Aplicaciones BIM para la gestión de activos de infraestructura vial. Experiencia práctica de Gestión Inteligente de Seguridad en Conservación de Carreteras: BIMSAFETY - ROADS

A. BAAMONDE, P. TALAVERA, J. LUCAS
Departamento de Transformación Digital y Dirección General Adjunta en S. A. de Obras y Servicios, COPASA. España.
abaamonde@copasagroup.com, pjtalavera@copasagroup.com, jelucas@copasagroup.com
J. NOGUÉS
CEO en ARQTEAM. España.
estudio@nogues.es

RESUMEN:

El artículo presenta los resultados de un estudio experimental en el que se utilizó el modelo BIM de una infraestructura vial como caso práctico para el desarrollo de una herramienta para la gestión inteligente de la seguridad en conservación de carreteras.

Inicialmente se realiza un repaso general al estado del arte y los principales retos que se plantean en las aplicaciones BIM de infraestructura vial, para, a continuación, plantear la aportación innovadora que supone la implantación de la metodología BIM y sus tecnologías asociadas a la gestión de activos en general, la problemática asociada a la misma y las particularidades propias de su utilización en conservación de carreteras.

También se analiza la problemática de la gestión de la seguridad en carreteras y la potencial aportación del BIM a la misma, cuya utilización posibilitaría una *"Gestión Inteligente de la Seguridad en Conservación de Carreteras"*.

Se describe la plataforma BIMSAFETY – ROADS, que no se trata de una herramienta de software comercial sino de un desarrollo específico resultado de una investigación llevada a cabo en el marco de una iniciativa de I+D+i, donde se utiliza la metodología BIM para la recogida y el análisis de datos relativos a la seguridad vial, la prevención de riesgos laborales y los indicadores de calidad del servicio durante la gestión de las operaciones de mantenimiento y conservación de carreteras. Se hace una descripción general de la misma y se señalan las líneas básicas de actuación sobre las que se fue evolucionando la implementación. También se detallan los módulos BIM de gestión desarrollados y los paneles de control y análisis de datos incorporados. Todo esto se completa con aplicaciones propias de la Realidad Virtual que tienen encaje en la experiencia realizada.

Como conclusión final, se expresa, desde el punto de vista de los autores, los alcances y logros del desarrollo presentado y también los retos pendientes para el futuro en la aplicación de la metodología BIM y sus tecnologías asociadas a la conservación de carreteras.

PALABRAS CLAVE:

BIM, Gestión de Activos, Conservación de Carreteras, Seguridad Vial, Prevención de Riesgos Laborales, Gestión Inteligente de Información.

1. APLICACIONES BIM EN INFRAESTRUCTURA VIAL

1.1. Estado del arte

En los últimos años la evolución de la utilización de BIM en proyectos de construcción viene experimentando un significativo incremento que se consolida en el tiempo. Esta explosión que viene derivada, sin duda, de los múltiples beneficios que proporciona el uso de esta metodología es muy evidente en la construcción de edificación, tanto residencial como industrial, pero, debe señalarse, que el fenómeno no es tan claro para el caso de las obras de infraestructura vial.

Es cierto también que cada vez son más evidentes los esfuerzos a nivel europeo para agilizar y aumentar la velocidad del proceso de implementación y adopción del BIM en el mercado de la construcción mediante políticas e iniciativas gubernamentales de fomento del mismo en un número cada vez mayor de Estados miembros de la UE. Sin embargo, este esfuerzo debe de ser encabezado por las propias empresas de construcción que deben percibir la utilización de nuevas tecnologías como una oportunidad crucial para mejorar la productividad, la calidad, las condiciones de seguridad en el trabajo y el cuidado ambiental. BIM puede ser una herramienta fundamental, ya que combinado con otras tecnologías puede ser una palanca de desarrollo en un sector muy poco tecnificado. De esta forma, según el informe de la Comisión Europea de marzo de 2019 realizado por *European Construction Sector Observatory*, si se realizasen este tipo de implementaciones se podrían conseguir ahorros de entre el 13 y el 21% en la fase de construcción, y de entre el 10 y el 17% en fase de mantenimiento y operaciones. La digitalización de la construcción en la UE, está considerada como una herramienta fundamental de cara a conseguir la neutralidad climática y la recuperación económica. **[1]**

Por otro lado, desde un punto vista económico, la previsión es que la valoración del mercado europeo BIM (Según informe ECSO TP BIM 2019), será de 2.100 millones de euros, fundamentalmente debido a desarrollo de infraestructuras públicas. **[2]**

Sin embargo, en este momento no se percibe que los responsables públicos estén dando la importancia necesaria a la digitalización de todas las fases del ciclo de vida, ya que parecen más centrados en la fase de Proyecto y Construcción y en menor medida en la fase de mantenimiento y operación.

También debe señalarse que existe cierta reticencia a la utilización de BIM, en gran parte debido a la difícil cuantificación de los beneficios que aporta. Sin embargo, sus costes son más fácilmente cuantificables: se estima que el coste de formación, licencias y equipos informáticos supone entre 15.000 y 20.000€ por trabajador para poder adoptar BIM de forma correcta, según el *Methodology Handbook Calculating Costs and Benefits for the use of BIM in Public Tenders*, publicado por el *European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA)*. Este manual ofrece una calculadora de coste-beneficio, pero el beneficio depende de múltiples factores siendo el principal el nivel de madurez, variando la ratio beneficio/coste entre 1,69 y 5,31 según el nivel de madurez BIM y el ciclo de vida al que aplica. **[3]**

En lo que respecta a la utilización de BIM en operación y mantenimiento de infraestructuras viales, la visión actual para su aplicación más evidente se enmarca en los siguientes puntos:

- Apoyo de información para el mantenimiento y renovación
- Plataforma de monitoreo de datos y mantenimiento predictivo
- Repositorio de datos de instalaciones y gestión de activos
- Plataforma para la entrega y puesta en marcha virtual.

