

Aplicación de la metodología BIM en proyectos de alta velocidad de Rail Báltica.

Application of BIM methodology in Rail Baltica high speed projects.

Carlos Pérez Barata ^a, Alfonso Celada Jaramillo ^b,

Manuel Casado Lechuga ^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. cperezb@idom.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. acelada@idom.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDOM. mcl@idom.com

RESUMEN

El proyecto Rail Báltica implementó la metodología BIM para optimizar el diseño y la ejecución de 389 km de infraestructura ferroviaria, mejorando la coordinación entre disciplinas y reduciendo errores y retrabajos. Utilizando herramientas como Allplan Bridge y Allplan 2023, se automatizó la creación de modelos 3D, la medición de materiales y la generación de planos, lo que ahorró tiempo y recursos. La integración de la inteligencia artificial en BIM promete potenciar aún más la eficiencia, anticipando problemas y optimizando el diseño en tiempo real. Esta combinación de tecnologías asegura una mayor precisión, sostenibilidad y agilidad en proyectos futuros.

ABSTRACT

The Rail Baltica project implemented BIM methodology to optimize the design and execution of 389 km of railway infrastructure, improving coordination between disciplines and reducing errors and rework. Using tools like Allplan Bridge and Allplan 2023, the creation of 3D models, material measurements, and plan generation was automated, saving time and resources. The integration of artificial intelligence in BIM promises to further enhance efficiency by anticipating issues and optimizing design in real-time. This combination of technologies ensures greater accuracy, sustainability, and agility in future projects.

PALABRAS CLAVE: BIM, Rail Báltica, Modelado paramétrico, Automatización, Diseño estructural.

KEYWORDS: BIM, Rail Baltica, Parametric modelling, Automation, Structural design.

1. Introducción

La metodología BIM (Building Information Modelling) ha revolucionado el diseño, la construcción y la gestión de infraestructuras en las últimas décadas. Proyectos de gran envergadura, como Rail Báltica (Figura 1), requieren un alto nivel de precisión y coordinación entre disciplinas para abordar los múltiples desafíos técnicos y organizativos que conlleva su desarrollo. En este contexto, el uso

de tecnologías digitales avanzadas se ha convertido en una herramienta indispensable para garantizar el éxito del proyecto.

Rail Báltica es un ambicioso proyecto de alta velocidad ferroviaria, conecta Estonia, Letonia y Lituania a través de una red de 870 km de longitud. Este corredor ferroviario no solo busca modernizar el transporte en la región báltica, sino también integrarlo en el sistema

europeo de transporte de alta velocidad. Dentro de este marco, IDOM asumió la responsabilidad de diseñar 389 km del trazado, que incluye aproximadamente 300 estructuras principales, como puentes ferroviarios y pasos superiores e inferiores, además de unas 1000 estructuras secundarias, entre las que destacan obras de drenaje y pasos de fauna.



Figura 1. Trazado del proyecto de Rail Báltica [1].

La magnitud y complejidad del proyecto plantearon numerosos retos, desde la coordinación entre múltiples disciplinas hasta el manejo de grandes volúmenes de información y la necesidad de garantizar la calidad y precisión en todas las fases del diseño. Para hacer frente a estas demandas, IDOM adoptó la metodología BIM como eje central de su enfoque técnico, empleando herramientas digitales avanzadas y flujos de trabajo colaborativos.

El objetivo de este artículo es analizar en detalle cómo la metodología BIM permitió a IDOM superar estos desafíos, mejorar la eficiencia del proceso de diseño y proporcionar soluciones innovadoras que se tradujeron en un producto final de alta calidad. La experiencia adquirida durante la ejecución del proyecto Rail Báltica no solo es un ejemplo de las capacidades transformadoras de BIM, sino también una guía para futuras iniciativas en el diseño de estructuras complejas.

2. Descripción del proyecto

El proyecto Rail Báltica representa una de las iniciativas de infraestructura más ambiciosas de Europa, diseñada para conectar las repúblicas bálticas con el resto del continente a través de una línea ferroviaria de alta velocidad. Este proyecto transnacional abarca 870 kilómetros desde Estonia, pasando por Letonia, hasta Lituania, promoviendo no solo la conectividad, sino también el desarrollo económico y sostenible de la región.

