La tecnología del Gemelo Digital, como alternativa de apoyo para el mantenimiento del ciclo de vida de las Unidades Navales en la Marina de Guerra del Perú

Digital twin technology as a support alternative for the life cycle maintenance of Naval Units in the Peruvian Navy.

Contralmirante Rudi Piero Quiñonez Benedetti. Egresado de la Escuela Naval del Perú el 1 de enero de 1995. Es calificado en electrónica e ingeniería de sistemas. Ha seguido los cursos de Inteligencia por correspondencia, Básico de Estado Mayor, Comando y Estado Mayor, Programa de Alto Mando Naval, V Curso Especial de Estado Mayor Conjunto, Docentes Navales, y Administración y Gestión Empresarial. Asimismo, cuenta con una maestría en Telecomunicaciones y en Dirección Estratégica y Liderazgo. Ha seguido un Curso de Especialización en Gestión Empresarial y un diplomado en Seguridad y Salud en el Trabajo.Durante su servicio a bordo, se desempeñó en el B.A.P. *Santillana* y el B.A.P. *Villavisencio*. Ha prestado servicios en dependencias y en diferentes zonas navales en las áreas de telemática y material, como oficial ayudante en la Comandancia General de Operaciones del Pacífico, oficial de dotación de la Comandancia de la Flotilla de Superficie n.º 1, oficial ayudante en el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo del Servicio de Armas y Electrónica, Subjefe del Servicio de Armas y Electrónica, Comandante de la Estación Naval de Pucallpa, Subdirector del Centro de Entrenamiento Táctico Naval, Director de Normas Técnicas del Material, Jefe de los Servicios Industriales de la Marina - Callao. Actualmente, se desempeña como Director de los Arsenales Navales de la Marina.

Resumen: El presente artículo tiene como finalidad resaltar la importancia del uso de nuevas herramientas tecnológicas en los arsenales navales de la Marina de Guerra del Perú, que permitan optimizar el monitoreo y la ejecución de las actividades para el mantenimiento y modernización de sus unidades navales, considerando que estas instalaciones son de gran relevancia para las operaciones militares marítimas y de defensa nacional. Por ese motivo, la implementación de estas nuevas herramientas en la industria naval permitirá mejorar la eficiencia operativa, la planificación estratégica y la capacidad de respuesta, a la vez que reduce el tiempo de inactividad y optimiza los recursos para mantener una fuerza naval moderna y lista para hacer frente a los desafíos emergentes en el ámbito marítimo.

Palabras clave: Arsenal naval, industria 4.0, industria 5.0, inteligencia artificial, gemelo digital, automatización, big data, SISMAN.

Abstract: *This article aims to review the importance of using new technological tools in Naval Arsenals of the Peruvian Navy, which allow optimizing the monitoring and execution of activities for the maintenance and modernization of Naval Warships of the Peruvian Navy, taking in account that these facilities are of great importance for maritime military operations as well as national defense. For this reason, the implementation of these new tools in the naval industry will improve operational efficiency, strategic planning and response capacity, while reducing downtime and optimizing resources, which allow maintaining a modern naval force and ready to face emerging challenges in the maritime field.*

Keywords: *Naval arsenal, industry 4.0, industry 5.0, artificial Intelligence, digital twins, automation, big data, SISMAN.*

Introducción

El avance y la innovación de la tecnología han conllevado a lo que actualmente conocemos como la quinta revolución industrial (5IR). Estas tecnologías se caracterizan porque son colaborativas tanto con humanos como con máquinas, e implementan tecnologías disruptivas emergentes que exigen una acción rápida por parte de las distintas instituciones públicas, tanto del mundo académico, la industria como la militar (Ariza et al., 2021).

En este contexto, la Marina aplica la 5IR, ya que presenta tanto potencias como desafíos y tecnologías, como la inteligencia artificial, la robótica, la cadena de bloques, la realidad virtual, la nanotecnología, la computación en nube, la biotecnología y los macrodatos, que desempeñan un papel importante para el desarrollo de la industria marítima, como lo señala Abdel (2022) en función al cumplimiento de su misión (MGP, 2023).

Por otro lado, la industria marítima necesita alinear sus esfuerzos y colaborar para abordar las brechas actuales, y prepararse para el futuro de la tecnología autónoma, incluido los buques de superficie autónomos marítimos (MASS).

