM la resistencia estimada, superior al peso de dos personas y sus herramientas, la pendiente y resbaladidad.

La modelización de las principales actividades constructivas facilita la detección de los riesgos y la eliminación de los riesgos evitables mediante soluciones de diseño.

Figura 4.12. Vista en el modelo BIM de las nuevas barandillas instaladas en la cubierta existente.
En la información integrada en el modelo BIM se incluye tanto la información del manual de instalación de las barandillas como las características de estas



Fuente: www.alsolu.com

BARANDILLA SOBRE CHAPA DE ACERO EN SECO

REFERENCIAS

Modelos	Recto	Inclinado 30°	Curvo	Plegable
Pasamanos + Intermedios	VBA-D2	VBA-I2	VBA-C2	VBA-R2
Pasamanos + Intermedios + rodapié	VBA-D3	VBA-I3	VBA-C3	VBA-R3

DIMENSIONES

Dimensiones de los montantes :

INSTRUCCIONES DE MONTAJE (cf. Notice)

Para garantizar la estanqueidad, la fijación de la barandilla sobre chapa de acero se realiza mediante tornillos, arandelas estancas y arandelas cónicas.

El tornillo Drillnox DBS2
A diferencia de un tornillo autopercutor estándar donde el material resultante de la perforación se elimina en forma de virutas, el tornillo empuja el material hacia el interior formando un rebordó, lo que aumenta su longitud de implantación. El par de perforación del tornillo es elevado, incluso en espesores pequeños (> 5 Nm en comparación con la media de 1,5 Nm de los tornillos autopercutores clásicos).

Resistencia características de ensamblaje del tornillo	Plancha de material S100 Espesor 0,2 mm	Plancha de material S100 Espesor 0,75 mm
Valor PK en cizallamiento con 1 tornillo DBS2 (en daN)	209	277
Valor PK ante el arrancamiento con 1 tornillo DBS2 (en daN)	142	188
Carga de rotura ante el arrancamiento de la pletina con 8 tornillos DBS2 (en daN)	737	949

OPCIONAL

Limitador de par DB CONTROL 5 Nm

Para una fijación óptima sobre chapa de acero recomendamos utilizar este cabezal limitador de par para restringir la perforación durante la fijación. Como está específicamente diseñado para lograr el par de apriete de 5 Nm que caracteriza al tornillo, la fijación sobre chapa de acero se realiza con mayor suavidad. Si se respeta el procedimiento limitador de par + tornillo Drillnox DBS2 con arandela estanca y arandela cónica, la estanqueidad se optimiza y el montaje es simple y rápido:

- 1 remache = 3 operaciones (perforación, estanqueidad y engarce)
- 1 tornillo autopercutor = 1 operación de atornillado.

Lista de componentes:

- 1: Tornillo A2 e6 x 27, ø14
- 2: Arandela estanca
- 3: Placa de fijación
- 4: Arandela cónica estanca

Diagramas de montaje:

Antes de la fijación: Diagrama que muestra el tornillo (1) y la arandela estanca (2) sobre la chapa de acero.

Después de la fijación: Diagrama que muestra la placa de fijación (3) y la arandela cónica estanca (4) ya instaladas sobre la chapa de acero.

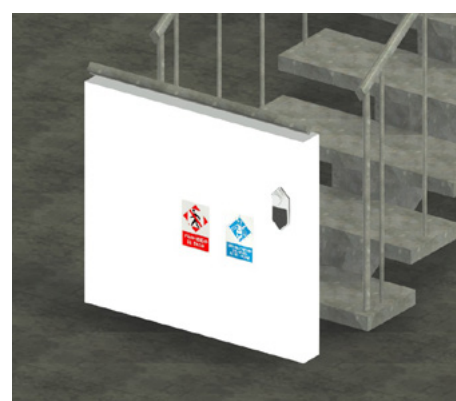
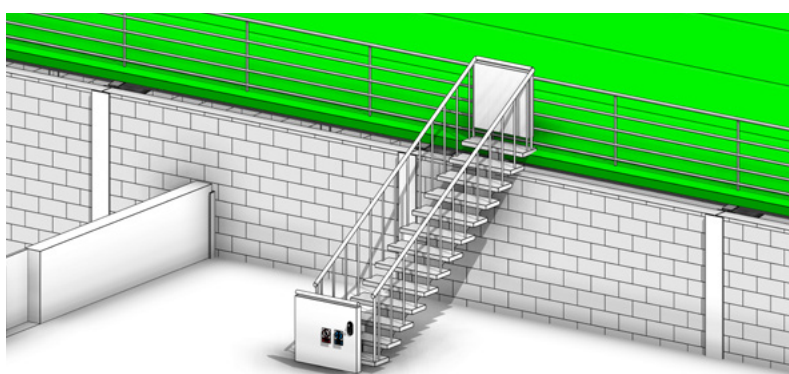
Figura 4.13. Escalera de acceso a la cubierta de la nueva nave de estabulado

Fuente: elaboración propia



Figura 4.14. Escalera de acceso entre las cubiertas de la nueva nave y la existente y puerta de acceso con cierre y apertura remoto

Fuente: elaboración propia



4.2.3.b) Diseño seguro e información de riesgos de la instalación para operación y mantenimiento.

Problemática detectada

Los trabajadores de la nave y el personal de mantenimiento necesitan disponer de un **sistema que les permita acceder, de forma eficaz y segura, a las compuertas** y a los elementos operativos de las tolvas y bebederos de cada corral.

Propuesta de soluciones

Se han diseñado unas **plataformas metálicas elevadas, que serán pasillos de circulación para personas, con escaleras de acceso y barandillas**. Los recorridos de los animales de acceso a cada corral, y de estos al matadero, se realizan a nivel de suelo, reduciendo estas plataformas el contacto con los animales.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

Mediante el modelo BIM es posible identificar y valorar las diferentes opciones de diseño de dichas plataformas.

- Se puede representar gráficamente su diseño de acuerdo con la normativa y su integración en la nave, respetando las características de seguridad de la estructura.
- En la representación, se puede proceder a la localización de los mandos de accionamiento de apertura de puertas, facilitando así el análisis ergonómico de la posición a adoptar.
- Puede vincularse la información en materia de seguridad y salud a los diferentes elementos del modelo, como puede ser la información de seguridad de los mandos del cuadro proporcionada por el fabricante.