2.1 Alcance del proyecto y participación de IDOM

Dentro de este ambicioso proyecto, IDOM fue responsable del diseño de 389 km del trazado ferroviario, abarcando una serie de estructuras clave que son esenciales para el funcionamiento de la infraestructura. Estas estructuras se distribuyen cuidadosamente para adaptarse a las características geográficas, ambientales y urbanas del territorio, asegurando tanto la seguridad como la operatividad del corredor ferroviario. El diseño de estas estructuras fue fundamental para garantizar la viabilidad y el éxito del proyecto, al integrar de manera efectiva la infraestructura con su entorno.

2.2 Tipología de estructuras diseñadas

En cuanto a las estructuras diseñadas por IDOM, el proyecto incluyó una amplia variedad de elementos, tanto principales como secundarias.

Entre las estructuras principales se encuentran los puentes ferroviarios, que son esenciales para asegurar la continuidad del trazado sobre ríos, carreteras y otras infraestructuras, y los pasos superiores e inferiores, diseñados para integrar la línea ferroviaria con el entorno urbano y rural, permitiendo el cruce seguro de vehículos y peatones. También se incorporaron pasos de fauna, soluciones sostenibles que facilitan el paso

seguro de especies animales, garantizando así la preservación de la biodiversidad.

Además, dentro de las estructuras secundarias, se diseñaron obras de drenaje para gestionar las aguas pluviales y subterráneas, protegiendo la infraestructura de posibles daños, y otras estructuras de contención, todas ellas

igualmente importantes para la durabilidad y funcionalidad del trazado. En total, el proyecto incluyó cerca de 300 estructuras principales y más de 1000 estructuras secundarias, lo que subraya la importancia de una planificación detallada y una ejecución precisa en cada fase del diseño.

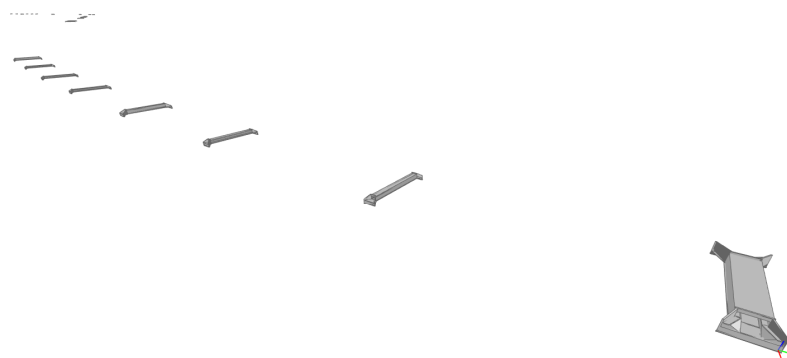


Figura 2. Múltiples estructuras de drenaje transversal.

3. Metodología BIM implementada

3.1 Trabajos previos a la implementación en estructuras

El uso de la metodología BIM en el proyecto Rail Báltica comenzó con una sólida base proporcionada por los Requisitos de Información del Empleador (EIR), documentos preparados por el cliente que establecen las pautas BIM a seguir desde el inicio del contrato. Este enfoque, poco común en proyectos de infraestructuras, fue acompañado por una extensa documentación técnica que detallaba cómo implementar BIM en cada fase del proyecto. A partir de estos requerimientos, el equipo elaboró un Plan de Ejecución BIM (BEP), un documento vivo que define cómo se llevarán a cabo las tareas BIM y que requiere la aprobación del cliente, así como su revisión y acuerdo en caso de que haya modificaciones.

La implementación inicial también implicó definir los niveles de desarrollo (LOD) específicos para los modelos, desde representaciones genéricas iniciales (LOD 100) hasta modelos altamente detallados listos para fabricación y ensamblaje (LOD 400). Esta estandarización permitió abordar de manera eficiente las necesidades del proyecto, asegurando precisión y claridad en todas las etapas. Asimismo, se aplicaron diferentes dimensiones BIM, como la 3D para modelado, la 4D para simulación temporal y la 5D para extracción de cuantías y costos, lo que mejoró tanto la planificación como la ejecución.