1.2. Principales retos que se plantean en la adopción de BIM en infraestructuras viales

Señalamos a continuación los principales retos que plantea actualmente la implementación de BIM en infraestructuras viales:

- La industria sigue priorizando la fase de diseño, frente a la fase de construcción y aún más sobre la fase de operación y mantenimiento.
- Existe un consenso claro respecto a que uno de los frenos es la interoperabilidad entre los distintos softwares. En este aspecto, se espera con ansia la implantación del standard IFC5. *(Los ficheros IFC, o Industry Foundation Classes, son modelos de datos que funcionan como un formato de archivos estandarizados para el intercambio de distintos softwares BIM cuyo objetivo principal es favorecer la interoperabilidad entre distintos programas. En particular el standard IFC5 será un desarrollo de las especificaciones más utilizadas actualmente, IFC 2x3 e IFC4, que permitirá representar mejor infraestructuras puntuales y lineales).* **[4]**
- También es un reto enfrentarse a la aparición de nuevos roles, procesos de trabajo, o problemas legales.
- Existe una gran diferencia de tamaño en las empresas del sector, por lo que la capacidad de disponibilidad de recursos económicos y humanos para poder implantar BIM es muy desigual. Esto requiere de mayores esfuerzos de coordinación.
- Una de las principales barreras, aunque parezca paradójico, es la falta de apreciación de los beneficios que aporta BIM.
- Aunar el resto de tecnologías tales como la realidad aumentada o virtual, la impresión 3D, el gemelo digital, la inteligencia artificial, etc., con BIM de forma que se produzcan sinergias que potencien la digitalización del sector.

De cara a solventar estos retos, la UE en su informe analítico de la digitalización en el sector de la construcción **[1]**, apunta a la necesidad específica de tres tipos de intervención:

- Marco normativo a nivel de la UE, que garantice una mejor calidad de los datos y mejor gestión de los mismos, así como abordar retos relacionados con derechos de propiedad intelectual y ciberseguridad.
- Concienciación y convencimiento de las Pymes de la construcción en la necesidad de implementación de tecnologías digitales ya que han de ser conscientes de las oportunidades que existen adaptadas a sus capacidades y recursos.
- Aumentar el apoyo financiero a las empresas para que inviertan en tecnologías digitales, como las iniciativas *Horizon Europe* o *Digital Europe* que apoyan inversiones como el despliegue de tecnologías digitales, investigación e innovación.

Para que en los próximos años se pueda aplicar BIM en el mantenimiento y operación de infraestructuras viales, y se consiga la superación de todos los retos mencionados, se

deben trasladar al sector las evidencias cuantitativas y cualitativas de la aportación de la metodología BIM desde las primeras fases del ciclo de vida hasta la de operación y mantenimiento.

2. APORTACIÓN INNOVADORA DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM Y SUS TECNOLOGÍAS ASOCIADAS A LA GESTIÓN DE ACTIVOS

2.1. Visión general

La metodología BIM lleva más de 20 años implantándose de forma muy desigual en todo el planeta. Algunos países han desarrollado estándares y guías para facilitar su utilización y homogenizar el desarrollo del software y la producción de información y han alcanzado un mayor número de objetivos estratégicos que otros que, simplemente, siguen la senda de lo ya descubierto.

No obstante, la evolución natural ha sido siempre empezar por el uso de los modelos BIM para coordinación y visualización 3D para poco a poco, según se aumenta la madurez del mercado y de los diversos agentes del sector de la construcción, ir buscando nuevos beneficios. Cronológicamente, es necesario que se produzca ese desarrollo BIM en las fases de diseño y obra para que las actividades de gestión de activos puedan beneficiarse de toda la información creada y compartida durante esa fase de desarrollo.

Desde distintos ámbitos ya se están produciendo acercamientos tecnológicos al mundo de la gestión de activos. Gracias a que internet está ya en casi todas las partes, el abaratamiento de sus componentes y de las tarifas de conexión, se están multiplicando los dispositivos que por muy simple que sea su funcionamiento, son capaces de enviar datos o reaccionar a peticiones externas. El internet de las cosas (IoT) pone al alcance de cualquier usuario la capacidad de controlar o estar informado mediante los sensores instalados en un inmueble o infraestructura.

Si todos estos datos queremos hacerlos accesibles al usuario medio o queremos que sean útiles para la gestión de un determinado activo, necesitaremos al menos dos cosas:

- Aplicar inteligencia a esos datos para filtrar y seleccionarlos de forma que se conviertan en información interpretable, y…
- Un Modelo BIM que permita la visualización de esa información y facilite la toma de decisiones de una forma más intuitiva.

2.2. Problemática asociada a la implantación

El uso de la metodología BIM en la fase de desarrollo (proyecto y obra) se está empezando a consolidar de tal forma que gran parte de los contratos licitados actualmente requieren, de una forma más o menos precisa, el empleo de la metodología BIM y la entrega de modelos tridimensionales que contengan la información “as built” al finalizar las obras. Será en los próximos años cuando, a raíz de la finalización de cada vez mayor número de construcciones realizadas utilizando esta metodología, empezaremos a ver modelos BIM cuya información teóricamente se destinará en un futuro próximo a la gestión de estos activos.

Es necesario recordar que la metodología está mucho más desarrollada en el ámbito de la edificación que en el de la obra civil. Los programas de diseño de infraestructuras han empezado a importar/exportar formatos BIM apenas hace 3 o 4 años cuando los programas de edificación llevan más de 12 años. Esto significa que los citados formatos están ahora adaptándose para incluir en su semántica elementos constructivos que son propios de infraestructuras lineales y no existen en edificación.

Falta aún imaginación, desarrollo de software y criterios para que los datos y documentos que sirven para construir, sean aprovechados para conservar y gestionar esos activos. Principalmente debido a la ausencia de estos agentes en la toma de decisiones de las fases iniciales, pero también por la ausencia de software que permita rentabilizar todo ese esfuerzo. Es necesario, por tanto, adecuar el software y adaptar los procesos pensando en la gestión del activo pues un modelo realizado para presupuestar una obra, o para planificar su construcción será útil para preparar el modelo de la fase de mantenimiento, pero deberá modificarse. En la medida que el mantenimiento se circunscriba a la ejecución de nuevas ampliaciones o reformas puede volver a usarse el BIM como en la fase de desarrollo, pero si hablamos de un uso para gestionar, operar y mantener un activo, la realidad construida deja de ser tan importante y aparecen necesidades que tienen que ver con los espacios, los equipos, las redes de instalaciones, con consumos, condiciones de utilización y mantenimiento… por tanto hace falta “repensar” el BIM.

También surge un nuevo problema: los formatos informáticos quedan obsoletos muy rápidamente, y los soportes donde se alberga esta información casi también. La revolución del almacenamiento en CD o DVD ha quedado obsoleta en apenas 10 años. La información albergada en formatos de hace 5 años no podrá abrirse dentro de otros 5 años. Pero los contratos de mantenimiento o concesiones de explotación son de 25, 30 y hasta 50 años. No tenemos hoy en día ningún soporte ni formato que nos garantice que podamos usarlo dentro de 20 años.

