

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

*Twin*NavAux

Análisis de vigilancia tecnológica y Estado del arte de tecnologías relacionadas con el Gemelo Digital

Mayo 2024



Contenido



1

Introducción

2

Definición y conceptos básicos

3

Aplicaciones del Gemelo Digital

4

Tecnologías de aplicación

5

Casos de estudio

6

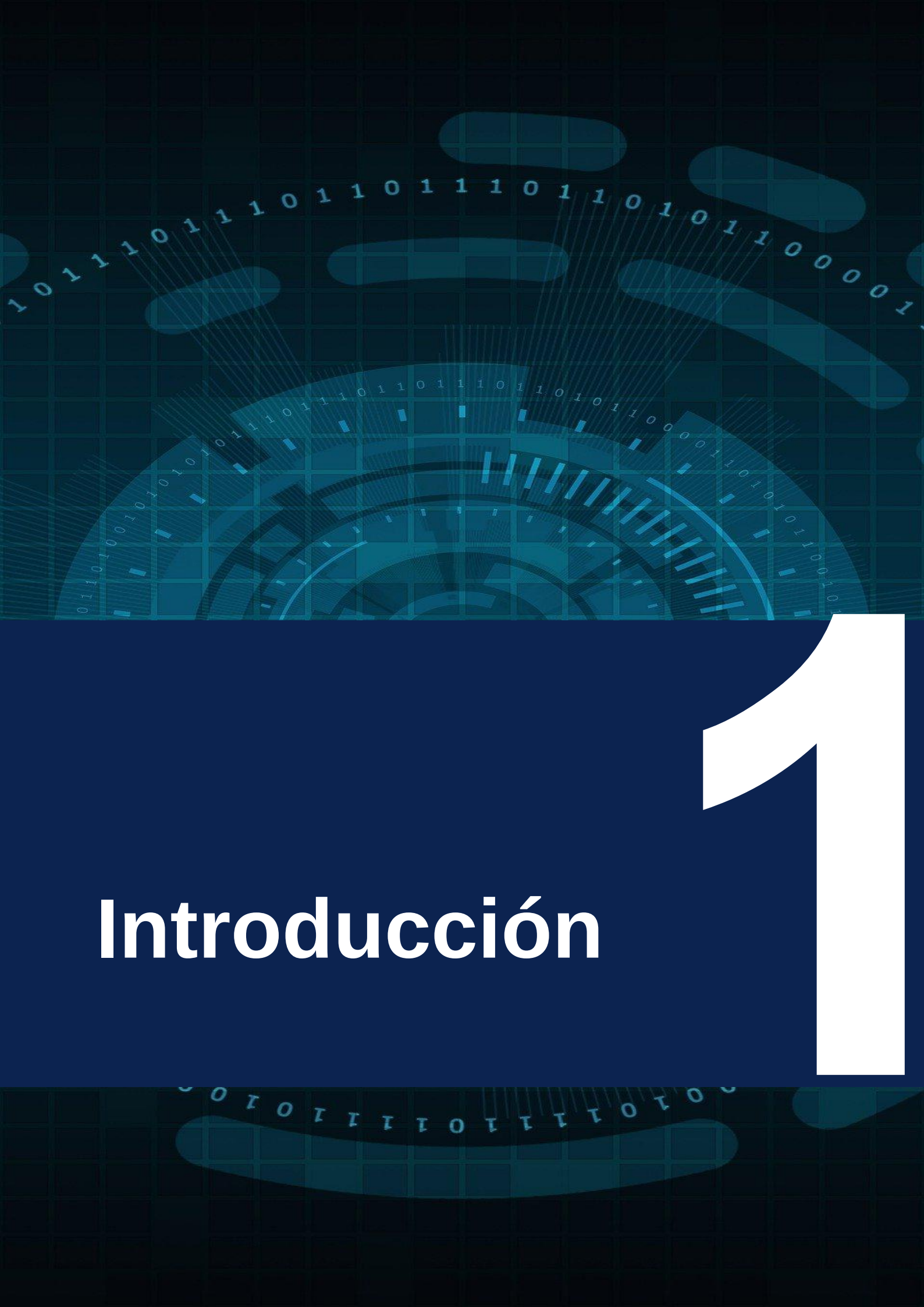
Gemelo Digital en el sector naval

7

Desafíos y futuro

8

Conclusiones

The background features a dark blue grid with glowing binary code (0s and 1s) arranged in curved paths. Overlaid on this are several concentric, semi-transparent circular patterns that resemble stylized orbits or data paths. The overall aesthetic is futuristic and technological.