Aunque el uso de BIM incrementó los costos y tiempos en las fases iniciales debido al detallado modelado y planificación, esta

inversión permitió detectar y resolver conflictos antes de la construcción, reduciendo problemas en obra y resultando en ahorros significativos a largo plazo. Además, el acceso centralizado a documentación en plataformas como SharePoint y el seguimiento de estándares BIM aseguraron la consistencia y calidad en toda la ejecución del proyecto.

3.2 Aplicación a estructuras

Este enfoque inicial permitió sentar las bases para una implementación eficiente de BIM en el diseño de estructuras, donde la precisión y la coordinación interdisciplinaria son especialmente críticas. La parametrización de los modelos y la definición de los niveles de desarrollo (LOD) facilitaron la creación de estructuras complejas, como puentes ferroviarios, pasos superiores, pasos de fauna y obras de drenaje, garantizando que cada elemento se integrara correctamente con las demás disciplinas. Gracias a la parametrización, que se analizará en el siguiente subapartado y a un flujo de trabajo bien definido, fue posible abordar los retos técnicos y garantizar que el diseño estructural no solo cumpliera con los requerimientos normativos, sino que también respondiera a los desafíos específicos del entorno y las necesidades del cliente.

3.2.1 Parametrización y optimización

El modelado paramétrico es una herramienta esencial dentro de la metodología BIM, ya que permite la creación de modelos digitales basados en reglas, relaciones y atributos específicos, lo que facilita la automatización, el análisis y la generación de documentación precisa. Sin embargo, para garantizar su éxito en un proyecto de la magnitud de Rail Báltica, es crucial entender que el modelado paramétrico no solo es una tarea técnica, sino también un proceso que exige una planificación meticulosa y coordinada desde las etapas iniciales.

Este proceso de organización abarca varios aspectos clave que deben definirse desde

el inicio, tales como el flujo de información entre disciplinas, que requiere protocolos claros para garantizar que la transferencia de datos sea precisa y continua a lo largo de todas las fases del proyecto. Además, es necesario acordar los formatos de archivo a utilizar, lo que asegura que todos los equipos trabajen con los mismos estándares y sin barreras tecnológicas. También es fundamental definir los estándares de transferencia de información, como las metodologías uniformes para intercambiar datos, que ayudan a evitar inconsistencias y errores, especialmente en áreas críticas como las mediciones.

Establecer estos elementos desde el principio previene la duplicación de esfuerzos, minimiza los errores y permite que cada disciplina trabaje de manera autónoma pero coordinada. Esto reduce considerablemente el tiempo necesario para resolver interferencias y adaptaciones durante el desarrollo del proyecto.

Esta forma de trabajo representa un cambio organizacional significativo para todas las partes involucradas, la inversión inicial en planificación y estandarización permite ahorrar tiempo y recursos a largo plazo. Este enfoque más sistemático y organizado facilita el diseño y la construcción de infraestructuras complejas de manera más eficiente y menos propensa a errores.

Por lo tanto, la implementación exitosa de BIM en Rail Báltica muestra cómo un trabajo previo bien estructurado y coordinado puede transformar los retos técnicos en oportunidades de optimización y mejora continua, resultando en un proyecto más eficiente y con mayor calidad.

4. Herramientas y técnicas digitales aplicadas

En el desarrollo del proyecto Rail Báltica, el uso combinado de Allplan Bridge y Allplan 2023 resultó fundamental para gestionar la complejidad del diseño estructural, optimizar

flujos de trabajo y garantizar la precisión de la información en todas las etapas del proyecto.

4.1 Modelado de estructuras

El modelado de las estructuras principales, como puentes ferroviarios y pasos elevados, se llevó a cabo principalmente con Allplan Bridge, un software que permite trabajar con modelado paramétrico. Este enfoque ofreció la flexibilidad necesaria para ajustar dimensiones, geometrías y materiales en función de parámetros definidos previamente. La clave para aprovechar esta herramienta fue realizar un trabajo previo exhaustivo de caracterización de las diferentes tipologías estructurales que componían el proyecto.