Por último, cabe señalar la escasa bibliografía de la que a día de hoy se dispone sobre este tema. Aunque, en este sentido, ha sido un gran avance la publicación en el segundo semestre del año 2020 de la parte tercera de la norma ISO 19650: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM y Gestión de la Información al utilizar BIM que viene a completar las dos primeras partes publicadas en el 2018. Esta ISO 19650:3, titulada en inglés: *“Part 3: Operational phase of the assets”*, se centra en la gestión de activos enfocándose en aumentar la eficiencia y eficacia de los procesos de gestión de la información. **[5]**

2.3. Implantación BIM en conservación de carreteras

Según todo lo planteado anteriormente, parece que la utilización del BIM en la gestión o mantenimiento de infraestructuras está a la cola de todo el desarrollo de esta metodología.

Podemos decir que los retos de la implantación del BIM en la conservación de carreteras son principalmente dos:

- La gestión (control, visualización…) de la cantidad de información generada.
- El alojamiento de esa información a lo largo de todo el período de operación.

Para enfrentarse a ellos, será necesario reinterpretar los usos que actualmente se están dando a los modelos y la información contenida en ellos.

Esperar a que esté más consolidado el uso del BIM en la fase de desarrollo para poder disponer de modelos para su uso en el mantenimiento, aparte de ser poco ambicioso, retrasaría absurdamente el aprovechamiento de sus ventajas. Entendiendo todo el proceso como un sistema de economía circular en el que la conservación de una infraestructura es el estado previo a un estado de desarrollo de un nuevo proyecto, y que la información de la obra no sólo sirve para construir, sino que se genera para informar al siguiente eslabón de esa cadena, el papel del operador toma más relevancia, debiendo estar incluido en la toma de decisiones desde las primeras reuniones conceptuales.

Por otro lado, el uso mucho más extendido en el tiempo que los operadores van a hacer del modelo en comparación con la fase de desarrollo debe llevar a las Administraciones Públicas propietarias de los activos a hacer un esfuerzo de análisis sobre cómo exigir la entrega de información al finalizar las obras de una infraestructura. En este sentido, merece destacarse que ciertas propiedades han comenzado ya a dar pasos para la implantación de BIM en el inventario de sus infraestructuras recogiéndolo en sus requisitos y recomendaciones. Por ejemplo, en España, dos de las últimas guías BIM publicadas de entidades como Puertos del Estado o la Dirección General de movilidad e infraestructuras viarias de la Junta de Extremadura tienen en cuenta este aspecto. **[6], [7].**

En cualquier caso, la información generada en la fase de proyecto está mucho más controlada: sabemos cómo debe ser y qué información debe contener para que la constructora pueda ejecutar esa obra… mientras que la información de la fase de mantenimiento es mucho más dispersa: podemos hablar de datos proporcionados por sensores, información obtenida de servicios web públicos, incluso de navegadores usados por los conductores, etc. La representación de esta información supone un verdadero reto y más si añadimos la necesidad de que perdure en el tiempo y que sea flexible para aceptar nuevas tecnologías en los años siguientes.

Además, debemos tener en cuenta que los equipos de diseño y de obra están familiarizados con el lenguaje y el entorno BIM para construcción. Son profesionales a los que la incorporación de los procesos BIM les ha supuesto un cambio, pero el objetivo sigue siendo el mismo: “Construir un edificio o una infraestructura en un plazo y con un presupuesto”. El problema es que, en el caso de la conservación de carreteras, si bien el objetivo también permanece constante: “Mantener en condiciones adecuadas esa infraestructura” intervienen agentes menos especializados, así como usuarios de las mismas, y la toma de decisiones viene marcada por datos e información cada vez más cuantiosos.

Por ejemplo, en la aplicación del BIM en conservación de carreteras, nos encontramos con problemas tan básicos como el de conseguir generar modelos 3D con suficiente nivel de detalle como para utilizarlos de forma práctica dependiendo tanto de la información inicial disponible como de las herramientas de software BIM específicas para infraestructuras lineales.

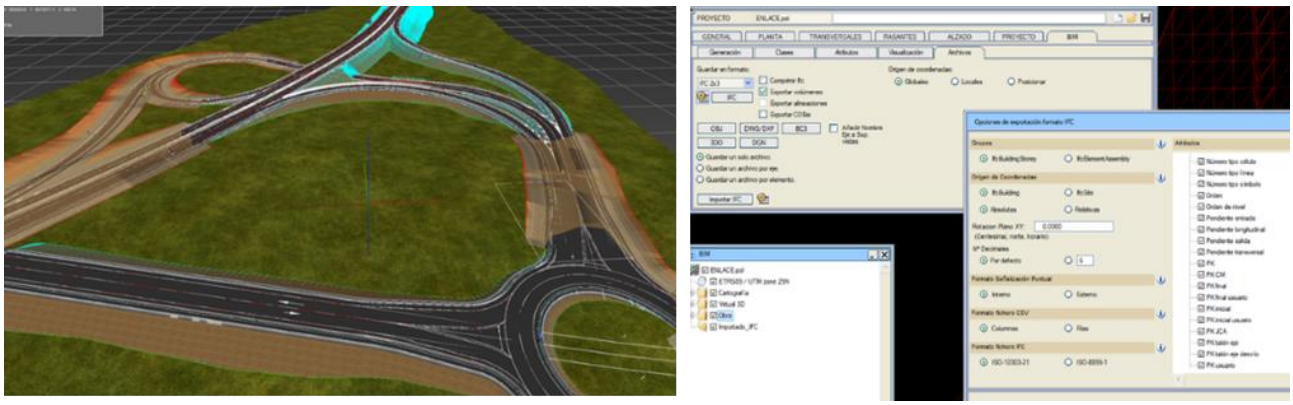

Figura 1 – Modelado e implementación BIM para conservación de carreteras

En este sentido, la experiencia de implementación de la plataforma BIMSAFETY – ROADS, nos ha permitido llegar a conclusiones interesantes tales como la necesidad de la configuración de parámetros específicos de los elementos modelados o la de la incorporación a los modelos de elementos que facilitan la navegación por pantalla y los menús desplegables, aspecto éste último clave en el desarrollo de la herramienta ya que, debido a la dificultad de manejo de los modelos lineales por los visores BIM actuales, aportó un importante valor añadido en los distintos módulos de la plataforma digital.