Si bien estas tecnologías pueden intensificar la competencia en la guerra naval, en última instancia, servirán para mantener los conocimientos actuales sobre la energía marítima y sus efectos estratégicos (Hameed, 2022); y están transformando completamente la gestión del ciclo de vida en la industria naval, las cuales, a través de un conjunto de actividades englobadas dentro

del ámbito del diseño de buques, permiten asegurar la integridad funcional y física, y a mantener en constante monitoreo los diferentes sistemas de una embarcación militar durante su etapa de servicio, con una velocidad y amplitud nunca antes vistas, hasta ahora, en la industria naval militar.

En este sentido, nos encontramos en una encrucijada de innovación buscando soluciones avanzadas para optimizar la operación y el mantenimiento de los buques de la Marina de Guerra. No obstante, desde el año 2021, se ponen en debate las tecnologías que formarán parte de la industria 5.0, en el que se considera como uno de los pilares la inteligencia artificial, que, en estos días, representa mucha ayuda a la toma de decisiones.

Los sistemas de identificación automática han permitido, en un contexto industrial, conectar el mundo físico, por ejemplo productos, herramientas, robots, instalaciones de fábricas o vehículos aéreos no tripulados (UAV), con el mundo virtual, como los gemelos digitales con simulación, modelos de inteligencia artificial (IA) y analítica avanzada, que automatizan las operaciones. Estas herramientas son las que facilitan la integración del estado del arte vigente de nuestros sistemas reales con una maqueta virtual.

En la actualidad, el mantenimiento de las unidades navales se ha convertido en una tarea fundamental para garantizar su operatividad y eficiencia. Ante este desafío, la tecnología del gemelo digital se presenta como una alternativa innovadora y eficaz para optimizar su ciclo de vida.

El gemelo digital es una réplica virtual de un activo físico, que, a través de la recopilación y análisis de datos en tiempo real, permite simular diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de la unidad en condiciones reales, obteniendo datos de los sensores, equipos de ingeniería y sistemas de armas.

Para contar con ello, la Marina de Guerra se encuentra desarrollando el Sistema de Mantenimiento del Material Naval (SISMAN), cuyo objetivo es facilitar la gestión y el análisis de grandes volúmenes de información, ya que cuenta con una plataforma que recopila y almacena datos relacionados al mantenimiento de las unidades navales, y que la convierte en una herramienta fundamental, ya que proporcionará información precisa y actualizada sobre el estado de las unidades, los componentes que requieren atención y las tareas de mantenimiento realizadas (Gutiérrez, 2023).

En este sentido, la industria 5.0 ha dado lugar a importantes beneficios emergentes. En este contexto del concepto de gemelo digital e inteligencia artificial, se presenta como una herramienta revolucionaria que va más allá

de la representación virtual y la virtualización de decisiones, ofreciendo un enfoque integral para elevar la capacidad operativa de las unidades navales de cualquier Marina del mundo.

Camino a la industria 5.0 de los servicios del astillero del Arsenal Naval

La reforma de la industria naval en el Perú no solo impulsa la modernización y el fortalecimiento de las capacidades navales, sino que también proyecta un impacto significativo en la economía del país; de esta manera, se vienen implementando medidas estratégicas para mejorar la eficiencia, innovación y sostenibilidad en la industria naval, generando múltiples beneficios económicos.

La evolución de la industria 4.0 ha introducido tecnologías avanzadas, como la automatización, el internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos para mejorar la eficiencia y la productividad en los astilleros de los arsenales navales, que impulsan la competitividad e identifican procesos que permitan una mayor monitorización y la reducción de los tiempos de producción y los costos asociados (Carro y Sarmiento, 2022).

Caro y Sarmiento (2022) mencionan los nueve pilares de la industria 4.0 que contribuyeron a la digitalización e integración de técnicas y factores económicos que dieron lugar a la transformación de la industria 5.0: el big data, la automatización, la simulación, la integración de sistemas, el internet de las cosas, la ciberseguridad, los servidores virtuales, la manufactura aditiva y la realidad virtual. Estos pilares han permitido, a la vez, crear nuevos modelos de negocios y mejorar las capacidades y funcionalidades de las empresas.

Sin embargo, la industria 5.0, al incorporar la interacción entre humanos y máquinas de manera más estrecha, va un paso más allá. Esto puede traducirse en una mejor colaboración entre trabajadores y sistemas automatizados, que permita una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la producción de la industria naval, e implementen prácticas de trabajo más sostenibles y seguras en los astilleros, que disminuyan los reprocesos y corrijan fallas desde el diseño de las embarcaciones hasta su puesta en marcha, lo cual permitirá mantener un seguimiento de manera real de la operación de sus sistemas (Ariza et al., 2021).