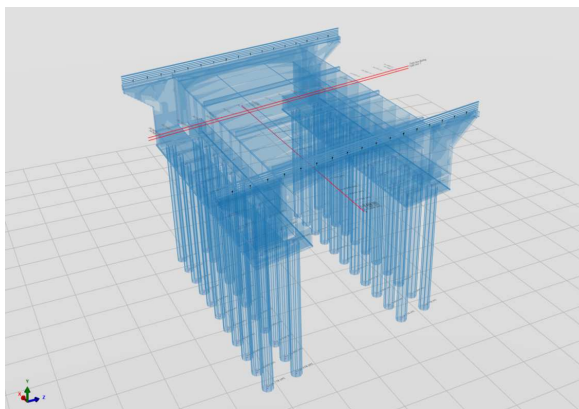


Figura 3. Modelo de paso de fauna generado en Allplan Bridge.

Esta fase inicial permitió identificar patrones comunes entre las estructuras y diseñar flujos de trabajo específicos que optimizaran los inputs necesarios para el modelado en Allplan Bridge. Además, se definieron los parámetros mínimos requeridos para modelar cada estructura, lo que redujo el tiempo de recopilación de datos geométricos y evitó esfuerzos innecesarios. Una vez configurado este sistema parametrizado, el software facilitó

iteraciones rápidas y precisas entre las diferentes alternativas de diseño.

4.2 Transferencia y enriquecimiento de información

Con los modelos estructurales generados en Allplan Bridge, el siguiente paso fue transferirlos a Allplan 2023, donde se enriquecieron con información adicional.

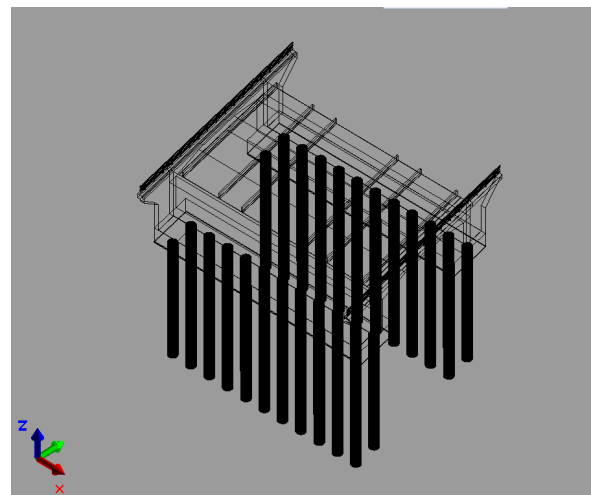
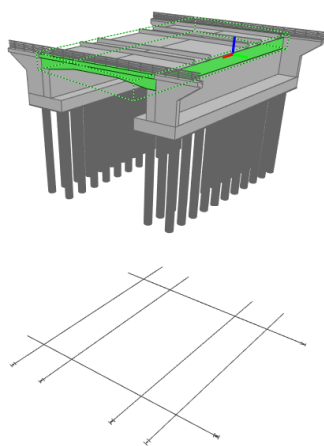


Figura 4. Modelo de paso de fauna exportado a Allplan 2023.

Este proceso permitió integrar datos específicos del proyecto en los elementos modelados, desde detalles generales como el nombre y la ubicación de la estructura en cuestión, hasta parámetros técnicos cuantitativos como las cantidades exactas de acero en elementos de hormigón armado o pretensado, volumen de hormigón y un largo etcétera. Además, el modelo se utilizó para generar toda la colección de planos de las estructuras, incluyendo planos generales, de geometría, armado y los despieces de armados y sus cuantías, todos ellos directamente vinculados al modelo paramétrico para garantizar su consistencia y precisión.