3. GESTIÓN INTELIGENTE DE LA SEGURIDAD EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

3.1. La gestión de la seguridad en carreteras

La carretera es la infraestructura de transporte que más movilidad proporciona a la sociedad, siendo que, a nivel europeo, un entorno del 90% de los viajes de las personas y por encima del 70% de las mercancías terrestres utilizan este modo de transporte. (En el caso español este último porcentaje se sitúa también en el orden del 90%). **[8]**

Si analizamos el transporte por carretera desde la perspectiva de la seguridad nos encontramos con dos aspectos ciertamente complejos, por un lado, la seguridad vial, es decir todo aquello que se relaciona con los accidentes de tráfico, y, por otro lado, la prevención de riesgos de los propios operarios de conservación de la infraestructura. En algunos casos ambos pueden tener una relación directa (accidentes de tráfico que afecten a los operarios de conservación en el desempeño de su labor) y, en general, pueden verse relacionados, bien directa o bien indirectamente, con la calidad del servicio de conservación que se ofrece a los usuarios.

Por lo tanto, en el desarrollo del servicio de conservación y explotación de los distintos tramos de las redes de carreteras es necesario registrar, manejar y gestionar información relacionada con estos aspectos. La organización y análisis de toda esta información de forma práctica, rápida y flexible utilizando nuevas tecnologías asociadas a la Industria 4.0 supone, desde nuestro punto de vista, un fenómeno disruptivo en la forma de abordar su problemática.

3.2. Potencial aportación de BIM a la gestión de la seguridad en carreteras

BIM (Building Information Modeling) como metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de activos de infraestructuras, permite centralizar la información en un modelo digital operado por todos los agentes relacionados con los mismos a lo largo de todo su ciclo de vida, lo cual, evidentemente es de total aplicación en la Seguridad en Conservación de Carreteras sobre todo entendiendo su gestión, de forma amplia y general, asociada al conjunto de herramientas digitales para el desarrollo de la metodología BIM durante, en este caso, la explotación de una carretera.

La aplicación de estos principios en un determinado tramo de carretera o autovía enfocados a la gestión de la seguridad tanto vial como a la prevención de riesgos laborales de los operarios tiene un gran potencial con el valor añadido de la visualización de la distribución de accidentes sobre el modelo de la infraestructura que facilita tanto el rápido reconocimiento de aquellos lugares en los que se concentran como el análisis detallado del modelo tridimensional (como los elementos de señalización, balizamiento y defensas que se disponen en la zona y toda la información recogida en el momento del accidente). También es evidente el potencial de la posibilidad de la reproducción de un siniestro en un entorno virtual para analizar sus causas y singularidades.

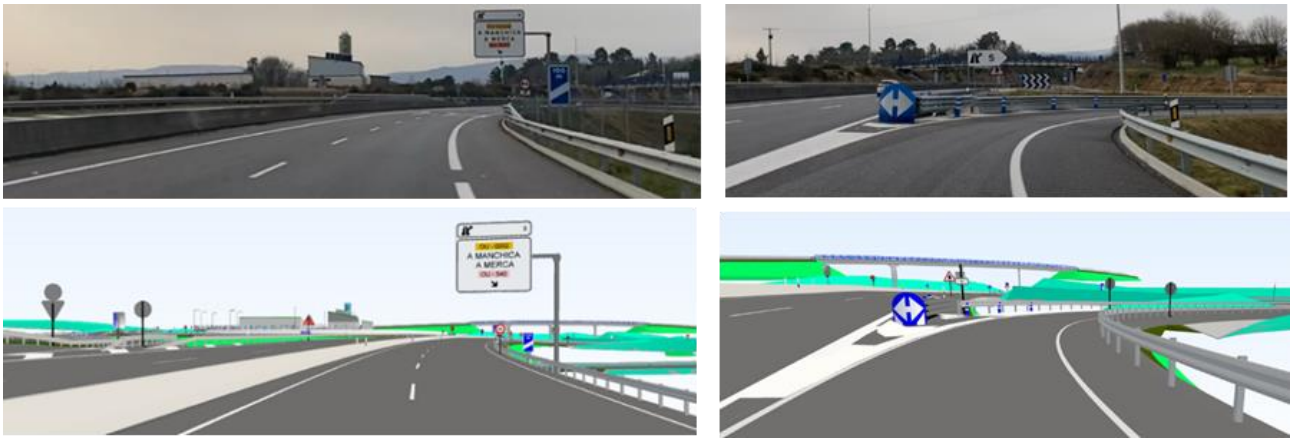

Figura 2 – Comparación entre imágenes tomadas "in situ" y las extraídas de un modelo 3D

Por lo tanto, podemos concluir que el tratamiento y análisis de datos e informaciones de forma fluida mediante módulos de gestión digital y herramientas de visualización 3D pueden facilitar la detección anticipada de problemáticas, riesgos y peligros y a una mejora de la calidad del servicio y de las condiciones de trabajo que indirectamente repercutirán en la disminución de la accidentalidad y, por extensión, al ahorro de costes económicos, personales y sociales.

4. EXPERIENCIA DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA DE BIM EN LA GESTIÓN INTELIGENTE DE LA SEGURIDAD EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS: BIMSAFETY - ROADS

4.1. Descripción general

Este proyecto de I+D+i desarrollado por COPASA **[9]** con el objetivo de mejorar la seguridad en conservación de forma global implementa una plataforma que integra la metodología BIM, el tratamiento de datos mediante inteligencia artificial y aplicaciones de

realidad virtual de forma que se aprovechen todas estas tecnologías digitales para la gestión efectiva de la seguridad vial, la prevención de riesgos laborales y la calidad del servicio prestado al usuario en las operaciones de conservación, mantenimiento y explotación de carreteras.

La idea consistió en la generación de una herramienta de gestión inteligente de información aprovechando el potencial tanto del análisis interactivo de datos como de la representación visual en tres dimensiones facilitando la evaluación de la seguridad desde múltiples perspectivas prácticamente a tiempo real. Cabe señalar que esta implementación no se ha realizado con ánimo de generar un software comercial sino como puesta en práctica de la investigación específica anteriormente mencionada.