Ante situaciones de esta índole, el astillero del Arsenal Naval debe evolucionar hacia la industria 5.0, implementando un sistema que pueda balancear la relación entre el hombre y la máquina para fortalecer el proceso de transformación, dirigida a dar mayor relevancia a las tecnologías

innovadoras con estrategias que permitan tomar decisiones no solo para satisfacer las necesidades de su capacidad productiva, sino para alcanzar una mejor gestión de los activos y procesos industriales, y optimizar el ciclo de vida de las embarcaciones construidas (Caro y Sarmiento, 2022).

Uso del gemelo digital en el Arsenal Naval

Un gemelo digital es un modelo virtual de un objeto físico. Abarca el ciclo de vida del objeto y utiliza los datos en tiempo real enviados por sus sensores para simular el comportamiento y supervisar las operaciones.

Actualmente, existen diversos conceptos o perspectivas de gemelo digital, que ofrecen una visión multifacética y completa de esta innovadora tecnología. Una de ellas menciona que los gemelos digitales son un concepto y no un producto o una pieza tecnológica. Por ello, diferentes tecnologías se unen para formar esta realidad y hacerla cada vez más amplia (Freire, 2020).

> En el ámbito naval, es una representación virtual de un buque real que recibe información relevante de sus sistemas, la cual podrá ser almacenada y explotada para dar soporte a diversos procesos de decisión en operaciones y sostenimiento del buque. El gemelo digital añade la información de los sensores de los equipos, lo que proporciona una visión dinámica y a tiempo real del buque (García, 2023, p. 258).

Podemos también decir que, un gemelo digital es un *software* que construye una solución, integrando información y procesos entre otros *softwares* y aplicando tecnología para conseguir operar con el mundo físico, simular, predecir y presentar al usuario lo que necesita de una forma intuitiva para que pueda tomar decisiones más rápidas y fiables (De Juana, 2020).

Por su parte, Leclère (2018) define al gemelo digital como la maquetación virtual de un producto, proceso o servicio. Es un puente entre el mundo virtual y el mundo físico, que permite simular escenarios de funcionamiento desde la concepción a través de todo el ciclo de vida del producto, así como analizar datos para mejorar su funcionamiento, y realizar monitorizaciones para identificar problemas antes de que ocurran.

En las diferentes definiciones, se destaca el resultado de la convergencia de múltiples disciplinas y enfoques tecnológicos. Además, al mencionar que esta realidad se vuelve cada vez más amplia, sugiere que el campo de los gemelos digitales está en constante evolución y expansión.

García (2023), menciona que a la hora de aplicar un concepto o modelo, es de enorme importancia conocer la madurez de dicha tecnología, de manera

que podamos valorar adecuadamente si dicho concepto está suficientemente maduro y supone una oportunidad o, por el contrario, adoptaremos el concepto de forma temprana con un riesgo importante de fracaso.

En el ámbito de la industria naval, el desarrollar un buque inteligente incrementa la capacidad de explotación y optimización de su operación en diferentes ámbitos de su ciclo de vida, porque abre oportunidades para contar con un astillero constructor inteligente, un arsenal mantenedor, un operador y una cadena de suministro inteligente (García-Legaz y Rego, 2018).

Como ejemplo de la evolución de esta tecnología, astilleros de gran prestigio mundial han implementado el gemelo digital como estrategia para el sostenimiento de sus construcciones en el ámbito militar, siendo, en el caso de Navantia, el principal y primer proyecto para la Armada de España la implementación del gemelo digital en la fragata F-110 (Navantia, 2020).

Figura 1.
Representación del modelo digital de la fragata española F-110.