Introducción

1

Introducción

Twin NavAux

Contexto

1

El proyecto Twin NavAux, financiado con fondo FEDER, se enmarca dentro del programa POCTEP 2021-2027 y está orientado hacia la promoción del empleo del gemelo digital en la industria Auxiliar Naval de Galicia y Norte de Portugal.

El objetivo es establecer las condiciones tecnológicas y de formación del personal necesarias para impulsar la adopción generalizada de modelos de gemelo digital de productos, en este caso, en el ámbito Naval, donde adquiere una especial relevancia por su contribución a la optimización tanto en el proceso de fabricación como en la fase de sostenimiento de un buque cuando entra en operación.

La adopción de la tecnología de gemelo digital en el sector naval adquiere especial relevancia ya que ofrece una variedad de beneficios que van desde la optimización del diseño y las operaciones, hasta la mejora de la seguridad y el cumplimiento normativo. Mediante la implantación de un gemelo digital se permitirá la creación de modelos virtuales precisos de buque, sistemas y procesos antes de su construcción lo que facilitará la identificación de posibles errores y permitirá implantar un mantenimiento predictivo que ayudará a corregir posibles fallos antes de que se conviertan en críticos.

Con todo ello las entidades se verán beneficiadas en materia de gestión de activos navales, ya que una visión centralizada de los mismos proporcionará una visión completa de su estado y rendimiento con lo que se alargará la vida útil de los propios activos y se optimizarán los procesos de asignación de recursos.

La Axencia Galega de Innovación lidera como beneficiario principal de este proyecto, junto con la participación de socios destacados como:



La Asociación Cluster del Naval Gallego (**ACLUNAGA**)



La Universidad de da Coruña (**UDC**)



Industrias Ferri SA



Ibercisa Deck Machinery SA



Electrorayma SL



El Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (**CATIM**)



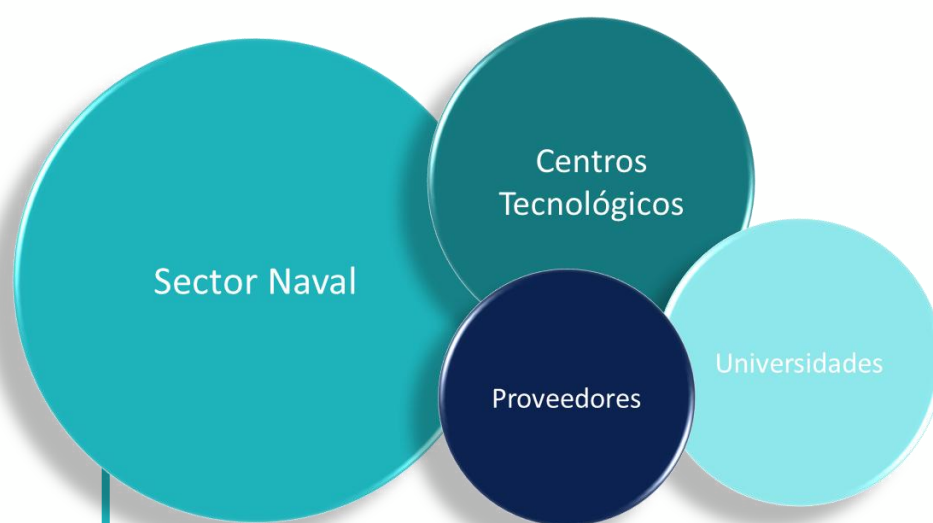
La **Universidade Portucalense** Infante Dom Henrique

Con el fin de llevar a cabo el desarrollo un Gemelo Digital en el sector naval, el presente informe recogerá una identificación necesaria de las capacidades de esta tecnología, el cual servirá como punto de partida para su futuro diseño y desarrollo. A lo largo del documento se llevará a cabo un estado del arte donde se estudiará:

- El desarrollo de **otros proyectos y entidades** que estén trabajando en el sector Naval con la tecnología de gemelos digitales.
- La Creación de un **benchmark de tecnologías** y capacidades profesionales empleadas en el mercado para el desarrollo de proyectos de gemelo digital.

