

METODOLOGÍA BIM. EL GEMELO DIGITAL EN LA INFRAESTRUCTURA MILITAR

Resumen

La digitalización de infraestructuras militares es clave para optimizar la gestión operativa, reducir costos y fortalecer la seguridad en instalaciones críticas. En este proceso, la metodología BIM (*Building Information Modeling*) y el gemelo digital son herramientas esenciales para modernizar la Armada. La metodología BIM permite la creación de modelos digitales tridimensionales con información detallada sobre materiales, costos y mantenimiento, facilitando la planificación y supervisión de proyectos. Su implementación en infraestructuras militares permite monitoreo en tiempo real, simulación de escenarios y optimización del mantenimiento, lo que mejora la eficiencia operativa y minimiza errores en la construcción y gestión de instalaciones estratégicas.

La adopción de estas tecnologías se enfrenta a desafíos como la ciberseguridad, la interoperabilidad con sistemas actuales, la capacitación del personal y la inversión en tecnología. Para lograr una integración efi-

ciente, se plantean estrategias específicas que en un futuro podrían facilitar el cumplimiento de una serie de objetivos, que incluyen: el desarrollo de un marco normativo y estándares BIM, la integración progresiva en planificación y ejecución y la coordinación interinstitucional y colaboración, entre otros. La integración de la metodología BIM en las Fuerzas Armadas no sólo mejoraría la gestión de infraestructuras, sino que también reforzaría la seguridad, la sostenibilidad y la resistencia operativa en un entorno cada vez más complejo.

Introducción

En los últimos años, el avance de la transformación digital ha impactado significativamente en todos los sectores, impulsando mejoras en la eficiencia, sostenibilidad y operatividad de las infraestructuras. En este contexto, la metodología BIM¹ ha revolucionado el diseño, la construcción y el mantenimiento de activos, permitiendo la gestión integral de datos a lo largo de todo el ciclo de vida de una infraestructura. BIM ha dejado de ser una simple herramienta de modelado tridimensional para

1. BIM es una metodología de trabajo colaborativa basada en herramientas digitales que permite la gestión avanzada de la información a lo largo del ciclo de vida de una edificación. Interconecta a todos los agentes involucrados en un proyecto, desde la fase de planificación y diseño hasta la construcción, operación, mantenimiento y eventual demolición.

convertirse en una metodología colaborativa que interconecta a los distintos agentes involucrados en un proyecto, garantizando una toma de decisiones informada basada en datos precisos y actualizados.

El sector de la defensa no ha sido ajeno a esta evolución. La Armada, dentro de su proceso de modernización y digitalización de infraestructuras, enfrenta el reto de adoptar nuevas metodologías que permitan optimizar la gestión de sus activos estratégicos. Las infraestructuras militares, por su naturaleza, presentan particularidades que las diferencian de las infraestructuras civiles, ya que requieren elevados estándares de seguridad, resistencia y operatividad, además de cumplir con requisitos específicos de interoperabilidad con sistemas de defensa. En este contexto, la metodología BIM, variante del concepto de gemelo digital, representa una oportunidad única para modernizar la planificación, construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras de la Armada.

La implementación de la metodología BIM en infraestructuras militares no sólo implica la

digitalización de los procesos de gestión y mantenimiento, sino que también supone una redefinición de la estrategia operativa en cuanto a planificación de recursos, optimización logística y capacidad de respuesta ante emergencias. Este artículo explora el impacto de la metodología BIM en la Armada, su integración con el concepto de gemelo digital, los retos específicos de su implementación y la estrategia de acción necesaria para lograr una adopción progresiva y eficaz.

La metodología BIM en infraestructuras militares

Fundamentación y características

BIM es una metodología que permite la creación de modelos digitales que contienen información estructural, técnica, económica y operativa de una infraestructura. Su principal ventaja radica en la capacidad de centralizar toda la información en un único entorno colaborativo, garantizando la interoperabilidad² entre