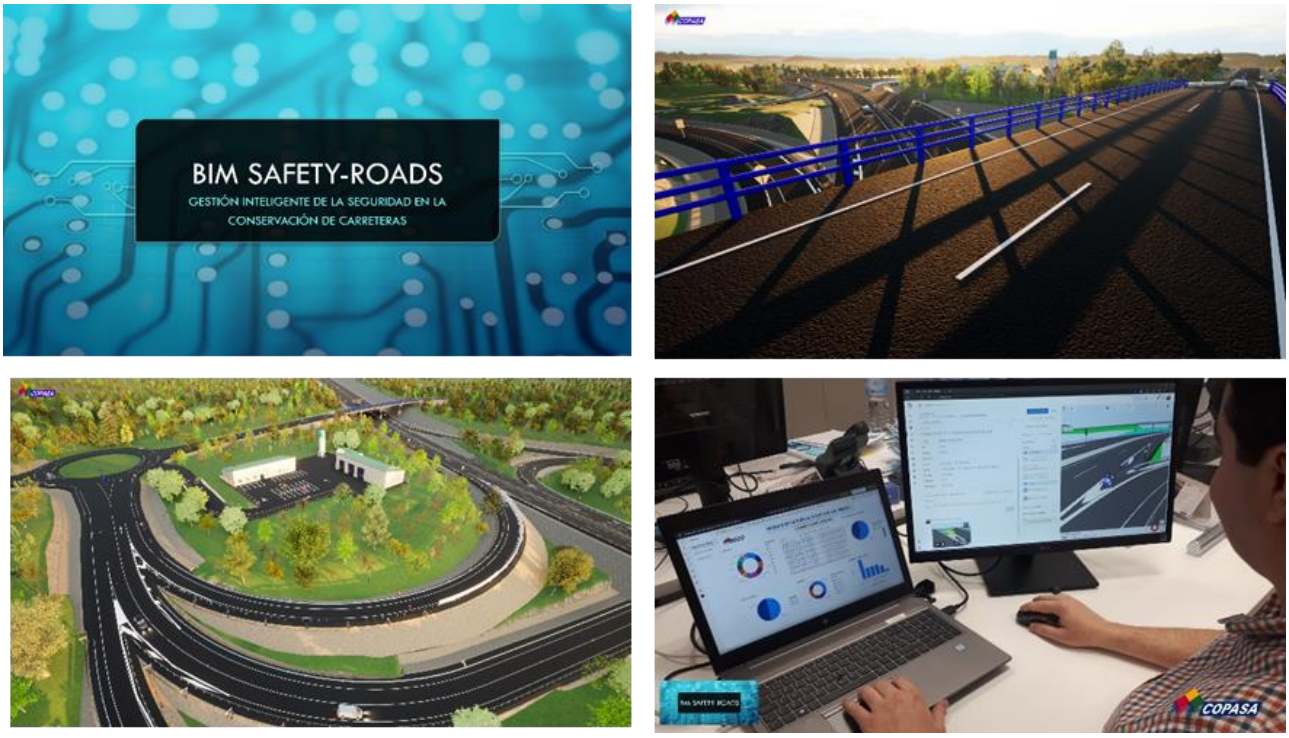

Figura 3 - BIMSAFETY - ROADS, Gestión Inteligente de la Seguridad en Conservación de Carreteras

4.2. Líneas básicas de actuación

Para el desarrollo de esta herramienta digital se establecieron las siguientes líneas básicas de actuación de acuerdo a las cuales se fue construyendo la implementación:

- Investigación y experimentación práctica para implementación BIM en conservación de carreteras.
- Desarrollo de un módulo de gestión de accidentes, que contempla dos aspectos: un submódulo relacionado con la seguridad vial y otro relacionado con la prevención de riesgos laborales.
- Desarrollo de un módulo de gestión de indicadores de calidad del servicio.
- Implementación de herramientas de tratamiento de datos e inteligencia artificial para el desarrollo de cuadros de control que permitan analizar la información contenida en los módulos de gestión de accidentes y de calidad del servicio.

- Aplicación de la metodología BIM para el estudio de accidentes prototipo concretos utilizando realidad virtual.

4.3. Módulos BIM de gestión

4.3.1. *Módulo BIM de gestión de accidentes*

Se desarrolló este módulo utilizando el modelo BIM de la conservación de la autovía de Ourense a Celanova (Galicia, España) como repositorio de información de los accidentes (tanto de seguridad laboral como de seguridad vial).

Para el desarrollo de los módulos se utilizó el motor de la plataforma BIM, BIMSYNC Arena, de la empresa de software especializado, CATENDA **[10]**, que permite visualizar modelos BIM y gestionar de forma colaborativa la evolución y mejoras en el modelado de proyectos. A partir de su generador de incidencias se programaron diferentes plantillas específicas para cada módulo. Son estas implementaciones, diseñadas para cada tipo de accidente o incidente considerado, las que permiten alojar los datos e información de cada uno de los accidentes o incidentes según se vayan produciendo.