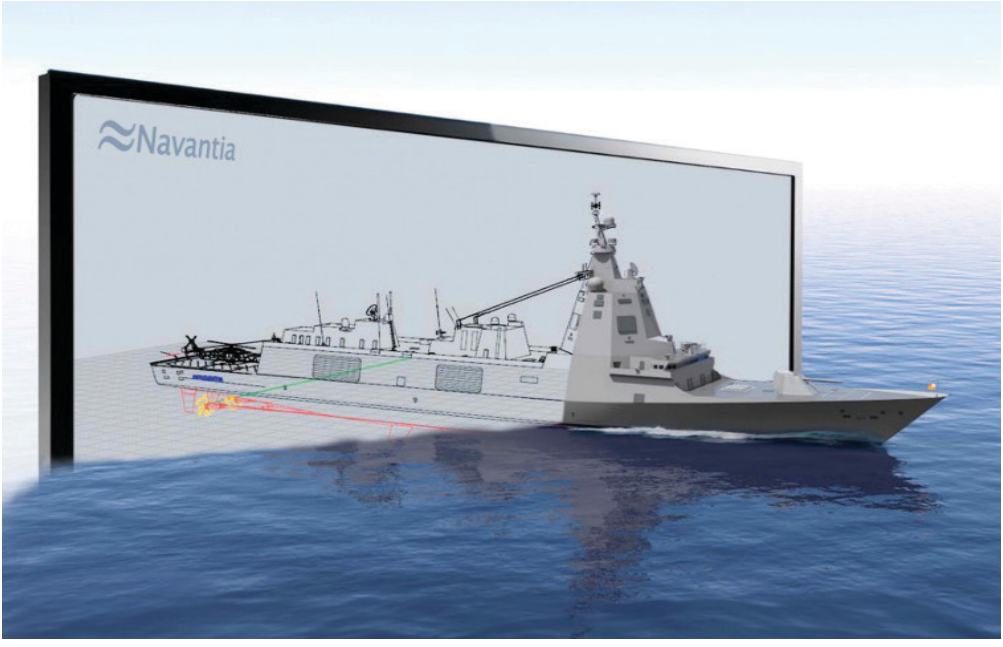


Imagen: Navantia.

Navantia se encuentra desarrollando un sistema ciber-físico, en el que ha definido el concepto de astillero 4.0 combinando dos componentes, el físico y el virtual, entre los cuales aparece el modelo del gemelo digital a través del desarrollo de productos inteligentes en la cadena de suministro mediante plataformas de conectividad, que está permitiendo contar con un buque, sostenimiento, astillero y operaciones inteligentes (García-Legaz y Rego, 2018).

Entre otros astilleros, DAMEN está inmerso en diversos proyectos relacionados con tecnología 4.0, en los que destaca el desarrollo de un buque autónomo, el cual permite realizar ciertas operaciones que se integran en una plataforma única, denominada DAMEN DIGITAL, en la que se combinan diversos desarrollos y sirve como puerta enlace, de forma que se recopilan los datos para ser mostrados a sus clientes a través de IoS (DAMEN, 2019).

En Corea del Sur, a partir del año 2015, se echó a andar un centro de innovación para el sector naval, Samsung Heavy Industries, Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering y Hyunday Heavy Industries. El principal ejemplo de los desarrollos que se están llevando a cabo en los astilleros coreanos se puede ver en el buque conectado de Hyunday Heavy Industries: se recogen datos a bordo del buque en tiempo real, los cuales se transfieren a tierra, lo que permite a la compañía ofrecer servicios al cliente a lo largo del ciclo de vida del buque (Spragg et al., 2017).

Gracias al desarrollo de plataformas inteligentes, como IoT, big data, machine learning, han permitido el análisis de datos obtenidos por los diferentes sistemas del buque a través de su gemelo digital y que, de forma eficiente y segura, mejoran su rendimiento y sostenimiento inteligente, capaz de monitorear y controlar remotamente, de manera integral todos los sistemas y equipos del buque, ofreciendo soluciones de manera predictiva, prescriptiva y automatizada; gestionando acciones de sostenimiento y proporcionando la transferencia de conocimientos tanto al personal encargado del mantenimiento como a sus dotaciones (García-Legaz y Rego, 2018).

Evolución del arsenal naval con el uso de la tecnología del gemelo digital

La evolución del arsenal naval con el uso de la tecnología del gemelo digital representa un cambio paradigmático en la forma en que se diseñan, construyen y operan los buques de guerra en todo el mundo. Esta innovación ofrece una representación virtual precisa de cada componente de una embarcación y su entorno, lo que permite a los diseñadores y constructores realizar simulaciones detalladas y análisis de rendimiento antes de que se inicie la producción física. Esta capacidad no solo reduce los costos y los plazos de entrega, sino que también mejora la calidad y la eficiencia en todo el proceso de desarrollo naval.