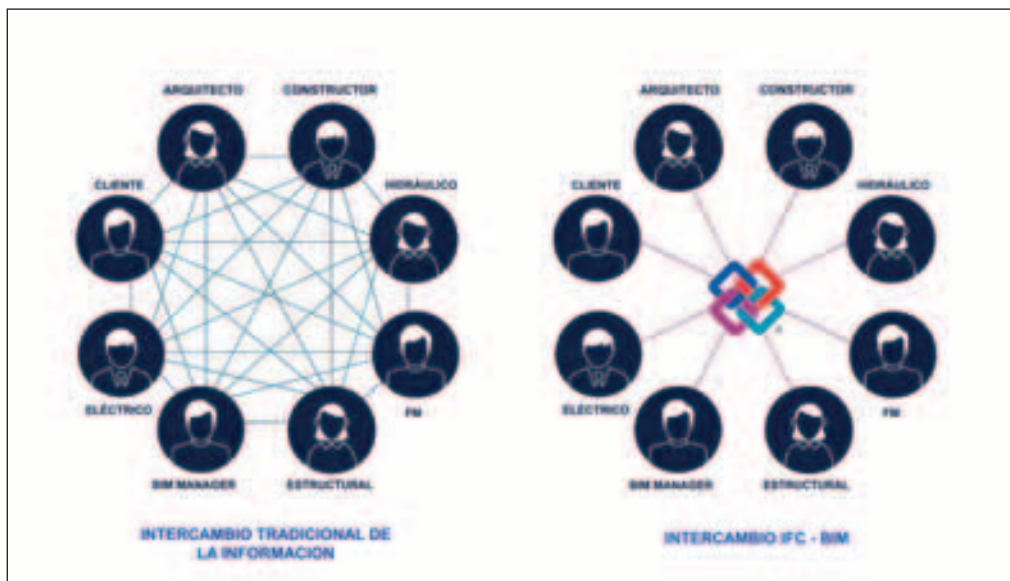
2. IFC es un esquema de datos estructurado que permite el intercambio de modelos BIM entre distintas plataformas de software sin pérdida de información. Sus principales aplicaciones incluyen la coordinación interdisciplinaria y la detección de interferencias, la automatización de mediciones y presupuestos, la planificación de obra con control de calidad y la integración con sistemas de información geográfica (SIG) y plataformas IoT (internet de las cosas).

distintas disciplinas y optimizando la gestión del ciclo de vida de los activos. A diferencia de los métodos tradicionales en los que los distintos agentes trabajan sobre documentos independientes y fragmentados, BIM permite un enfoque coordinado en el que arquitectos, ingenieros, constructores y gestores de infraestructuras trabajan sobre una única fuente de información compartida.

capacidad de anticipar problemas mediante simulaciones y análisis predictivos se convierte en un elemento clave para garantizar la seguridad y eficiencia de los activos.

Beneficios de la metodología BIM en la gestión de infraestructuras militares

La implementación de la metodología BIM en infraestructuras militares conlleva una serie



Interoperabilidad de la metodología BIM. El intercambio IFC. (Imagen proporcionada por el autor)

En el ámbito militar, esta metodología adquiere una relevancia particular debido a las necesidades específicas de seguridad, resistencia y operatividad de las infraestructuras estratégicas. La metodología BIM no sólo facilita la planificación y ejecución de proyectos, sino que también optimiza la gestión del mantenimiento y mejora la resistencia de las instalaciones ante posibles amenazas o fallos estructurales. En un entorno como el de la Armada, donde la continuidad operativa es un factor crítico, la

de beneficios estratégicos que impactan directamente en la operatividad de la Armada. En primer lugar, permite una mejora significativa en la eficiencia operativa, ya que la centralización de datos en modelos digitales facilita la toma de decisiones en tiempo real. Gracias a la interoperabilidad de los modelos BIM con otros sistemas de gestión logística y operativa, es posible optimizar la planificación del mantenimiento, reducir tiempos de inactividad y mejorar la asignación de recursos.

Otro aspecto clave es la reducción de costes. La detección temprana de errores durante la fase de diseño y planificación minimiza la posibilidad de sobrecostes y retrasos en la ejecución de proyectos.

La metodología BIM permite realizar simulaciones detalladas de distintos escenarios, evaluando alternativas antes de la fase de construcción y garantizando la optimización de los recursos disponibles. Además, la integración de información económica en los modelos facilita el control presupuestario y mejora la transparencia en la gestión de inversiones.

En términos de sostenibilidad, esta metodología contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a la reducción del impacto ambiental de las infraestructuras militares. A

través de análisis energéticos y simulaciones de eficiencia operativa, es posible optimizar el consumo de recursos como agua y electricidad, alineando las infraestructuras militares con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética promovidos a nivel nacional e internacional.

Otro beneficio fundamental es la mejora en la seguridad y resistencia de las infraestructuras. La posibilidad de integrar modelos BIM con sistemas de ciberseguridad y control de accesos permite reforzar la protección de instalaciones críticas. Asimismo, el análisis de riesgos mediante simulaciones avanzadas facilita la planificación de estrategias de respuesta ante emergencias, garantizando una mayor capacidad de reacción ante posibles amenazas externas o fallos internos.