Figura 4.15. Desde la propia pasarela se accede a los elementos de accionamiento de cada punto de operación para la apertura de las compuertas, el suministro automatizado de comida y agua o las inspecciones sanitarias. Esto facilita la información para la operación y el mantenimiento de estos dispositivos, integrando en el modelo BIM tanto las instrucciones de uso de los equipos como las fichas de seguridad

Fuente: elaboración propia



4.3. Integración de la PRL en la etapa de construcción utilizando BIM.

En la fase de construcción las actuaciones propuestas corresponden a las **alternativas del contratista respecto a mejoras del modelo y a la consecuente adaptación de los procedimientos constructivos**. También se utiliza para **ampliar información de la instalación en el modelo para las fases posteriores de Operación y Mantenimiento**.

AGENTES IMPLICADOS

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| › Promotor / Titular del activo | › Personas encargadas de la CAE |
| › Contratista | › Mantenedores |
| › Subcontratista | |
| › Coordinador SSE | |

4.3.1. Definición de procedimientos con secuencias de ejecución por fases.

Problemática detectada

La metodología habitual de diseño y planificación del proceso constructivo normalmente presenta un retraso respecto al diseño del elemento o instalación a construir; es decir, primero se diseña el

“qué se va a construir” y posteriormente se diseña el “cómo se va a construir”. Esto da lugar a que, **en la fase de diseño, de forma general, no se tengan en consideración los riesgos que puedan existir durante la ejecución** y, además, dificulta que durante la fase de planificación previa a la construcción el contratista pueda analizar y presentar alternativas al proceso constructivo.

Además, en esta forma tradicional de trabajar resulta complejo elaborar y comprender la metodología y la planificación de los trabajos, recurriéndose a software de planificación en los que resulta bastante complicado modificar, e incluso visualizar las interacciones e interferencias de los planificado.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

La aplicación de la metodología BIM y el uso de software específico **permiten asignar cada una de las unidades de obra a una fase**. Esto mejora no solo el control de lo ejecutado y de lo pendiente de ejecutar, sino que también permite cambiar unidades de obra de fase y ver cómo afecta el cambio a la ejecución del proyecto. Desde el punto de vista preventivo **facilita**, tanto por parte del contratista como del coordinador en materia de seguridad y salud en fase de ejecución, **el control de las interferencias al ser ejecutadas las diferentes unidades de obra**.

Se puede **vincular información a los elementos del modelo BIM**, como puede ser información de procedimientos constructivos, las instrucciones de montaje del fabricante, etc., además de la información de riesgos y medidas preventivas.

Esta información puede **servir de base para la planificación en materia de seguridad y salud y la adecuación de contenidos del Plan de Seguridad y Salud en el trabajo a elaborar por el contratista**, por ejemplo, asignando información relativa al plan de izado y sus requisitos a las vigas prefabricadas a colocar.

Figura 4.16. Asignación de las unidades de obra a fases constructivas en el modelo