Tipo / Elemento	Valor	Unidad
Element Specific		
AllplanAttributes		
RBR-Data		
RBR-Concrete_Volume	813.8557	
RBR-Depth	Variable (1.10 - 1.80 m)	
RBR-Design_Life	100	
RBR-Discipline_Code	BR	
RBR-End_Kilometre	13.810	
RBR-Exposure	NC4ND3/NF-4	
RBR-Functional_classification	CV-BR-UPSS-WL	
RBR-Length	19.015000	
RBR-Local_Code	SK	
RBR-Location	0014	
RBR-LuG	300	
RBR-LuI	300	
RBR-Material_Description	Reinforced concrete	
RBR-Material_Designation	C45/55	
RBR-Object_ID	STR-DCK-001	
RBR-OCC	300	
RBR-Originator	IDO	
RBR-Product_Description	Varies	
RBR-Product_Name	VARIES	
RBR-Project_ID	RBDTD-LT	
RBR-Project_Stage	MD	
RBR-Pr_Code	Varies	
RBR-Reinforcement_Ratio	150	
RBR-Revision	1	
RBR-Section_ID	D52	
RBR-Start_Kilometre	13.810	
RBR-Steel_Mass	122.078.3581	
RBR-SubSection_ID	DPS1	
RBR-Type	Reinforced slab	
RBR-Type_number	Varies	
RBR-Units	Varies	
RBR-VisSysZone	BR669522	
RBR-Width	31.590000	

Figura 5. Modelo enriquecido con atributos exportado a formato IFC mediante Allplan 2023.

La etapa de enriquecimiento fue crucial para preparar el modelo para fases posteriores, como puede ser la de elaboración del presupuesto o la propia gestión del proyecto.

En las tareas de diseño de armaduras, la adopción del software Allplan 2023 permitió el modelado tridimensional de éstas y por tanto pudieron generarse tanto los planos de armado como de despiece a partir del propio modelado BIM.

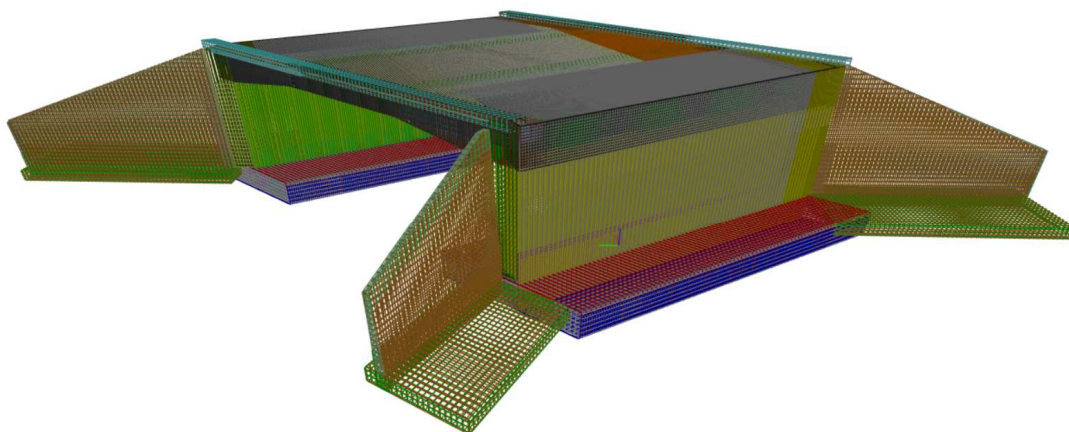


Figura 6. Modelo de armado exportado a IFC mediante Allplan 2023.

Cada elemento estructural se definió como una entidad única dentro del modelo global, lo que permitió su trazabilidad y localización precisa, garantizando una organización eficiente de la información.

4.3 Impacto del enfoque en el proyecto

El uso de Allplan Bridge y Allplan 2023 no solo optimizó los tiempos de trabajo gracias a la preparación y parametrización inicial, sino que también permitió trabajar con una alta precisión en el diseño, la documentación de las estructuras

y la generación de los entregables. La capacidad de extraer de manera automatizada toda la documentación asociada a las estructuras, desde planos generales hasta detalles de armado y despieces, aseguró que todos los entregables estuvieran alineados con el modelo 3D y minimizó la posibilidad de incoherencias.