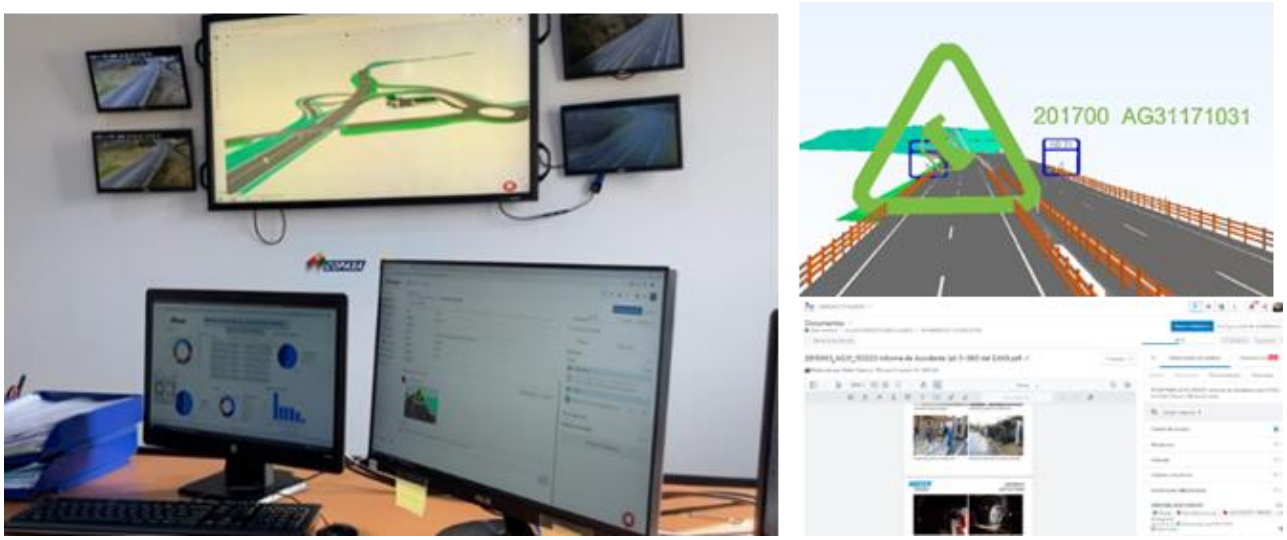

Figura 4 – Módulo de gestión de accidentes

Dentro de la plataforma se establecen dos apartados o submódulos de accidentes. Por un lado, se recogen los accidentes de tráfico: cada vez que se produce un accidente, se genera dentro de la plataforma, una incidencia con los datos del mismo, asignando un número único de identificación que, a su vez, es modelado junto con una señal de advertencia sirviendo como punto de referencia ubicado en el punto kilométrico y sentido de circulación en el que se produjo el accidente. Todas las fichas generadas se pueden exportar en formato CSV *(tipo especial de archivo de texto que permite almacenar datos con estructura de tabla con los valores separados con comas)*. Este fichero se filtra y se segregan aquellos datos que son necesarios con Power Query *(motor de preparación y transformación de datos que permite conectar, combinar y refinar orígenes de datos con diversos programas)* y se importan a Microsoft Power BI *(plataforma unificada y escalable de inteligencia empresarial)* para poder realizar las conexiones entre fuentes de datos y originar los paneles de control. Adaptando el potencial que ofrece la plataforma colaborativa en lo referente a comunicación y procesamiento de datos, pudimos enlazar el punto de

referencia, la documentación y la incidencia generada permitiendo el acceso telemático a toda la información relacionada con el accidente de forma rápida y sencilla. La documentación adjuntada incluye todos los datos relevantes, tales como la descripción de los hechos, el estado de la vía, las posibles causas, los trabajos de los medios de la conservación movilizados, así como sus tiempos de reacción, los daños causados tanto a las personas implicadas como a la propia infraestructura, y diverso material gráfico como fotografías, planos de ubicación y croquis de lo acontecido.

Por otro lado, se encuentra el submódulo de accidentes laborales, en el que se generan las incidencias producidas por el personal de servicio del centro de conservación. En cada ficha de incidencia se recogen datos sobre el accidente, lugar, zona del cuerpo dañada, etc., y se realiza un seguimiento del tiempo de baja laboral.

La generación de estos módulos supone una herramienta muy valiosa no solo desde el punto de vista del contratista sino también desde el punto de vista de la entidad propietaria de la carretera o de los responsables implicados en la seguridad vial.

La posibilidad de visualizar la distribución de todos los accidentes sobre un modelo de la infraestructura facilita el rápido reconocimiento de aquellos lugares en los que se concentran. A partir de ahí y analizando los detalles del modelo tridimensional, los elementos de señalización, balizamiento y defensas que se disponen en la zona y toda la información recogida en el momento del accidente, se puede llegar a obtener unas conclusiones preliminares sobre sus posibles causas y proponer, de manera inmediata, mejoras encaminadas a la disminución de las probabilidades de que los accidentes se produzcan o de que sus consecuencias sean graves. En el caso de que no se llegase a ningún tipo de conclusión de forma inmediata, cabe la posibilidad de cruzar toda la información recopilada con los indicadores de calidad de la infraestructura.

En lo que respecta a los accidentes laborales, una vez analizado el histórico de los mismos en la carretera objeto del estudio y representados aquellos que tuvieron lugar en el tronco, se ha constatado que, aunque en principio es menos evidente su relación con las características de la vía que nos aporta el modelo 3D, es realmente útil, sobre todo para los casos de accidentes en los que interviene el usuario de la vía (alcances a vehículos de señalización, atropellos a operarios, etc.). La posibilidad de poder reproducir el siniestro en un entorno virtual y analizar sus causas tiene un indudable potencial al que se añade la facilidad de acceso a la información y datos relevantes del mismo.

4.3.2. *Módulo BIM de gestión de indicadores de calidad del servicio*

El concepto de “indicadores de calidad del servicio” es ampliamente utilizado ligado, sobre todo, a contratos de concesión de última generación, pero también está empezando a aparecer en contratos de servicios de conservación y explotación de carreteras. Estos indicadores sirven para cuantificar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios de la carretera de tal forma que también pueden utilizarse para establecer mecanismos de bonificación o penalización del cobro del contrato por parte del prestador del servicio. Dichos indicadores suelen estar relacionados con parámetros indicativos del estado de conservación de la infraestructura (estado del firme, de la señalización, etc.) o con aspectos tales como los tiempos de reacción para la atención de las incidencias, los períodos de ocupación parcial o total de la vía para operaciones de mantenimiento, índices de siniestralidad, etc...

La plataforma se ha centrado en una serie de indicadores orientados a la atención de las incidencias que se pudieran producir en la vía, al entender que están relacionados, aunque indirectamente, tanto a la seguridad vial como a la laboral, aunque es interesante destacar que la tecnología y operativas desarrolladas para este caso son extrapolables para otro tipo de indicadores que se quisiesen implementar.

Por otro lado, es reseñable también, que los parámetros indicativos del estado de la vía se han tenido en cuenta en el módulo de accidentes al utilizarlos como una de las posibles perspectivas de análisis de las posibles causas de los mismos.

La plataforma colaborativa aporta el registro de las tablas de control de indicadores y la asociación de las incidencias/accidentes con su localización espacial en el modelo 3D. En la misma se desarrolla un apartado específico enfocado únicamente a esta gestión de indicadores.

Este módulo de gestión de indicadores es absolutamente novedoso en el mercado integrando aplicativos que permiten hacer un seguimiento automático y a tiempo real de la calidad del servicio prestado por la empresa de conservación y que es adaptable a los diversos indicadores que se puedan establecer en los distintos contratos por parte de las administraciones.

4.4. Paneles de control y análisis de datos

El enlace de los módulos BIM de gestión de accidentes y de indicadores con herramientas de tratamiento de datos e inteligencia artificial tipo Power BI, servicio de análisis de datos de Microsoft orientado a proporcionar visualizaciones interactivas y capacidades de inteligencia empresarial *(en inglés: "Business Intelligence" o BI)* se realiza generando dentro de la plataforma una serie de cuadros de control. **[11]**

Se han generado cinco paneles de mando donde se integran los datos disponibles de cada uno de los aspectos considerados de tal forma que se organiza toda la información de forma que se puedan realizar análisis de situación y conclusiones a tiempo real.