Fuente: elaboración propia

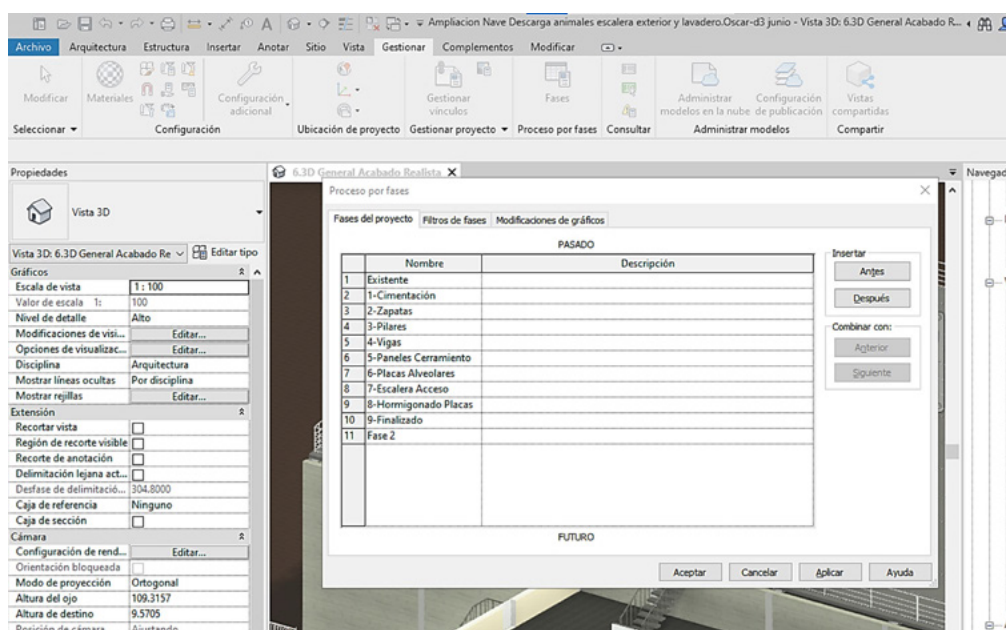
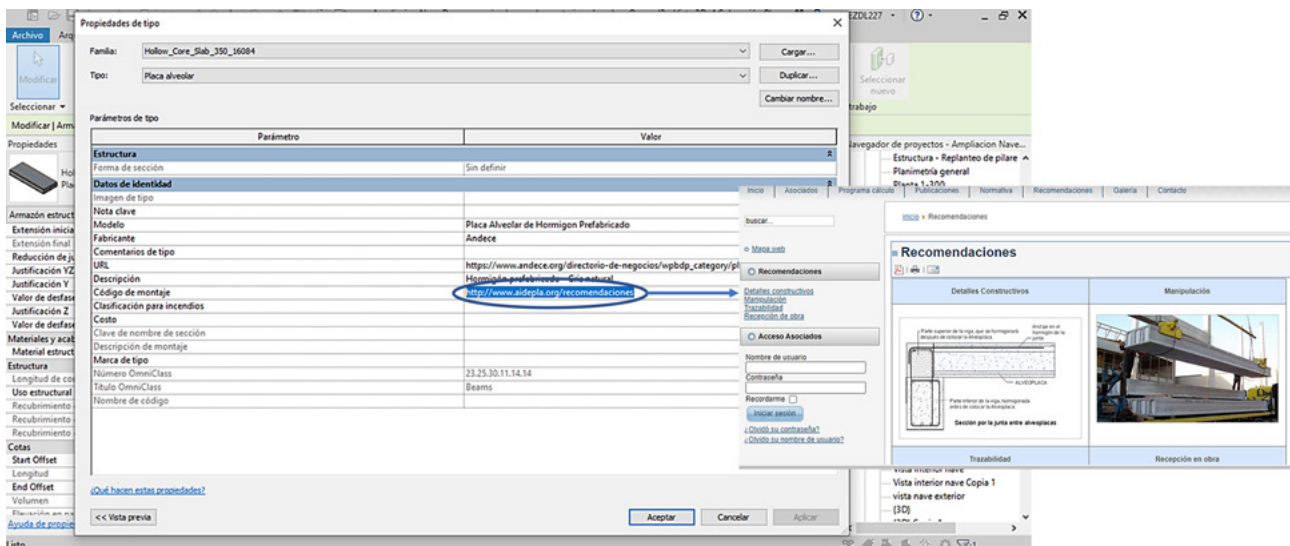
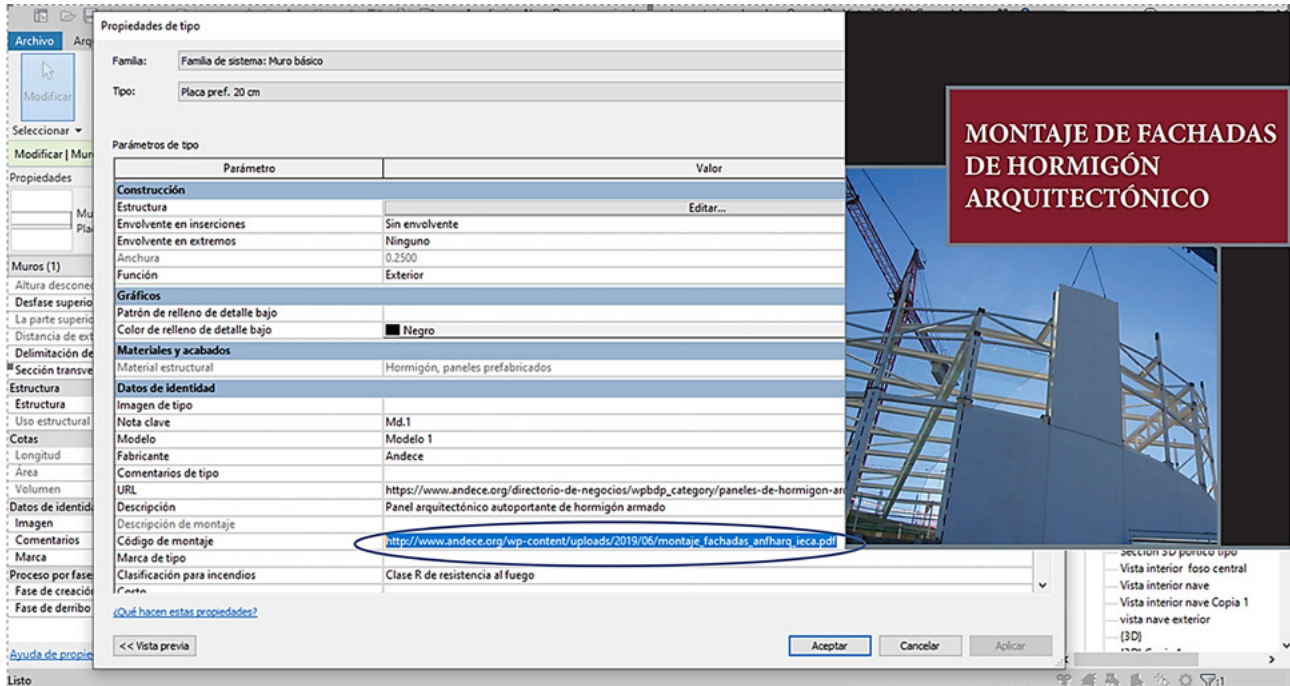


Figura 4.17. Asignación en el modelo de información relativa a instrucciones y procedimientos de montaje. A la hora de elaborar los procedimientos de trabajo seguro por parte del contratista el modelo permite incluir de forma precisa tanto la información de fichas y procedimientos de montaje de los fabricantes y suministradores de los prefabricados, como las fichas de seguridad de equipos y de productos

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- Facilita el proceso de integración de la PRL en la fase de construcción al incorporar información de los procesos constructivos, relativa a los materiales, instrucciones de montaje, etc.
- Facilita la adecuación del contenido del Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo con las actividades que se van a llevar a cabo en la obra y su revisión.
- Facilita el análisis de interferencias entre unidades de obra.

4.3.2. Demolición de la parte de muro en la conexión con la nave existente. Retirada previa de las instalaciones y separación de actividades de la zona de afección en la nave actual.

Problemática detectada

La conexión entre la nave de ampliación y el matadero existente se realiza mediante una nueva puerta, para cuyo montaje se requiere la apertura de un hueco en la actual nave.

Asimismo, y de forma previa a realizar la demolición de fachada y ejecución de la puerta de conexión, es necesario desviar parte de las instalaciones existentes.

Estos trabajos provocan importantes interacciones entre el titular del matadero y el contratista de la obra de ampliación, por lo que se deberán coordinar eficazmente. En este sentido, la labor de las personas encargadas de la CAE será fundamental.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

Al igual que en la parte de diseño, la digitalización de la estructura del matadero e instalaciones existentes con software específico permite un mejor análisis y control de las interferencias, facilitando tanto la planificación como una coordinación de actividades más eficaz.

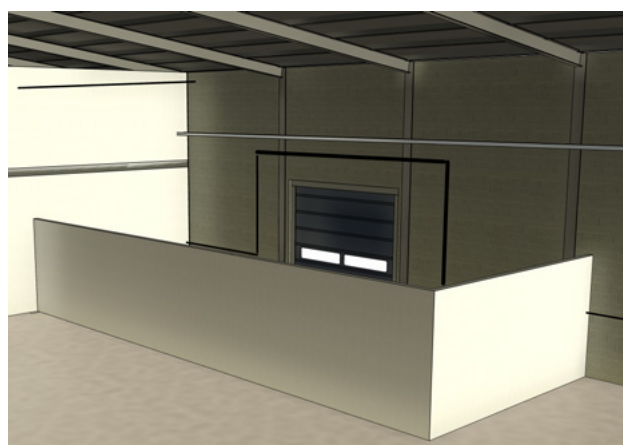
Figura 4.18. Información en el modelo de instalaciones existentes y actuaciones a llevar a cabo

Fuente: elaboración propia



Figura 4.19. Información en el modelo de cerramiento y separación de la zona de operación del edificio existente y la obra de conexión con la nueva nave

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- Facilita el proceso del análisis de riesgos debidos a interferencias con el entorno y con otras actividades en el centro de trabajo.
- Integra en el modelo la información proporcionada por el titular, así como cualquier otra información relevante.
- Facilita y mejora la documentación derivada del cumplimiento de la coordinación de actividades empresariales.
- Facilita la comprobación de la eficacia de las medidas preventivas implantadas.