Proyectos y Entidades

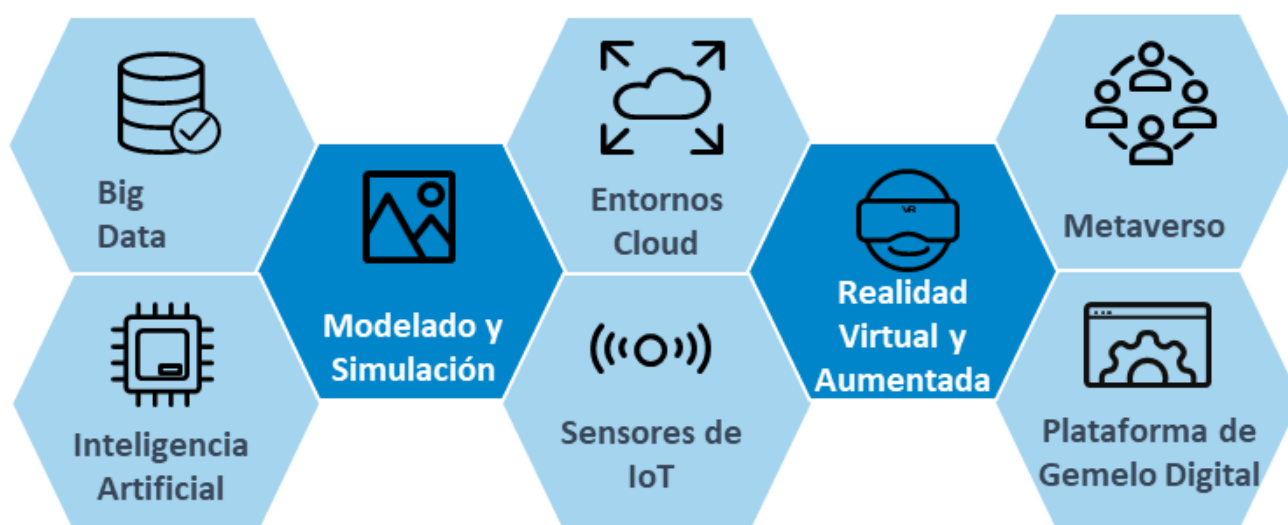
Para dar una mayor profundidad al informe y entender el contexto de partida en el sector naval para con el Gemelo Digital, se propone realizar un estudio de cómo se está aplicando esta tecnología en entidades y proyectos relacionados con este sector y otros subsectores que puedan ser de aplicación. En el gráfico siguiente se exponen algunos de los ámbitos profesionales en los que se buscará estudiar la implicación del gemelo digital:



-  Astilleros
-  Servicios de construcción y reparación
-  Estructura
-  Equipo y accesorios de casco y cubierta
-  Habilitación
-  Sistemas de propulsión
-  Maquinaria Auxiliar
-  Armadores