Los paneles de control generados son los siguientes:

- Accidentes de tráfico, en relación a sus causas y consecuencias
- Accidentes de tráfico, en relación al estado de la vía
- Accidentes de tráfico, en relación a la climatología
- Accidentes laborales
- Indicadores de calidad del servicio

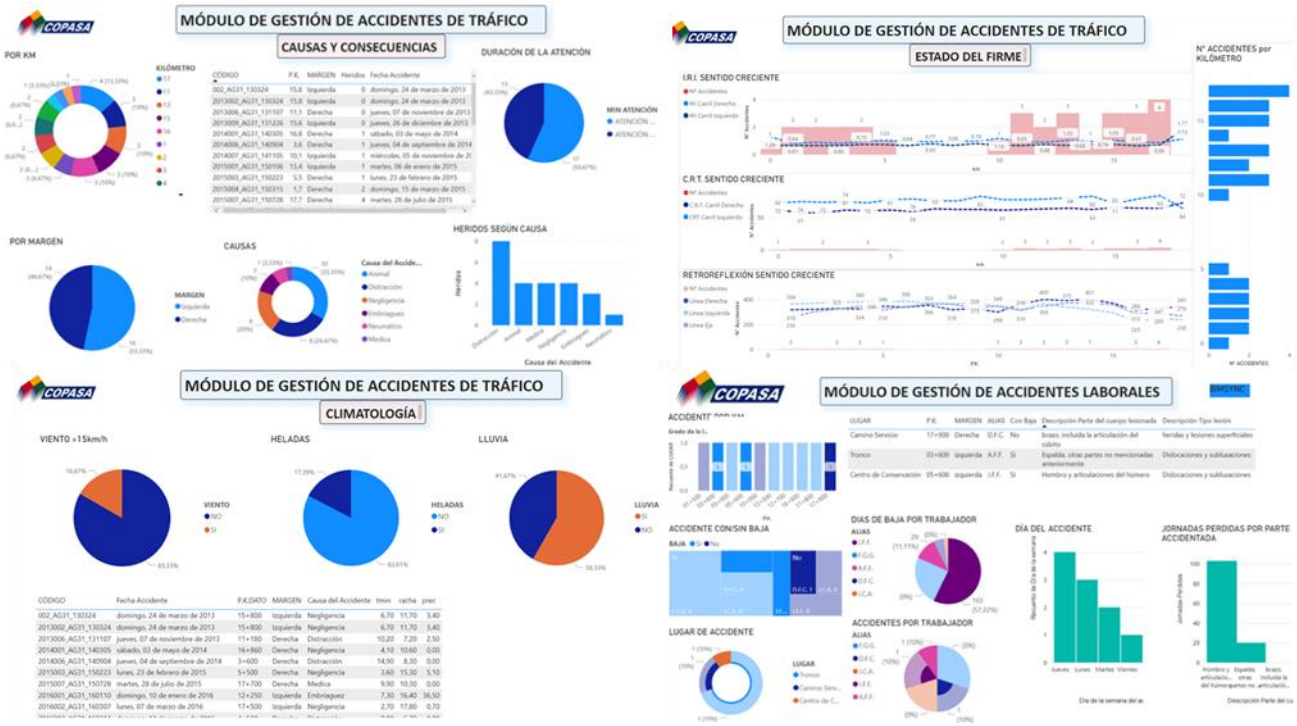

Figura 5 – Paneles de control de accidentes de tráfico y laborales

El panel de control de accidentes laborales se ha demostrado especialmente efectivo a la hora de analizar toda la interrelación entre accidentes, posibles causas y otros aspectos como el lugar o la situación y el momento del mismo (aspectos estos que pueden ser posteriormente estudiados aprovechando aplicaciones de Realidad Virtual).

Con el panel de control para gestión de indicadores se intenta llevar un control más específico sobre el cumplimiento de los objetivos de calidad, relacionando el personal que interviene, tanto a nivel de sala de control como de retén de asistencia urgente, con los tiempos de reacción, atención y reparación de daños, así como las causas alegadas en la justificación del no cumplimiento del objetivo.

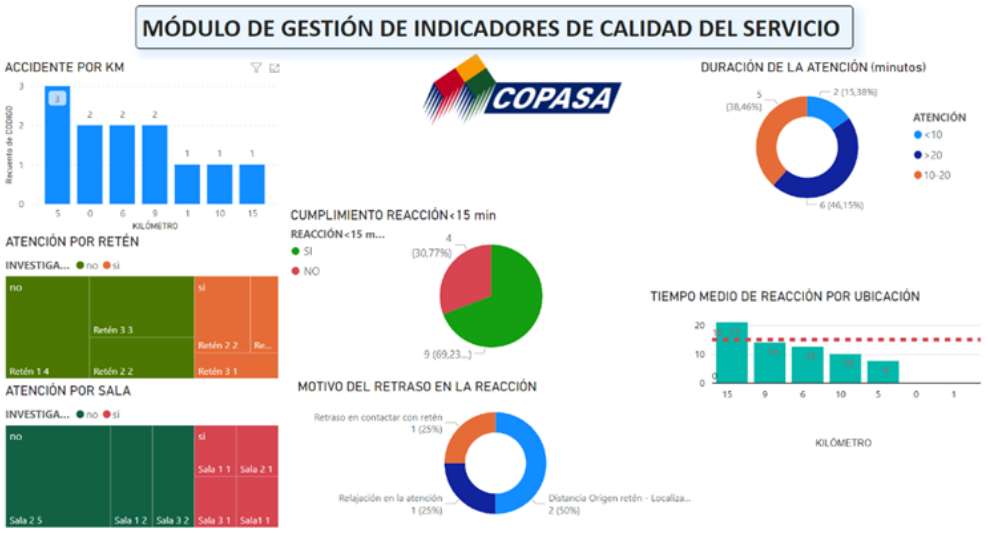

Figura 6 – Panel de control del módulo de gestión de indicadores

Este tipo de paneles permite focalizarse en un momento concreto dentro de la inmensidad de datos producidos por diversas fuentes haciéndolas confluir en una serie de gráficos que

ofrecen una visión clara de los hechos para realizar un análisis objetivo de las causas. Se facilita la toma de decisiones de cara a minimizar futuras reincidencias en las causas que generaron el accidente o la incidencia. Por tanto, el aspecto disruptivo, desde el punto de vista del conservador, es la claridad en la presentación y análisis de datos, y la inmediatez en la posible toma de decisiones.

4.5. Aplicación de la Realidad Virtual

En el proyecto se realizaron también una serie de aplicaciones de la realidad virtual para el estudio de accidentes concretos como fuente de información visual para la mejora de los procesos de actuación por parte de los retenes que intervienen cuando se produce un accidente y de cara a preparar los medios, señalización y equipos de reparación de los elementos dañados.

Para realizar ese tipo de recreaciones se utiliza el programa Twinmotion **[12]**, en el cual se importa el modelado del trazado y se ubica el vehículo accidentado. El programa permite recrear la climatología, iluminación y posición del sol en la fecha y hora del accidente.