4.3.3. Planificación de la posición de las grúas.

Problemática detectada

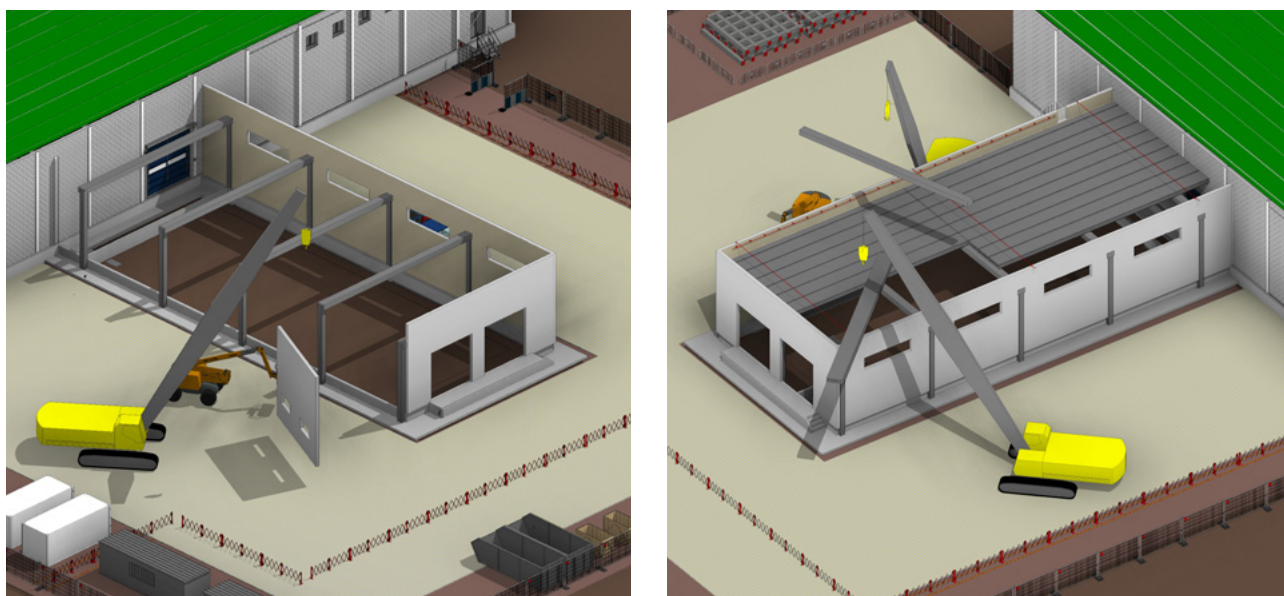
Las operaciones de **manipulación de productos prefabricados pesados** con grúas y equipos de elevación de cargas son peligrosas por sí mismas, pero si se hacen sobre terrenos que tienen una insuficiente capacidad portante, los riesgos pueden ser muy elevados ya que pueden dar lugar a accidentes con consecuencias muy graves. Por este motivo, es importante la definición de los **planes de izado con grúas, detallando tanto la maniobra como el lugar donde se realizará, especificando las empresas que estarán presentes durante la maniobra e indicando qué operarios pueden permanecer en el área de trabajo y su función**. Estos aspectos deben formar parte de un procedimiento de trabajo seguro que **debe estar incluido en los Planes de Seguridad y Salud**.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

Con la aplicación de la metodología BIM y los softwares específicos, se incluye en este caso, y como ejemplo, la información respecto a las **posiciones donde se ubicarán las grúas, así como sobre la capacidad portante del terreno**, a fin de evitar hundimientos de este que puedan dar lugar a incidentes o accidentes graves. La zona donde deben apoyar las grúas se identifica en otro color. Facilita la comprobación de la eficacia de las medidas preventivas implantadas.

Figura 4.20. En color crema se ha definido la zona del montaje de los prefabricados en la que pueden apoyar las grúas y los equipos de elevación de cargas. Esta zona tiene asignada en el modelo una capacidad portante en kg/cm^2 que se debe comprobar previamente en obra

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- Facilita la transmisión y comprensión de la información en obra de cuáles son las zonas autorizadas para posicionar las grúas empleadas en el montaje de los elementos prefabricados pesados, facilitando y mejorando tanto la elaboración gráfica como la comprensión de los procedimientos de izado de grúas.

4.4. Integración de la PRL en la etapa de operación utilizando BIM.

Haciendo uso del modelo BIM y el software específico se puede dar traslado en la etapa de operación y mantenimiento de toda la información recopilada en las etapas anteriores, facilitándose así tanto el intercambio de información en la coordinación de actividades empresariales como el conocimiento por parte de las personas responsables y las personas trabajadoras de las condiciones de seguridad del entorno de trabajo del activo.

AGENTES IMPLICADOS

- › Titular del activo
- › Operadores
- › Mantenedores

4.4.1. Información del empresario titular para la operación de la instalación.

Problemática detectada

El empresario titular debe facilitar la formación, información e instrucciones necesarias para el manejo seguro de las instalaciones y de los equipos de trabajo.