Algunas de las Entidades identificadas

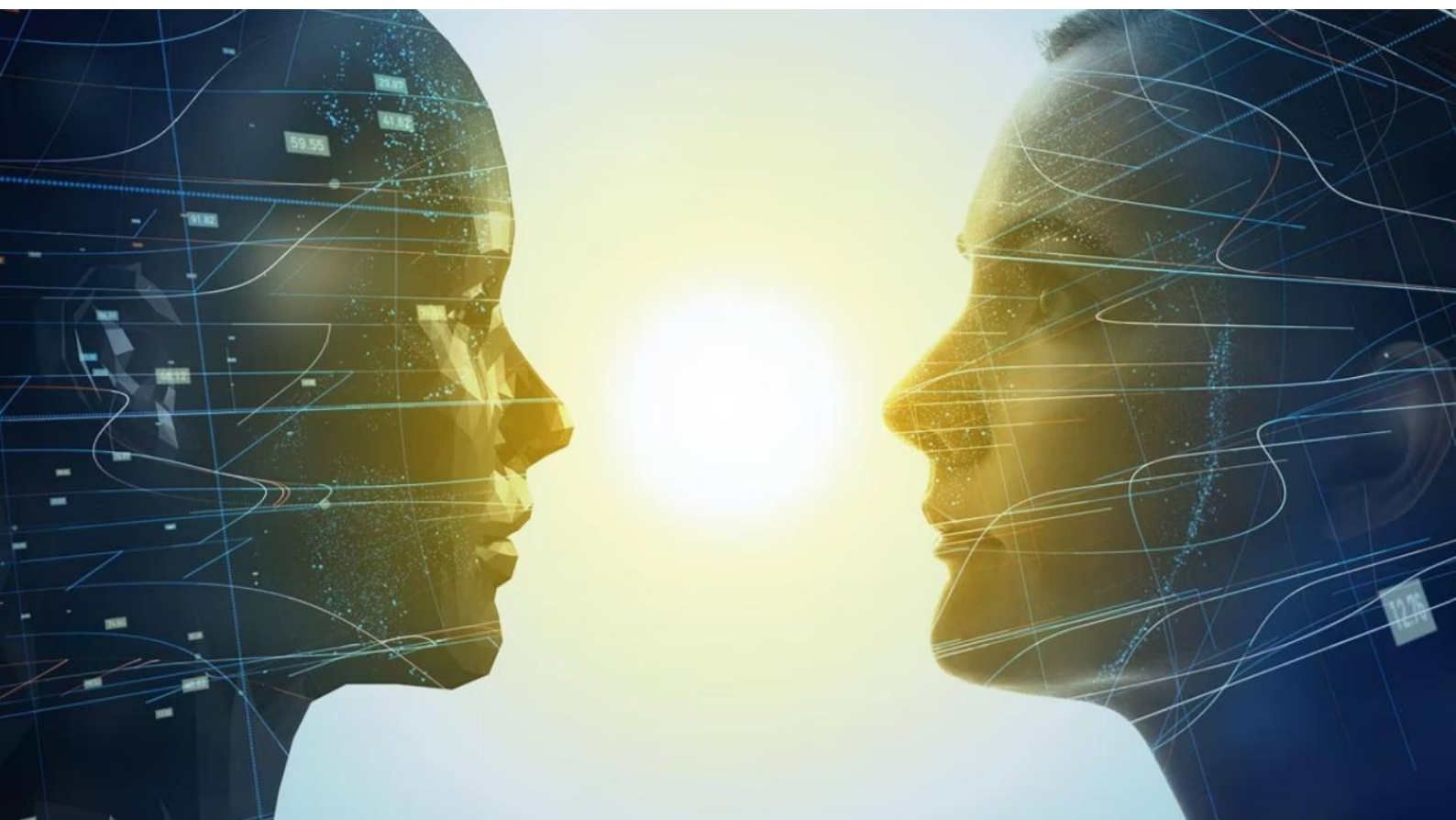
- AISTER (Aislamientos térmicos de Galicia, S.A.)
- Astilleros Armon Vigo S.A.
- Astilleros Blascar-a Graña S.L.
- 360 Integra Data, S.L.
- Abance Ingeniería y Servicios S.L.
- Insider S.L.
- Maessa Naval S.L.U.
- Fluidmecanica, S.A.
- Industrias Ferri S.A.
- Aislamientos Soamar, S.L.
- Teknotherm Marine España S.L.
- DETEGASA (Desarrollo Técnicas Industriales de Galicia, S.A.)
- EMENASA Industria y Automatismo S.A.U.
- ...