Una vez que se han generado los escenarios se exporta una presentación que puede ser consultada en cualquier PC sin la necesidad de instalación de software específico, ya que se visualiza la escena desde cualquier navegador web, con un interfaz fácil de manejar el cual se puede recorrer al antojo del operador, cambiando la ubicación y punto de vista en primera persona, incluso las condiciones climáticas, la temporada o la fecha y hora, permitiendo entender el entorno con todas las variables posibles.

Figura 7 – Recreación de accidentes concretos en Realidad Virtual

Para conseguir una mayor inmersión en el entorno virtual es posible, también, recurrir a dispositivos como gafas de realidad virtual que permiten una visualización en primera persona.

Las aplicaciones prácticas de la realidad virtual aportan un importante valor añadido al desarrollo realizado, destacando los siguientes aspectos muy relacionados con el día a día de la conservación de carreteras:

- La inmersión en el escenario de un accidente mediante la realidad virtual, combinado con el análisis masivo de datos, permite realizar un análisis descriptivo y predictivo de las causas que provocaron el accidente, identificando tramos peligrosos, localización de anomalías y posibles relaciones ocultas, que de otro modo no serían detectables.

- Formación y entrenamiento del personal de retén para la atención de accidentes, con el fin de minimizar el riesgo de accidentes laborales, durante los trabajos de señalización, retirada de vehículos, etc. También para analizar situaciones complejas que se pueden dar durante la reparación de elementos de la vía tras un accidente, como puede ser la falta de espacio para situar maquinaria o acopio de materiales, o la ubicación de medios de elevación.
- Sensibilización de los trabajadores frente a situaciones reales ya que la libertad de acción y experimentación en primera persona, permiten advertir las consecuencias de un accidente de trabajo lo que induce de manera efectiva a un cambio de actitud en el trabajador.
- También permite poner en práctica e interactuar con lo aprendido en las formaciones convencionales, sin necesidad de una presencia real sobre el terreno y, por otro lado, es capaz de someter al empleado a un riesgo simulado inminente a través de las sensaciones en primera persona, y analizar sus reacciones en situaciones límite.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del BIM para su aplicación en la gestión de activos de infraestructura vial es una tendencia imparable cuya eclosión definitiva se producirá más pronto que tarde ya que sus utilidades prácticas en este campo son incuestionables. Es cierto, por otro lado, que, a día de hoy, todavía se plantean retos importantes sobre los que se deberá trabajar en los próximos años para conseguir una evolución satisfactoria en la integración de esta metodología.

Desde el punto de vista de la seguridad vial y la prevención de riesgos, la utilización de este tipo de tecnologías asociadas a la transformación digital puede suponer un fenómeno disruptivo en la forma de entender esta problemática ya que nos permite anticiparnos a situaciones de riesgo potencial lo que, sin duda, redundará en una reducción de la accidentalidad y, con ello, en un ahorro de costes económicos, personales y sociales.

En el caso de la plataforma para la gestión inteligente de la seguridad descrita en este artículo, BIMSAFETY – ROADS, el logro fundamental fue el de perfilar una herramienta integrada para la gestión de la información relativa a la seguridad y la prevención que no solamente funcione como un repositorio 3D sino que también permita utilizar todo el potencial tanto de datos como visual para realizar análisis desde múltiples perspectivas de forma que se pueda llegar a conclusiones y tomar medidas correctivas u otro tipo de decisiones prácticamente a tiempo real. En este sentido, un gran éxito de la implementación fue el de establecer unas aplicaciones realmente ajustadas a las necesidades de los contratos de conservación y explotación de carreteras desde el punto de vista tanto de la seguridad vial como de la prevención de riesgos y los indicadores de calidad del servicio.

La implementación de esta metodología desde el punto de vista empresarial supone un importante reto, pero, a la vez, una gran oportunidad para conseguir aprovechar todo el potencial que ofrece junto con toda la tecnología asociada a la misma que, tal y como el desarrollo de BIMSAFETY – ROADS nos ha permitido apreciar en COPASA, puede conducir, sin ningún tipo de dudas, a mejoras sustanciales tanto en la seguridad como en la productividad, la calidad y el cuidado del medio ambiente.

En cualquier caso, haciendo un análisis global de la integración de la metodología BIM en la gestión de activos de infraestructura vial, debemos concluir que hay todavía aspectos tecnológicos cruciales sobre los que avanzar en el futuro relacionados tanto con el acceso, control y visualización a la gran cantidad de datos e información que se manejan en este tipo de actividades como con el propio alojamiento y mantenimiento operativo de esos datos a lo largo de todo el ciclo de vida.

6. REFERENCIAS

1. (2019). ***Promoviendo condiciones de inversión favorables. Informe analítico.*** Observatorio europeo del sector de la construcción. (Comisión Europea).

2. (2019). ***Building Information Modelling in the EU construction sector. Trend Paper Series.*** European Construction Sector Observatory (European Commission).

3. Papadaki, I.; Feustel, M.; Soubra, S.; Marchetti, C.; Bozzolo, A.; Gussoni, M.; Porta, M.; Botto, S.; Ardizzone, E.; Paraboschi, A.; Macciò, C.; Proia, M.; Giodice, M. (2021). ***Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public Tenders. Methodology Handbook.*** RINA, B1P GROUP, EUBIM TASKGROUP. European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA).

4. (2018) ***ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.*** ISO STANDARS. International Organization for Standardization.

5. (2020). ***ISO 19650-3: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 3: Operational phase of the assets.*** ISO STANDARS. International Organization for Standardization.

6. (2019). ***GUÍA BIM del Sistema Portuario de Titularidad Estatal*****.** Puertos del Estado. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

7. (2022). ***GUÍA BIM de la dirección general de movilidad e infraestructuras viarias.*** Consejería de Movilidad, Transporte y Vivienda. Junta de Extremadura.

8. (2022). ***Observatorio del Transporte y la Logística en España: Informe Anual 2021.*** Secretaría General de Transportes y Movilidad. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España.

9. **S.A. de Obras y Servicios, COPASA:** *Empresa constructora española de ámbito internacional especializada en proyectos de ingeniería civil y edificación*. https://www.copasagroup.com/

10. **Catenda AS:** *Compañía de software noruega desarrolladora de la plataforma colaborativa de gestión de proyectos Bimsync.* https://catenda.com/

11. **Microsoft Power BI:** *Plataforma de software unificada y escalable de inteligencia empresarial (BI: Business Intelligence) desarrollada por Microsoft.* https://powerbi.microsoft.com/

12. **Twinmotion:** *Software de Epic Games para la visualización en tiempo real o la inmersión en 3D de proyectos de infraestructuras.* https://www.twinmotion.com/