El gemelo digital en el ámbito naval.
(Imagen proporcionada por el autor)

El gemelo digital y su aplicación en la Armada

Definición y alcance del gemelo digital

El concepto de gemelo digital se basa en la creación de una réplica virtual dinámica de un activo físico, que permite su monitorización en tiempo real, el análisis predictivo de su comportamiento y la optimización de su rendimiento. Su origen se remonta a los desarrollos de la NASA en la década de 2010, cuando esta tecnología fue utilizada para la supervisión y mantenimiento de sistemas inaccesibles físicamente.

En el ámbito naval, la Armada ha comenzado a integrar el concepto de gemelo digital en sus buques dentro de la iniciativa Armada 4.0. Su aplicación se basa en el uso de tecnologías como *big data*, IoT³ e inteligencia artificial para mejorar la gestión y mantenimiento de las unidades navales.

Aplicaciones de la metodología BIM en la Armada

La metodología BIM permite ampliar las capacidades de gestión de las infraestructuras militares en varios ámbitos clave. En primer lugar, facilita el mantenimiento predictivo mediante la monitorización continua de las instalaciones. Gracias a la integración de sensores IoT en infraestructuras críticas, es posible recopilar datos sobre el estado de los sistemas y anticipar posibles fallos antes de que ocurran, evitando interrupciones operativas y

optimizando los recursos destinados al mantenimiento.

Otra aplicación fundamental es la simulación de escenarios estratégicos. El modelo digital permite evaluar distintas situaciones operativas, analizando el impacto de factores externos, como el desgaste estructural, condiciones ambientales extremas o ataques cibernéticos. De este modo, la Armada puede desarrollar planes de contingencia más efectivos y mejorar su capacidad de respuesta ante emergencias.

Además, la metodología BIM facilita la gestión eficiente de los recursos energéticos y logísticos. La posibilidad de modelar el consumo energético y optimizar la distribución de suministros permite reducir costes y mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras. Asimismo, la capacidad de simular el flujo de personal y equipos en instalaciones críticas contribuye a mejorar la seguridad y eficiencia operativa.

Implementación progresiva de la metodología BIM en la Armada

Para garantizar una adopción efectiva de la metodología BIM en la Armada es necesario desarrollar un plan de implementación escalonado. En una primera fase, se deben identificar las infraestructuras prioritarias para la integración de esta tecnología, priorizando aquéllas que presenten mayores necesidades de optimización y control.

3. IoT aplicado a la metodología BIM permite la integración de dispositivos y sensores inteligentes en el entorno de construcción para optimizar el monitoreo y la gestión de los edificios. Mediante éste, los datos recopilados por sensores (como temperatura, humedad o consumo energético) pueden ser incorporados a los modelos BIM, mejorando la toma de decisiones, el mantenimiento predictivo y la eficiencia operativa a lo largo del ciclo de vida de un edificio. Esto proporciona una mayor automatización, control en tiempo real y una mejor gestión de recursos.

Paralelamente, es fundamental establecer estándares de interoperabilidad que permitan la integración de esta metodología con otros sistemas de gestión y control. En fases posteriores, la Armada debe desarrollar programas de formación específicos para capacitar al personal en el uso de esta tecnología. La adopción de la metodología BIM implica un cambio en la cultura organizativa, por lo que es necesario garantizar que todos los agentes involucrados comprendan su funcionamiento y beneficios.

Retos y desafíos en la implementación de la metodología BIM en la Armada

A pesar de los múltiples beneficios que ofrece la implementación de la metodología BIM en infraestructuras militares, su integración en la Armada no está exenta de desafíos. Uno de los principales obstáculos radica en la ciberseguridad y la protección de la información sensible. Las infraestructuras militares albergan datos estratégicos que, en caso de una brecha de seguridad, podrían comprometer

la operatividad de la Fuerza. Por ello, es fundamental establecer protocolos de encriptación y gestión de accesos que garanticen la seguridad de los datos en todos los niveles de operación.

Otro reto importante es la interoperabilidad con sistemas existentes. La Armada ya cuenta con plataformas digitales avanzadas para la gestión de logística, mantenimiento y operaciones. La integración de esta metodología debe garantizar la compatibilidad con estos sistemas, evitando la fragmentación de la información y facilitando el acceso a datos relevantes en tiempo real.

La formación del personal es otro aspecto crítico. La digitalización de las infraestructuras militares requiere un cambio en la cultura organizativa, en la que el personal técnico y operativo debe estar capacitado en el uso de herramientas BIM. Para ello, es necesario desarrollar programas de formación continua, adaptados a los diferentes niveles de responsabilidad dentro de la organización.