Además de optimizar el diseño y la construcción de los buques, el gemelo digital también desempeña un papel crucial en el mantenimiento y la reparación de la flota naval. Al mantener una réplica virtual actualizada de cada componente de una embarcación, los equipos de mantenimiento pueden monitorear continuamente su estado y rendimiento en tiempo real. Esto facilita la detección temprana de problemas potenciales, permite la planificación proactiva de mantenimiento y minimiza el tiempo de inactividad no planificado, lo que resulta en una flota más confiable y disponible para el servicio.

Otro aspecto fundamental de la evolución del arsenal naval con el gemelo digital es su impacto en el entrenamiento avanzado de la tripulación naval. Al recrear entornos de navegación realistas y escenarios de operación en el gemelo digital, las tripulaciones pueden recibir una capacitación más efectiva y realista sin poner en riesgo la seguridad de la tripulación o de la embarcación. Esto ayuda a mejorar la preparación y el rendimiento de la tripulación en situaciones de combate, emergencias y maniobras difíciles, lo que aumenta la eficacia operativa y la seguridad en el mar.

Además de mejorar la eficiencia operativa y la seguridad de la flota naval, la tecnología del gemelo digital también tiene un impacto significativo en la optimización de la logística y en la cadena de suministro naval. Al modelar digitalmente los procesos de logística, almacenamiento y distribución de repuestos y suministros, las organizaciones navales pueden identificar y eliminar cuellos de botella, reducir el inventario excesivo y mejorar la eficiencia en general. Esto garantiza que las unidades navales estén adecuadamente abastecidas y listas para cumplir con sus misiones en todo momento, incluso en entornos operativos desafiantes.

Finalmente, el gemelo digital también desempeña un papel crucial en el fortalecimiento de la ciberseguridad naval. Al simular y analizar posibles vulnerabilidades en los sistemas de control y comunicaciones de una embarcación, las organizaciones navales pueden implementar medidas preventivas y defensivas para protegerse contra ataques cibernéticos y garantizar la integridad y la confidencialidad de sus datos críticos. Esto es especialmente importante en un entorno marítimo cada vez más conectado digitalmente, en el que las amenazas cibernéticas pueden provenir de una variedad de actores malintencionados.

Proyección de los arsenales navales en la Marina de Guerra del Perú

En el año 1938, para precisar, mediante el Decreto Supremo n.º 017 del 31 de julio, se incorporó al servicio de la Marina de Guerra el Arsenal Naval, con el fin de contar con una organización que permita el seguimiento y control de la construcción de los futuros proyectos, así como la ejecución y supervisión de los trabajos de mantenimiento y modernización de los sistemas y equipos de las unidades navales, y, además, asegurar la sostenibilidad en sus respectivos ciclos de vida.

En el año 2023, luego de haber realizado una evaluación a los arsenales navales de la Marina, el alto mando naval dispuso iniciar el proceso de reestructuración organizacional y misionamiento de manera experimental, el cual permitirá ejecutar el mantenimiento de las unidades navales de la Marina de Guerra del Perú; asimismo, gestionar la adecuada administración, control y supervisión de los arsenales navales para su mejora continua, acorde al estado de arte vigente, con el fin de contribuir al fortalecimiento del desarrollo de la industria naval a través del Servicio de Mantenimiento de Armas, Electrónica y Sensores, el Servicio de Mantenimiento de Plataformas Navales y el Servicio de Mantenimiento Aeronaval.

Es por ello que, la construcción naval militar tiene como objetivo introducir elementos muy específicos, tales como el diseño frente a requisitos rigurosos, la larga vida de los buques de guerra y la unidad de acción que constituyen con sus dotaciones, lo que hace necesario que los conceptos generales de industria 5.0 se adapten a dichas características propias, dando lugar a un entorno particular del astillero (en sus facetas de diseñador, constructor y sostenedor).

La constante evolución de esta carrera y el incesante progreso tecnológico mantienen al SISMAN en constante actualización. En la actualidad, la tecnología 5.0 representa un enfoque centrado en la integración y colaboración estrecha entre seres humanos y sistemas inteligentes, ofreciendo soluciones en tiempo real. Los principales astilleros han adoptado esta tecnología, especialmente en el ámbito naval, lo que les ha brindado diversas oportunidades de desarrollo.

No resulta descabellado considerar que los Servicios Industriales de la Marina (SIMA Perú S.A.) adopten en un futuro cercano esta tecnología para la construcción de nuevos buques para la Marina de Guerra del Perú, lo que permitiría el desarrollo de una tecnología superior a la existente y nos posicionaría como líderes y diferenciadores entre los arsenales navales de la región. En este escenario, el factor determinante será la formación, experiencia y actitud de las personas involucradas.