Propuesta de soluciones

Como ya se indicó en la etapa de diseño, las plataformas metálicas elevadas que constituyen los pasillos de circulación, y que disponen de escaleras de acceso y barandillas, permiten que la operación de apertura, guiado de animales, e incluso aporte de comida y bebida, se realicen desde la propia plataforma que, al encontrarse en un nivel superior, **evita las interferencias con el ganado y su circulación.**

A través de la metodología BIM esta mejora de diseño se complementa con la **información que, incluida en el modelo, se puede utilizar para formar e informar** a las personas trabajadoras del matadero.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

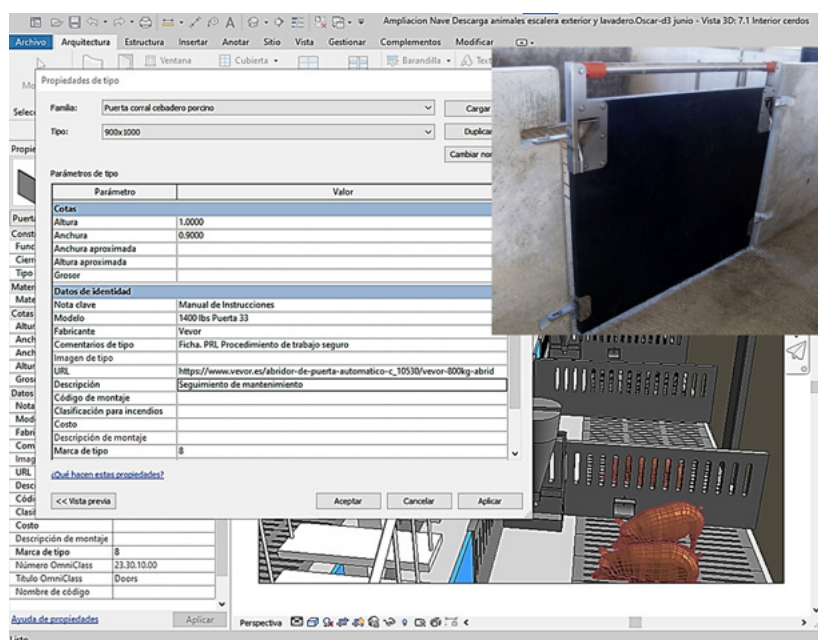
A través de la metodología BIM y el software específico es posible representar visualmente la integración de las pasarelas en la nave y su diseño de acuerdo con la normativa.

En dicha representación se pueden **localizar e identificar los accionamientos de aperturas de puertas y de las instalaciones** de agua, electricidad y suministro de comida.

Se puede **vincular a los elementos del modelo BIM información e instrucciones** de los diferentes sistemas, incluyendo la información que en materia de seguridad y salud el empresario ha de facilitar a las personas trabajadoras.

Figura 4.21. Ejemplo de información vinculada al elemento puertas en el modelo BIM. Se incluyen, entre otros, los manuales de instrucciones de los equipos, las fichas de datos de seguridad de los productos químicos y la información e instrucciones para la operación de los sistemas de llenado de agua y de silos de comida

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- La información e instrucciones que se debe transmitir a las personas trabajadoras para realizar los trabajos de operación se puede obtener del propio modelo BIM.

4.4.2. Información y coordinación del empresario titular con las empresas mantenedoras.

Problemática detectada

El empresario titular debe facilitar a las empresas mantenedoras la información e instrucciones necesarias sobre los riesgos propios del centro de trabajo que puedan afectar a las actividades que realizan, las medidas preventivas a dichos riesgos y las medidas en caso de emergencia del centro de trabajo. El traslado de esta información, así como de la documentación asociada, no siempre se realiza de forma adecuada.

Propuesta de soluciones

A través de la metodología BIM se puede **incluir y compartir con las empresas mantenedoras la información del modelo de forma sencilla e intuitiva**, además de permitir su registro y trazabilidad.

Actuaciones y áreas de mejoras con BIM

Durante la etapa de diseño y haciendo uso de software específico, **se incluye en el modelo BIM la información referente a la estimación de la resistencia de la cubierta**. Posteriormente, en la etapa de operación y mantenimiento se comparte el modelo BIM con las empresas que vayan a realizar trabajos en la cubierta para garantizar el traslado de la información de su resistencia.

Durante la etapa de construcción y haciendo uso de software específico, **se integran en el modelo BIM tanto las características de la nueva barandilla instaladas como su manual**. Posteriormente, en la etapa de operación y mantenimiento se comparte el modelo BIM con las empresas que vayan a realizar trabajos en la cubierta para garantizar el traslado de la información de las características de esta.

Se puede integrar en el modelo BIM la información referente a las inspecciones y revisiones que se realizan a las barandillas.

Figura 4.22. Integración en el modelo BIM de la información referente a las características e instrucciones de la barandilla instalada en la cubierta existente

Fuente: www.alsolu.com

FICHA DE PRODUCTO
VECTACO®
> PROTECCIÓN COLECTIVA - BARANDILLAS
> BARANDILLA SOBRE CHAPA DE ACERO EN SECO
Ref.: VBA

BARANDILLA SOBRE CHAPA DE ACERO EN SECO

NORMA
EN ISO 14122-3



UTILIZACIÓN (cf. Instrucciones técnicas)

La barandilla sobre chapa de acero en seco VECTACO® es un sistema de protección colectiva anticaladas diseñado para proteger el operario durante el trabajo en cubiertas metálicas cuya pendiente es inferior a 10°. Es adecuado para fijarlo sobre cubiertas de chapa que no tengan recortes ni tratamientos de impermeabilización. Se sujeta en las ondas de la chapa de acero, siempre que la distancia entre sus ejes sea de 250 o 333 mm y que el espesor mínimo de la chapa sea 0,31/00 (consulten para otras dimensiones).

VENTAJAS

- > Su manipulación es fácil: los pasamanos e intermedios rebajados de 3 mm son fácilmente ensamblables y, además, se entregan en lotes de 7 unidades.
- > Estanqueidad óptima: mediante la combinación tornillo Drillnox DBS2 + arandela cónica + cabezal limitador de par DB CONTROL 5 Nm (opcionales).
- > Plazo de entrega corto: disponible en el almacén.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Material: aluminio
- Acabado: en bruto, anodizado o termolacado bajo pedido (colores RAL: ■ ■ ■ ■ ■)
- Ángulos de pasamanos e intermedios regulables
- Tubos con extremos rebajados ensamblables
- Montajes disponibles: rectos, inclinados, curvos o plegables
- Ensamblaje mediante tornillos HG
- Distancia máxima entre los ejes de los montantes: o 1500 mm sobre ondas de 250 mm o 1666 mm sobre ondas de 333 mm

FICHA DE PRODUCTO
> PROTECCIÓN COLECTIVA - BARANDILLAS
> BARANDILLA SOBRE CHAPA DE ACERO EN SECO
Ref.: VBA


BARANDILLA SOBRE CHAPA DE ACERO EN SECO

REFERENCIAS

Modelos	Recto	Inclinado 30°	Curvo	Plegable
Pasamanos + Intermedios	VBA-D2	VBA-I2	VBA-C2	VBA-P2
Pasamanos + Intermedios + rodapié	VBA-D3	VBA-I3	VBA-C3	VBA-P3

DIMENSIONES

Dimensiones de los montantes:



INSTRUCCIONES DE MONTAJE (cf. Notice)

Para garantizar la estanqueidad, la fijación de la barandilla sobre chapa de acero se realiza mediante tornillos Drillnox DBS2, arandelas estancas y arandelas cónicas.