- **Big data:** La recopilación y el análisis de grandes cantidades de datos son esenciales para la creación de gemelos digitales precisos. El Big data permite gestionar y procesar información proveniente de diversas fuentes, como sensores y sistemas, para obtener una representación detallada y en tiempo real del objeto o sistema que se está modelando.
- **Inteligencia Artificial:** La IA aporta capacidades avanzadas al gemelo digital, como la capacidad de aprendizaje automático y la toma de decisiones autónoma. Puede optimizar la simulación, prever comportamientos y mejorar la adaptabilidad del gemelo digital a cambios en el entorno o en las condiciones operativas.
- **Modelado y simulación:** La base misma del gemelo digital, el modelado y la simulación permiten recrear virtualmente objetos, sistemas o precisos del mundo real. Esto posibilita probar escenarios, prever comportamientos y optimizar el rendimiento antes de la implementación física.
- **Entornos Cloud:** La computación en la nube proporciona la capacidad de almacenar y procesar grandes cantidades de datos, así como ejecutar simulaciones complejas de manera eficiente. También facilita el acceso remoto a los gemelos digitales y promueve la colaboración entre diferentes partes interesadas que pueden acceder a la plataforma desde ubicaciones dispersas.
- **Sensores de Internet de las Cosas (IoT):** Los sensores IoT recopilan datos del mundo real y los transmiten al gemelo digital. Esto mejora la precisión y la relevancia del modelo al tiempo que permite la monitorización en tiempo real. La información capturada por los sensores contribuye al mantenimiento predictivo, la toma de decisiones informada y la mejora continua del gemelo digital.

- **Realidad Virtual y Aumentada:** Estas tecnologías permiten interactuar de manera más inmersiva con el gemelo digital. La realidad virtual puede ofrecer experiencias de entrenamiento más realistas, mientras que la realidad aumentada facilita la visualización de información contextual en entornos del mundo real, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia operativa.
- **Metaverso:** El metaverso es un espacio virtual compartido que combina aspectos del mundo físico y digital. Puede ser utilizado para colaboración, entrenamiento y simulación en entornos virtuales, lo que añade otra dimensión a la utilidad de los gemelos digitales.
- **Plataforma de Gemelo Digital:** Una plataforma bien diseñada es esencial para integrar y gestionar todas estas tecnologías de manera eficiente. Proporciona una interfaz centralizada para acceder, administrar y actualizar el gemelo digital, así como para colaborar en tiempo real.

Con el análisis de todas estas tecnologías, su impacto en el desarrollo de un gemelo digital y junto con el estudio de otros proyectos que hayan implementado la tecnología de gemelo digital, se buscará obtener una visión clara de partida sobre en qué momento está actualmente este sector y como se está empleando la tecnología de gemelos digitales en otras empresas tanto a nivel de capacidades, como a nivel técnico.



Para llevar a cabo el desarrollo del informe se plantea la metodología de trabajo que se desglosa a continuación:

Aplicaciones de los Gemelos Digitales

Se explorarán las diversas aplicaciones del Gemelo Digital en diferentes ámbitos, sector **Industria, Salud, Energía y Medioambiente** y **otros sectores** relevantes, para entender cómo afecta esta tecnología al mundo profesional.

Casos de estudio

Se analizarán casos de estudio específicos relacionados con gemelos digitales. Estos ejemplos proporcionarán insights sobre las aplicaciones prácticas, los beneficios obtenidos y las **lecciones aprendidas en la implementación de gemelos digitales**.

Desafíos y Futuro

Se abordarán los **desafíos actuales**, como la interoperabilidad de datos, la seguridad cibernética y la adopción cultural. Además, se discutirán las **tendencias emergentes y futuras**.

Definición y Conceptos básicos

La metodología se inicia con la clarificación de términos clave y conceptos fundamentales asociados con los gemelos digitales. Para ello se analizarán la **historia del Gemelo Digital hasta nuestros días**, los **Tipos de Gemelo Digital** y el **Cómo funcionan los gemelos Digitales**.