Este enfoque garantizó que cada estructura estuviera lista para su análisis presupuestario y su ejecución sin necesidad de reprocesos ni ajustes posteriores.

5. Interoperabilidad y gestión de la información

Uno de los pilares fundamentales para el éxito del diseño de los 389 km de la línea Rail Báltica fue la implementación de flujos de trabajo interoperables que garantizaron la colaboración efectiva entre las diversas disciplinas involucradas. Gracias a la metodología BIM, fue posible transferir modelos y datos entre diferentes plataformas de diseño, análisis y gestión de manera fluida y eficiente.

El uso de IFC permitió integrar modelos desarrollados en Allplan Bridge y enriquecidos en Allplan 2023 con herramientas empleadas por otras disciplinas, como geotecnia, hidráulica y diseño de vías. Esta interoperabilidad no solo facilitó la colaboración, sino que también permitió automatizar procesos clave, como la detección de interferencias.

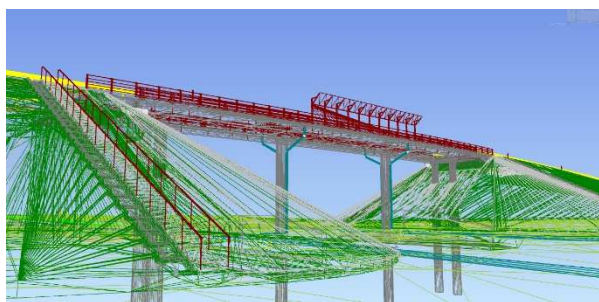


Figura 7. IFC integrado. Vista lateral de modelo BIM de paso superior.

La extracción de datos mediante herramientas vinculadas, como Excel, agilizó

tareas como el cálculo de cantidades de materiales y la estimación de costos.

6. Impacto en la eficiencia y calidad del proyecto

6.1 Mejora en la coordinación interdisciplinaria

Una de las principales ventajas que la metodología ofreció en el proyecto fue la mejora en la coordinación entre las diferentes disciplinas involucradas, estructuras, hidráulica, geotecnia, diseño de vías, servicios afectados....

6.2 Detección de interferencias

La detección de interferencias entre disciplinas fue otro aspecto en el que trabajar de esta manera jugó un papel crucial. Gracias a herramientas como Navisworks, fue posible realizar simulaciones avanzadas para identificar y resolver conflictos entre estructuras y otras instalaciones de forma temprana, antes de que se produjeran en la obra.

Por ejemplo, las interferencias entre puentes y canalizaciones subterráneas o entre las estructuras de drenaje y las líneas ferroviarias se detectaron durante las fases de diseño, lo que permitió ajustar los diseños y evitar modificaciones costosas en etapas avanzadas de la construcción.

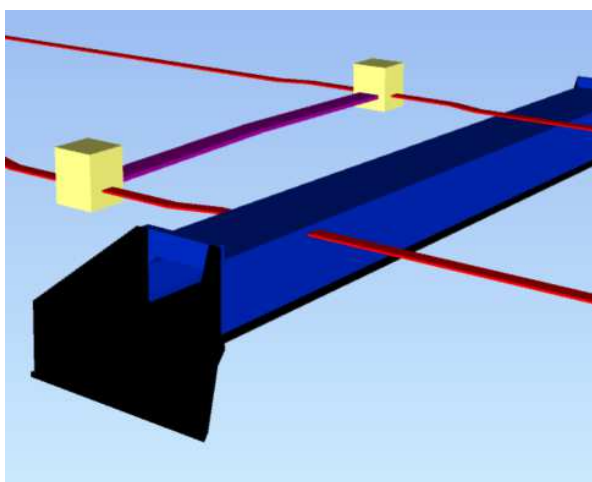


Figura 8. Interferencia entre comunicaciones y obra de drenaje transversal.