- 1: Tornillo Drillnox DBS2 A2 ø6 x 27,
- 2: Arandela Vulca Inox ø14
- 3: Placa de fijación
- 4: Arandela cónica estanca

El tornillo Drillnox DBS2

A diferencia de un tornillo autoperforante estándar donde el material resultante de la perforación se elimina en forma de virutas, el tornillo Drillnox empuja el material hacia el interior formando un rebordo, lo que aumenta su longitud de implantación. El par de perforación del tornillo DBS2 es elevado, incluso en espesores pequeños (> 5 Nm en comparación con la media de 1,5 Nm de los tornillos autoperforantes clásicos).

Resistencia característica de ensamblaje del tornillo Drillnox DBS2	Par de apriete 5 Nm	Par de apriete 10 Nm
Valor PK en ensamblaje con 1 tornillo DBS2 (en daN)	269	277
Valor PK ante el ensamblaje con 1 tornillo DBS2 (en daN)	142	185
Carga de rotura ante el ensamblaje con 1 tornillo DBS2 (en daN)	737	949

OPCIONAL

Limitador de par DB CONTROL 5 Nm

Para una fijación óptima sobre chapa de acero recomendamos utilizar este cabezal limitador de par para restringir la perforación durante la fijación. Como está específicamente diseñado para lograr el par de apriete de 5 Nm que caracteriza al tornillo Drillnox DBS2, la fijación sobre chapa de acero se realiza con mayor suavidad. Si se respeta el procedimiento limitador de par + tornillo Drillnox DBS2 con arandela estanca y arandela cónica, la estanqueidad se optimiza y el montaje es simple y rápido:

- 1 remache = 3 operaciones (perforación, estanqueidad y engarce)
- 1 tornillo autoperforante = 1 operación de atornillado.

Oportunidades de BIM

- En el modelo de BIM se integra la información de la instalación, información que se traslada junto con el modelo por parte del empresario titular a las empresas y personas trabajadoras que acceden al centro de trabajo para realizar el mantenimiento o reparación de la instalación y de los equipos.

4.5. Integración de la PRL en la etapa de demolición utilizando BIM.

En la etapa de desmantelamiento y demolición, para la que sería necesario un proyecto específico, la metodología BIM puede aportar información de los materiales, instalaciones y elementos, información que se debe tener en cuenta para el desmantelamiento o su demolición, e incluso para el tratamiento y reciclaje de los residuos.

AGENTES IMPLICADOS

- › Promotor
- › Contratista
- › Coordinador SSE
- › Proyectista
- › Subcontratista

4.5.1. Información de los elementos prefabricados de la nave para su desmontaje.

Problemática detectada

Los procesos tanto de desmantelamiento y demolición de estructuras como de gestión de residuos presentan importantes riesgos, cuyo origen en muchos casos se encuentra en el **desconocimiento, por un lado, de los materiales a demoler y, por otro lado, de las instalaciones presentes**, así como por la vinculación de los elementos entre sí.

El proceso de desmantelamiento y demolición puede complicarse si en el entorno donde se realiza existen otras actividades simultáneas, en cuyo caso, y **debido a las interferencias entre estas actividades y la propia demolición, se pueden agravar los riesgos**.

Propuesta de soluciones

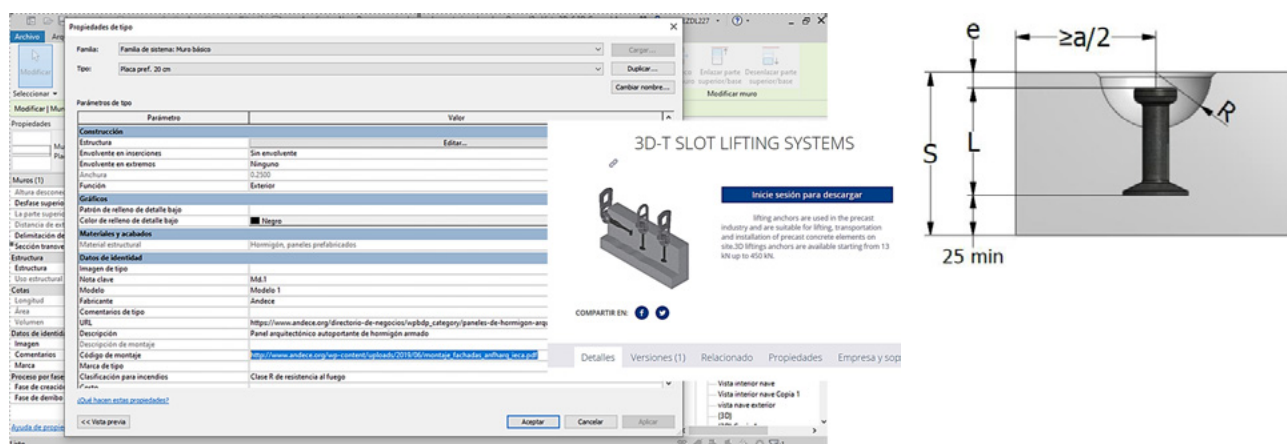
Como la mayor parte de las estructuras de la nueva construcción son prefabricadas, se ha pensado en realizar un diseño que permita su **desmontaje con procedimientos similares, y en orden inverso, a los realizados en la fase de montaje**.

El modelo BIM integra la información de los materiales, de la situación y características de las instalaciones presentes y de los manuales de instrucciones, tanto para el montaje como para el desmontaje de los elementos prefabricados y las instalaciones.

En el modelo BIM se incluye la información de los elementos, pernos y puntos de anclaje de los elementos prefabricados utilizados para su montaje, y que también servirán para su desmontaje. Esto facilitará el diseño del proyecto de demolición, ya que, al disponer a priori del modelo BIM, se cuenta con la información de los elementos, instalaciones y materiales tanto para la elaboración del proyecto como para la elaboración del Estudio de Seguridad y Salud.