Tecnologías de aplicación

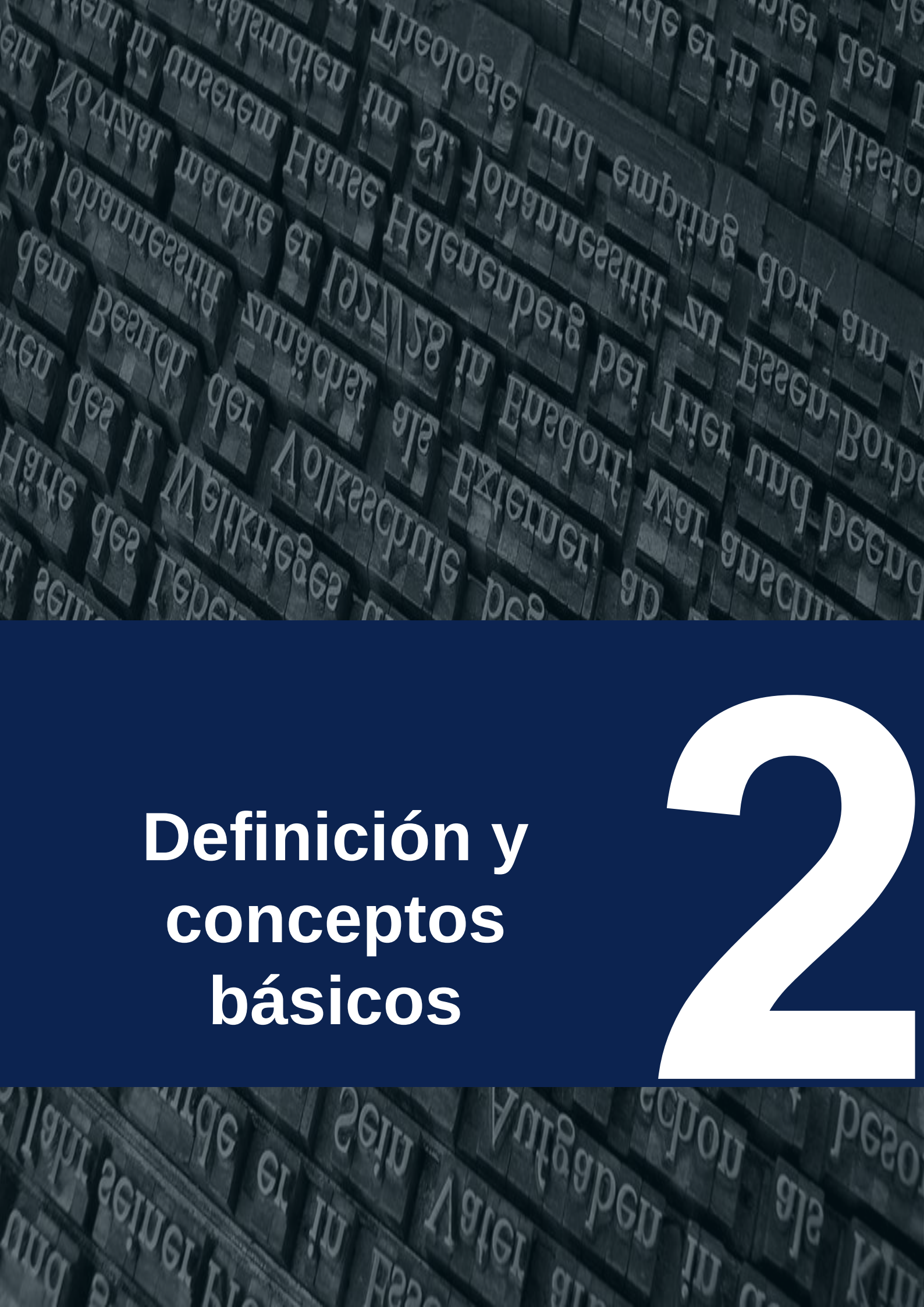
Se detallarán las tecnologías clave utilizadas en la implementación de gemelos digitales, como tecnologías de **Modelado y Simulación, IoT, IA, Big Data, Ciberseguridad**, entre otras. Se destacará cómo estas herramientas convergen para crear representaciones virtuales precisas y dinámicas.