Entorno militar BIM. (Imagen proporcionada por el autor)

Finalmente, la inversión en tecnología es un factor clave. La implementación de sistemas de monitorización en tiempo real, el desarrollo de plataformas de gestión digital y la adquisición de *software* especializado requieren una asignación presupuestaria significativa. Sin embargo, esta inversión se justifica a largo plazo por la reducción de costes operativos, la optimización de recursos y la mejora en la seguridad y eficiencia de las infraestructuras.

Análisis DAFO⁴. Adaptación del BIM a las particularidades de las Fuerzas Armadas

La implementación de BIM en la Armada enfrenta diversas debilidades, como la resistencia al cambio debido a su estructura jerárquica, la falta de capacitación especializada y la complejidad de integración con los sistemas existentes. Además, los altos costos iniciales, la necesidad de adaptación a normativas militares y los riesgos de ciberseguridad dificultan su adopción.

Entre las amenazas, la falta de coordinación en su implementación podría generar inconsistencias y fragmentación en la gestión. La rápida evolución tecnológica exige inversión constante para evitar la obsolescencia. También existe el riesgo de excluir a pymes de contratos, aumentar la exposición a ciberataques y

enfrentar escasez de profesionales capacitados en BIM.

A pesar de estos desafíos, la Armada cuenta con fortalezas clave, como su estructura jerárquica que facilita una implementación ordenada, su cultura de planificación a largo plazo y su experiencia en la integración de tecnologías avanzadas. Además, dispone de recursos especializados y del respaldo institucional para adoptar BIM de manera eficiente. Finalmente, BIM representa una gran oportunidad para modernizar la Armada, mejorar la coordinación entre unidades y optimizar el mantenimiento mediante IA y gemelos digitales. La colaboración con el sector privado, la sostenibilidad y el desarrollo de empleo digital



Análisis DAFO.
(Imagen proporcionada por el autor)

4. DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades.

son otros beneficios clave que pueden potenciar la eficiencia y seguridad en la gestión de infraestructuras militares.

Estrategias para la integración de la metodología BIM en las Fuerzas Armadas

La adopción de la metodología BIM en las Fuerzas Armadas requiere un enfoque estructurado que garantice su efectiva integración en la gestión de infraestructuras militares. Para ello, es importante exponer las estrategias específicas que en un futuro podrían facilitar el cumplimiento de estos objetivos, definiendo una hoja de ruta estructurada y adaptada a las particularidades del contexto estudiado:

—Desarrollo de un marco normativo y estándares BIM: un paso importante para la adopción de la metodología BIM en las Fuerzas Armadas es la definición de un marco normativo que estandarice su aplicación en proyectos de infraestructura. Esto incluiría la elaboración de protocolos para la generación, intercambio y gestión de modelos digitales. La implementación de estándares internacionales, como ISO 19650, permitiría garantizar la interoperabilidad y la integración con otras plataformas tecnológicas utilizadas en la gestión de recursos militares.

—Integración progresiva en los procesos de planificación y ejecución: para una adopción eficiente, sería necesario introducir la metodología BIM de manera progresiva en los distintos niveles de planificación, diseño, construcción y operación de infraestructuras militares. Esto implicaría la selección inicial de proyectos piloto que permitirían evaluar la viabilidad de la metodología y ajustar su implementación en función de los resultados obtenidos. La integración de esta metodología

en el ciclo de vida de las infraestructuras favorecería una transición más eficiente y una optimización de los recursos disponibles.

—Capacidades tecnológicas y equipamiento: la adopción de la metodología BIM requeriría la actualización de las infraestructuras digitales de las Fuerzas Armadas, incluyendo *software* especializado, estaciones de trabajo de alto rendimiento y sistemas de almacenamiento de datos en la nube. La implementación de plataformas de gestión centralizada permitiría un acceso seguro y eficiente a la información, asegurando la protección de datos estratégicos y su disponibilidad para la toma de decisiones operativas.

—Formación y desarrollo de competencias: uno de los principales desafíos en la implementación de la metodología BIM es la capacitación del personal. Para ello, sería necesario diseñar programas de formación adaptados a los diferentes niveles de responsabilidad dentro de la organización. La inclusión de cursos especializados y certificaciones permitiría dotar al personal de las competencias necesarias para el uso de herramientas BIM y la gestión de modelos digitales.

—Coordinación interinstitucional y colaboración: debido a que la metodología BIM implica la integración de diferentes actores en el desarrollo de proyectos, sería fundamental establecer mecanismos de coordinación entre las distintas ramas de las Fuerzas Armadas, así como con entidades externas. La colaboración con organismos públicos, empresas del sector de la construcción y universidades facilitaría el desarrollo de mejores prácticas y la innovación en la aplicación de esta tecnología.