Además de los beneficios inmediatos durante la fase de diseño y construcción, la implementación de BIM en Rail Báltica sentó las bases para la gestión futura de las infraestructuras. Los modelos generados no solo sirven para la fase de construcción, sino que también serán valiosos para el mantenimiento y las futuras intervenciones en el proyecto. La capacidad de almacenar toda la información relativa a las estructuras y sus componentes en un formato digital accesible permitirá un manejo eficiente de la infraestructura durante toda su vida útil.

7. Una mirada hacia el futuro

Haciendo una reflexión final hacia el futuro inmediato, la metodología BIM en proyectos de infraestructura está indudablemente ligada a la integración de la inteligencia artificial (IA), que promete transformar la manera en que diseñamos, planificamos y gestionamos las construcciones.

En el caso de proyectos tan complejos como Rail Báltica, la combinación de BIM con IA tendría el potencial de aumentar aún más la eficiencia.

La IA puede facilitar el análisis y la optimización del diseño estructural de manera

automática, utilizando grandes volúmenes de datos para prever problemas y conflictos que podrían pasarse por alto en los procesos tradicionales. Con herramientas inteligentes que aprendan de patrones previos, será posible generar modelos que no solo sean más precisos, sino también más adaptativos a condiciones cambiantes o imprevistas en el desarrollo del proyecto. De esta manera, la detección de interferencias o fallos estructurales se haría aún más temprana, lo que permitiría una resolución más rápida de los problemas, evitando costosos retrabajos en fases posteriores.

Además, la IA aplicada a BIM será capaz de generar de forma automática planos detallados y despieces de armados, reduciendo la necesidad de intervención manual y acelerando las entregas. Este proceso se verá complementado por la capacidad de ajustar y optimizar modelos de cálculo estructural en tiempo real, lo que permitirá realizar simulaciones más precisas y personalizadas para cada situación.

A medida que la IA y la metodología BIM continúen evolucionando, la combinación de ambas no solo transformará los métodos de diseño y construcción, sino que también permitirá una gestión más eficiente. Los modelos de infraestructura generados podrán ser utilizados para la operación y el mantenimiento de las estructuras de forma más efectiva, anticipando necesidades de mantenimiento y optimizando los recursos durante toda la vida útil del proyecto.

8. Conclusiones

La implementación de la metodología BIM en el proyecto Rail Báltica ha permitido mejorar significativamente la eficiencia, coordinación y calidad en todas las fases del proyecto. Desde el diseño hasta la ejecución, el uso de herramientas digitales avanzadas como Allplan Bridge y Allplan 2023 ha optimizado tanto los tiempos

como los costos, a la vez que ha reducido los errores y mejorado la precisión en el trabajo.

La clave del éxito en este proyecto fue la planificación anticipada y el establecimiento de flujos de trabajo claros desde el inicio. Este enfoque permitió una integración fluida de todas las disciplinas, lo que facilitó la detección temprana de interferencias y la resolución de conflictos antes de que afectaran a la construcción. Gracias a la interoperabilidad de los modelos y la automatización de tareas como la medición de materiales y la generación de planos, se logró un importante ahorro de tiempo y recursos.

Además, la capacidad de generar modelos detallados en 3D no solo contribuyó a una ejecución más precisa, sino que también ofreció un valor a largo plazo para la gestión futura de la infraestructura. Los modelos BIM servirán como base para el mantenimiento y futuras intervenciones, lo que facilita una operación más eficiente y reduce el riesgo de errores durante toda la vida útil del proyecto.

En cuanto a las perspectivas de futuro, el uso de inteligencia artificial (IA) en la ingeniería estructural y la metodología BIM promete continuar transformando la industria. La IA puede llegar a automatizar aún más el diseño y la optimización de las estructuras, lo que permitirá mejorar la eficiencia en la fase de planificación. Además, la IA podrá generar diseños a partir de datos iniciales y ajustar los modelos según las condiciones cambiantes del proyecto, reduciendo las necesidades de intervención manual.

Referencias

[1] Logistik Inside, "The railway project of the century in the Baltics could become a new Northern European growth engine," Rail Baltica, [Online].

<https://www.railbaltica.org/the-railway-project-of-the-century-in-the-baltics-could-become-a-new-northern-european-growth-engine-article-by-logistik-inside/>.