Gemelo Digital en el Sector Naval

Se enfocará en la **adaptación de gemelos digitales** a desafíos particulares del **sector naval**. Destacando **iniciativas** específicas y colaboraciones que han **liderado la integración exitosa** de gemelos digitales en entornos navales.

Conclusiones

La metodología concluirá con una síntesis de los **hallazgos clave**, destacando el **impacto positivo** de los gemelos digitales en el **sector naval**. Se ofrecerán **recomendaciones** para futuras investigaciones y prácticas para **maximizar los beneficios** de los gemelos digitales en entornos navales.



Definición y conceptos básicos

2

Un gemelo digital es una representación virtual de un objeto, sistema o proceso. Abarca su ciclo de vida y se actualiza a partir de datos en tiempo real provenientes de sensores. Utiliza tecnologías que comprenden: la simulación, dispositivos IoT, machine learning y razonamiento para facilitar la toma de decisiones.

Historia

La primera aparición de este concepto fue en la publicación *Mirror Worlds 1991*, donde David Gelenter describió la visión de mundos virtuales que reflejarían y seguirían de cerca el mundo real. No obstante, la primera aplicación del concepto la realizó el Dr. Michael Grieves (Universidad de Michigan) en 2002 en el ámbito de la manufactura, dando paso a la aplicación concreta de esta tecnología y convirtiéndola en una realidad.

La NASA también ha participado en la evolución de este concepto, formalizando y popularizando el término "Digital Twin" en



La esencia del gemelo digital es su capacidad de replicar varios elementos del mundo real, permitiendo supervisar su rendimiento, identificar fallos y tomar decisiones fundamentadas.

2010, al usar gemelos digitales para simular y monitorear sistemas espaciales complejos.

Actualmente, empresas líderes en tecnología como AWS (Amazon Web Services) e IBM reconocen la reciente relevancia de los gemelos digitales, respaldan la eficiencia operativa, y ofrecen servicios a las organizaciones para realizar simulaciones precisas y prever el rendimiento de sistemas complejos. Reflejando la creciente trascendencia que esta tecnología está adquiriendo en el panorama empresarial a nivel global.

1

Década de 1960: Desarrollo de sistemas de CAD. Permitían a los ingenieros crear representaciones digitales de productos y sistemas, allanando el camino para la creación de modelos virtuales.

2

Década de 1970-1980: La tecnología CAD evolucionó para incluir más información sobre el rendimiento y la función de los productos. Los modelos digitales comenzaron a contener datos más.

3

Década de 1990: La adopción generalizada de la informática y el aumento de la capacidad de procesamiento, junto con los avances en la simulación y el modelado permitieron a los ingenieros y diseñadores probar virtualmente sus productos antes de la fabricación física.

4

Década de 2000: El término "gemelo digital" comenzó a utilizarse más formalmente para describir la réplica digital de un objeto, sistema o proceso del mundo real. La proliferación de sensores IoT y la recopilación masiva de datos contribuyeron al enriquecimiento de los gemelos digitales.