Figura 4.23. Información en el modelo BIM referente a los pernos integrados en los elementos prefabricados, así como los útiles y procedimientos para el enganche e izado. Esta información es utilizada tanto para el diseño del procedimiento de montaje como del procedimiento de desmontaje

Fuente: elaboración propia



Oportunidades de BIM

- Integración en el modelo BIM de información requerida en la elaboración del proyecto de desmantelamiento y demolición.



CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES.

La metodología BIM puede ayudar a integrar la prevención de riesgos laborales a lo largo del ciclo de vida de una construcción siempre y cuando se utilice con este fin. Es decir, cuando se definan los objetivos y usos que se quiere dar al modelo, la seguridad y salud en el trabajo debe formar parte de los mismos. Asimismo, referente a la información que se va a ir incorporando al modelo, esta debería cubrir las necesidades que, en el ámbito preventivo, pudieran tener los agentes intervinientes durante las distintas etapas de la vida del elemento construido.

Partiendo de lo anterior y tras lo analizado en el presente documento, se concluye que las características inherentes a esta metodología pueden facilitar la integración de la prevención fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Al tratarse de un método colaborativo, se promueve la participación temprana de los distintos agentes que intervendrán en las diferentes etapas del ciclo de vida de la construcción. Esto hace posible que, desde el inicio, se tengan en consideración todos los condicionantes.
- Se articula alrededor de un único modelo. Disponer de un entorno común de datos como una única fuente de información fiable permanentemente actualizada supone una ventaja para lograr una comunicación y coordinación eficaces
- La posibilidad de visualizar en 3D la información contenida en el modelo facilita la identificación de las condiciones de peligro y una toma de decisiones más eficaces. Por ejemplo, permite valorar las implicaciones preventivas —tanto para la ejecución de la obra como para las actuaciones que deban realizarse con posterioridad sobre la construcción— de las principales alternativas constructivas existentes. De la misma manera, es posible identificar interferencias entre distintas actuaciones sobre el modelo y buscar soluciones antes de ejecutar una determinada actividad.
- Incorporando tecnologías de VR, se pueden realizar simulaciones que pueden resultar muy útiles, por ejemplo, para que las personas que vayan a llevar a cabo una tarea conozcan el procedimiento de trabajo que se debe seguir.
- Permite la creación de un sistema virtual de control de las condiciones de trabajo con registros en el centro de trabajo asociados al modelo y la incorporación de alertas que avisen de condiciones de trabajo especialmente peligrosas.
- El enfoque de ciclo de vida evolutivo de esta metodología —que persigue que la información del modelo coincida con la realidad del activo— supone una mejora sustancial en lo relativo al acceso y a la transmisión de la información y puede facilitar la coordinación entre los agentes intervinientes. Así, por ejemplo, se podrían planificar más eficazmente las actuaciones posteriores al contar con información sobre el estado o las condiciones de los elementos o instalaciones sobre las que se va a intervenir.
- Disponer de modelos 3D y 4D que ilustran el estado y desarrollo del activo y su vinculación con VR y AR facilita tanto que la formación e información proporcionada sea más realista y ajustada a los riesgos y medidas preventivas específicas a adoptar como su comprensión por parte de los destinatarios.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

6. GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Activo. Edificación, instalación, planta o infraestructura una vez construida.

As-Built. Registro del proyecto tal como se ha construido realmente en el lugar, incluyendo los cambios de diseño ocurridos en el curso de la obra.

BEP, Plan de Ejecución BIM. Documento que se debe elaborar en cada proyecto en donde se definen los **objetivos y usos de BIM** que se emplearán en el proyecto, los flujos de trabajo y los procesos derivados, los entregables en nombre y formato, los elementos que se deberán de modelar y que se deberán de incluir en los entregables y el nivel de definición que deberán de tener estos elementos. También se describen y asignan las responsabilidades de los diferentes agentes, la forma de compartir la información y el control de calidad que se tendrá que implementar. En definitiva, el PEB es el libro de instrucciones de la utilización del BIM en un proyecto y pretende responder de una forma clara, precisa y ordenadas a las preguntas más esenciales que se hacen los agentes para poder trabajar de la forma más eficiente posible.

BIM. Building Information Modeling. Conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual.

BIM Manager. Responsable de la implantación y uso de la metodología BIM que, en nombre del cliente y en cualquier etapa del ciclo de vida del activo, coordina la generación de la información y del modelaje del Proyecto BIM en colaboración con todos los agentes implicados.

CDE. Entorno Común de Datos. Es un espacio digital común abierto al que pueden acceder todos los miembros de un equipo de trabajo para compartir información de un proyecto.

Ciclo de vida. Conjunto de etapas o fases por las que atraviesa una edificación o infraestructura desde la idea y definición de sus requerimientos hasta el fin de su uso²⁸.

Cliente. Actor responsable de iniciar un proyecto y/o aprobar las entregas.

COBie. Construction Operations Building Information Exchange. Formato internacional abierto de intercambio de información de activos en todo el ciclo de vida de los mismos.

Detección de colisiones, Clash detection. Proceso de detección de interferencias entre los modelos de las diferentes especialidades, permitiendo eliminar los conflictos entre ellos.

Entregable BIM. Documentos e información necesaria para la obtención de modelos BIM, así como todos los productos resultantes del uso de herramientas y flujos de trabajo BIM.

EIR. Exchange Information Requirements. Requerimiento de Intercambio de Información. Cláusulas precontractuales que definen la información a entregar, y las normas y procesos que deberían aplicar el equipo redactor y/o contratista como parte del proceso de entrega de un proyecto en metodología BIM. En España está incluido en el Pliego Condiciones Técnicas (Fuente. es.BIM).

Gemelo digital. Representación virtual de un producto o activo real que permite simular el comportamiento de éste. Dichos gemelos pueden evolucionar desde niveles “descriptivos” en los que el gemelo reproduce visualmente el activo y la información vinculada al mismo hasta niveles “informativos” o “integrados”, en los que la aplicación de sensores y tecnología IoT (internet de las cosas) se logra la conexión y sincronización entre el sistema real y el gemelo digital.