En síntesis, la introducción de gemelos digitales y la adopción de la industria 5.0, mediante la colaboración del aliado estratégico contratado por el SIMA para el proceso de construcción de buques de guerra, brindarán a la Marina de Guerra del Perú una ventaja estratégica considerable en lo que respecta a la formación de su personal. Esta medida no solo mejorará la preparación y eficacia de nuestras fuerzas navales, sino que también impulsará el desarrollo de una industria naval nacional más competitiva y avanzada tecnológicamente.

Conclusión

Actualmente, el Estado peruano se encuentra inmerso en un proceso de reforma industrial destinado a fortalecer su industria naval. En este contexto, la Marina de Guerra del Perú ha establecido alianzas estratégicas tanto con entidades públicas como privadas con el fin de aumentar la capacidad productiva de los astilleros, especialmente del SIMA Perú S.A. Como parte integral de esta iniciativa, se debe contemplar la implementación del gemelo digital como el primer paso hacia la transformación de estos astilleros en instalaciones inteligentes, con la aspiración de liderar en este ámbito tanto a nivel nacional como latinoamericano.

La visión de contar con un arsenal naval inteligente se fundamenta en la integración avanzada de la tecnología industrial 5.0 y el gemelo digital, lo que permitirá crear un entorno operativo digital dentro de los astilleros. Este enfoque no solo implica una representación precisa de cada componente de las naves, sino que también tiene como objetivo utilizar esta información para prevenir posibles fallas antes de que ocurran, garantizando así una mayor excelencia operativa, seguridad para las fuerzas marítimas y protección de la soberanía nacional.

Asimismo, se destaca la importancia del Sistema de Mantenimiento del Material Naval (SISMAN) como una herramienta fundamental para recopilar datos sobre el estado y mantenimiento de las unidades navales. La combinación de este sistema con los principios de la industria 4.0 facilitará la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo, predictivo y automatizado, respaldando así la transición hacia la industria 5.0.

Por otro lado, se reconoce la necesidad de desarrollar el capital humano necesario para aprovechar al máximo las tecnologías avanzadas en la industria naval. Esto implica la formación y capacitación de profesionales en áreas como la ciencia de datos, la inteligencia artificial y la ingeniería de sistemas, lo que no solo beneficiará al sector tecnológico del país, sino que también contribuirá al crecimiento y desarrollo de la industria en general.

En resumen, este enfoque integral hacia la modernización de la industria naval peruana busca no solo fortalecer la competitividad de la nación en el ámbito internacional, sino también garantizar la seguridad y protección de los intereses marítimos del país.

Referencias

1. DAMEN. (2019). Smart sensor mapping breaks new ground in maritime remote monitoring. *Damen Magazine*. https://www.damen.com/en/magazines/2019/02/smart-sensor-mapping-breaks-new-ground-in-maritime-remote-monitoring
2. DE JUANA, R. (2020). Gemelos digitales, aliados de la industria en el futuro. https://www. muycomputerpro.com/2020/07/13/gemelos-digitales-aliados-de-la-industria-en-el-futuro
3. FREIRE, C. (2020). Gemelo Digital. *Ingeniero Marino*. https://ingenieromarino.com/gemelo-digital/
4. GARCÍA, A. (2023). La Ciberdefensa del Gemelo Digital en los Buques de la Armada. *Revista General de Marina*, pp. 258-261. https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2023/03/RGMMarzo2023Parte05.pdf
5. GARCÍA-LEGAZ, A. y Rego, C. (2018). Una visión del Astillero 4.0 de Navantia. *Revista General de la Marina*. 2018, vol. 275, pp. 249-281.
6. GUTIÉRREZ GOZZER, A. (2023). El desarrollo del Arsenal naval y de la Marina de Guerra en la era de la informática. *Revista de Marina*, n.º1, pp.52-61.
7. LECLÈRE, R. (2018). El auge del "gemelo digital" gracias al IoT en la Industria 4.0. (A. d. España, Ed.) Ausape (57), pp. 30-31. https://ausape.com/ documentos/Media/Publicaciones/Revistas/2018/ R57_Ausape.pdf
8. NAVANTIA. (2020). Guía de orientación sobre Gemelo digital. https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glosary/digital-twin/24465
9. SPRAGG, A., MYLON, P., DOLET, C., y GOTTIEB, C. (2017). *Maritime in the new*. 12. https://www.accenture.com/nl-en/insight-maritime-new