—Evaluación continua y ajuste de estrategias: finalmente, la implementación de la

metodología BIM debería incluir un sistema de evaluación continua que permitiera medir su impacto y ajustar las estrategias en función de los resultados obtenidos. La recopilación y análisis de datos operacionales permitiría optimizar la gestión de infraestructuras, identificar áreas de mejora y maximizar los beneficios asociados a esta metodología.

Conclusiones

La modernización de las infraestructuras militares mediante la metodología BIM representaría un paso esencial en la transformación digital de la Armada. La digitalización de los procesos de planificación, construcción, operación y mantenimiento permitiría mejorar la eficiencia operativa, optimizaría el uso de los recursos y reforzaría la seguridad y resiliencia de las instalaciones estratégicas.

La implementación de esta metodología en la Armada no sólo responde a la necesidad de modernizar sus infraestructuras, sino que también se alinea con las estrategias nacionales e internacionales de digitalización en el sector de la construcción y la gestión de activos. La metodología BIM proporcionaría un control integral sobre el estado y el rendimiento de las infraestructuras, permitiendo anticipar fallos, optimizar la planificación logística y mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias.

No obstante, su adopción requeriría superar desafíos relacionados con la ciberseguridad, la interoperabilidad con sistemas existentes, la capacitación del personal y la inversión en tecnología. La clave del éxito radicaría en la definición de una estrategia de implementación progresiva, basada en el desarrollo de normativas específicas, la ejecución de proyectos piloto y la formación de equipos especializados.

(Imagen facilitada por el autor)



En un entorno de creciente complejidad y exigencias estratégicas, la Armada debe posicionarse a la vanguardia en la gestión de infraestructuras mediante el uso de tecnologías digitales avanzadas. La metodología BIM

podría marcar un hito en la evolución de las infraestructuras militares, garantizando su sostenibilidad, operatividad y seguridad en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, «Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la Contratación Pública Española», 2019, <https://www.mitma.gob.es> [Último acceso: 20 de marzo de 2025].
- Comisión Europea: «BIM y Transformación Digital en la Contratación Pública», 2020. Disponible: <https://ec.europa.eu> [Último acceso: 23 de marzo de 2025].
- BuildingSMART España: «Marco para la Implementación del BIM en España», 2022. Disponible: <https://www.buildingsmart.es> [Último acceso: 28 de marzo de 2025].
- Autodesk: «Aplicación del BIM en el ciclo de vida de infraestructuras», 2023. Disponible: <https://www.autodesk.es> [Último acceso: 15 de marzo de 2025].
- Ministerio de Defensa de España: «Normativa de Infraestructuras en el Ámbito Militar», Madrid: MINISDEF, 2020.
- Davies, S.: «Adopción de BIM en proyectos de infraestructura de defensa», *Journal of Defence Technology*, vol. 15, n.º 3, pp. 215-227, 2021.
- Smith, A. E.: «Digital Twin and BIM Integration for Military Infrastructure», *Journal of Defense Engineering*, vol. 25, n.º 3, pp. 145-167, 2021.
- Trimble: «BIM y gemelos digitales en infraestructuras», 2022. Disponible: <https://www.trimble.com> [Último acceso: 9 de marzo de 2025].
- Trimble, «Tecnología BIM en Infraestructuras Militares», 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.trimble.com> [Último acceso: 23 de marzo de 2025].
- Rodríguez, S., y Pérez, J.: «La modernización de las infraestructuras de defensa a través de BIM», *Revista Ingeniería Militar*, vol. 18, n.º 2, pp. 34-56, 2022.
- García, P.: «Implementación del BIM en bases navales», *Ingeniería y Construcción Naval*, vol. 12, n.º 1, pp. 78-92, 2021.
- Fernández, A.: «El concepto de Gemelo Digital en infraestructuras estratégicas», *Tecnología y Defensa*, vol. 6, n.º 4, pp. 112-130, 2023.
- Torres, L.: «Aplicaciones del IoT en la gestión de infraestructuras militares», *IEEE Transactions on Military Engineering*, vol. 30, n.º 7, pp. 214-229, 2020.
- Martínez, F.: «BIM y la interoperabilidad en infraestructuras de la Armada Española», *Revista de Ingeniería Naval*, vol. 19, n.º 3, pp. 89-102, 2022.
- Allen, S.: «Desafíos de implementación de BIM en contextos militares», *Engineering News*, vol. 5, n.º 12, pp. 45-52, 2021.
- NATO Science & Technology Organization: «Digital Transformation in Military Infrastructure», Bruselas: NATO STO Publications, 2021.