Internet de las Cosas (IoT). Procesos y sistemas que permiten conectar elementos físicos con internet que pueden ser interconectados para intercambiar la información. Su aplicación a BIM permite monitorizar mediante sensores el activo real de forma que transfiera información en tiempo real al modelo BIM (gemelo digital integrado).

IFC. Formato de datos definido en la Norma UNE-EN ISO 16739-2016. Se trata de un esquema de datos en el que se pueden definir los diferentes elementos que se generan a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Estos elementos, relacionados entre sí y dispuestos de forma jerárquica, incluyen entidades con geometría o sin ella y quedan caracterizados por una serie de propiedades y atributos.

LOI. Nivel de Información. Grados de profundidad que puede tener tanto la información geométrica como no geométrica contenida en las entidades de los modelos BIM.

LOD. Nivel de desarrollo del modelo BIM. Es una medida de la cantidad y la calidad de la información gráfica y paramétrica de cada elemento del modelo. Indica el nivel de desarrollo que tiene el modelo BIM del activo. Generalmente, se establecen los niveles LOD 100/200/300/400/500 según se avanza en la definición gráfica y de información. Para poder afirmar que un proyecto ha llegado un determinado nivel LOD es necesario que todos sus elementos hayan alcanzado dicho nivel.

Modelo o Modelo BIM. Modelo tridimensional con información vinculada que va evolucionando en las diferentes etapas del ciclo de vida del activo (Modelo de Diseño, Modelo de Ejecución, Modelo As Built y Modelo FM).

Modelo As Built. Modelo BIM correspondiente al activo tal y como ha sido construido.

Modelo FM. Modelo de gestión del activo o Facility Management.

Modelo BIM federado. Modelo creado a partir de información contenida en modelos 3D relacionados con disciplinas específicas (Arquitectura, Estructura, Instalaciones, etc.) que se integran en una sola vista para crear un único modelo digital completo del activo, multidisciplinar y global.

Modelo FM (Facility Management). Evolución del Modelo BIM orientado a la fase de operación explotación y mantenimiento del activo. Sus usos suelen estar destinados a la gestión de instalaciones, información y gestión de las operaciones de mantenimiento, gestión de espacios, etc.

Nivel de detalle. El Nivel de Detalle se refiere a la cantidad de detalle incluida en el elemento del modelo.

OpenBIM. Enfoque universal para el diseño, ejecución y operación de edificios basados en estándares y flujos de trabajo abiertos. OpenBIM es una iniciativa de buildingSMART.

Proyecto BIM. Término que se utiliza para hacer referencia a un proyecto constructivo gestionado, en sus diferentes etapas, mediante metodología BIM.

Uso BIM. Método de aplicación de BIM durante el ciclo de vida de un activo para alcanzar uno o más objetivos específicos



BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA.

Non-binding guide to good practice for understanding and implementing Directive 92/57/EEC. Construction Sites. In. Luxembourg: Publications Office of the European Union: European Union, 2011.

Seguridad y salud en la construcción. Repertorio de recomendaciones prácticas de la OIT. In. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2022.

ABUBAKAR, M., Y. M. IBRAHIM, D. KADO AND K. BALA 2014. Contractors' Perception of the Factors Affecting Building Information Modelling (BIM) Adoption in the Nigerian Construction Industry. In *Proceedings of the Computing in Civil and Building Engineering, 6/23/14 12:00 AM* | Orlando, Florida, United States 2014, P.D. RAYMOND ISSA ISSA, P.E. AND P.D. IAN FLOOD eds., 167-178.

AZHAR, S. AND A. BEHRINGER. A BIM-based Approach for Communicating and Implementing a Construction Site Safety Plan. In P.D.T.U.O.S.M. TULLIO SULBARAN. *49th ASC International Proceedings of the Annual Conference*. California Polytechnic State University (Cal Poly) in San Luis Obispo, California: Associated Schools of Construction, 2013.

CHAN, C. Barriers of implementing BIM in construction industry from the designers' perspective: A Hong Kong experience. *Journal of System and Management Sciences*, 2014, 4(2), 24-40.

DEACON, C. AND J. SMALLWOOD 2016. The Effect of the Integration of Design, Procurement, and Construction Relative to Health and Safety (H&S). In *Proceedings of the International Seeds Conference*, Leeds Beckett University 2016.

GAMBATESE, J. A., T. M. TOOLE AND D. A. ABOWITZ Owner Perceptions of Barriers to Prevention through Design Diffusion. *Journal of Construction Engineering and Management*, Jul 2017, 143(7), 9.

GAMBATESE JOHN, A., M. BEHM AND W. HINZE JIMMIE Viability of Designing for Construction Worker Safety. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2005/09/01 2005, 131(9), 1029-1036.

GHOSH, SOMIK, WEIDMAN, JUSTIN, et al. 2011. Barriers to the Adoption of Prevention through Design (PtD) Controls among Masonry Workers. In *Proceedings of the CIB W099 2011 Conference. Prevention: Means to the End of Construction Injuries, Illnesses and Fatalities*, Washington D.C. 2011.

GU, N. AND K. LONDON Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 2010/12/01/ 2010, 19(8), 988-999.

LOPEZ DEL PUERTO, C., K. STRONG AND M. MILLER Analysis of Owners Safety Management Approaches in Design-Build Projects. *International Journal of Construction Education and Research*, 2013/10/01 2013, 9(4), 307-316.

OLATUNJI, O. A. A preliminary review on the legal implications of BIM and model ownership. *ITcon*, 2011, 16(Special issue Innovation in Construction e-Business), 687-696.

SZYMBERSKI, R. T. Construction project safety planning. *Tappi journal*, 1997, 80(11), 69-74.

TAN, T., K. CHEN, F. XUE AND W. LU Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. *Journal of Cleaner Production*, 2019/05/10/ 2019, 219, 949-959.

TOOLE, T. Increasing Engineers' Role in Construction Safety: Opportunities and Barriers. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice - J PROF ISSUE ENG EDUC PRACT*, 07/01 2005, 131.

WANG, S.-H., W.-C. WANG, K.-C. WANG AND S.-Y. SHIH Applying building information modeling to support fire safety management. *Automation in Construction*, 2015/11/01/ 2015, 59, 158-167.

ZHRIZAN, Z., N. M. ALI, A. T. HARON, A. MARSHALL-PONTING, et al. Exploring the adoption of building information modelling (BIM) in the Malaysian construction industry: a qualitative approach. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013-08-25 2013, 02(08), 384-395.