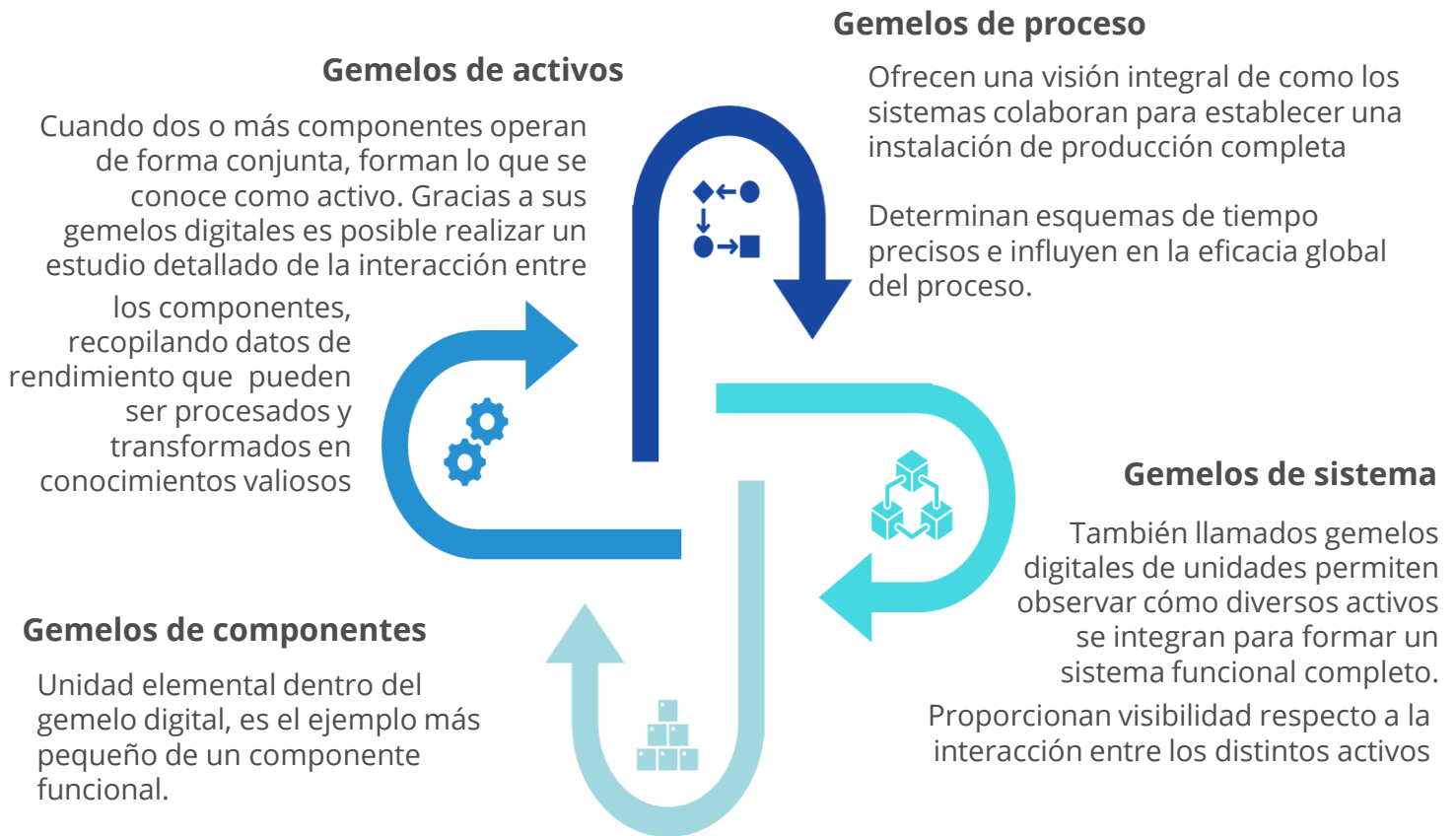
5

Década de 2010: Con los avances en inteligencia artificial, aprendizaje automático y análisis de datos, los gemelos digitales se volvieron más dinámicos y capaces de adaptarse a cambios en tiempo real. Se extendieron más allá del ámbito de la fabricación para incluir aplicaciones en la gestión de activos, el mantenimiento predictivo, la logística y más.

6

Década de 2020-presente: La adopción de gemelos digitales ha seguido creciendo en diversas industrias, como la energía, la salud, la logística y la construcción. La interconexión de gemelos digitales en entornos de IoT y la integración con tecnologías emergentes como la realidad aumentada y el metaverso continúan ampliando las posibilidades y aplicaciones de esta tecnología.

La **clasificación de los gemelos digitales** se estructura en función de su alcance y propósito específicos, siendo su diferencia más destacable, el ámbito de aplicación. Es común encontrarse diferentes gemelos digitales coexistiendo de manera conjunta en un mismo sistema o proceso. A continuación, se detallan los diferentes tipos de gemelos digitales:



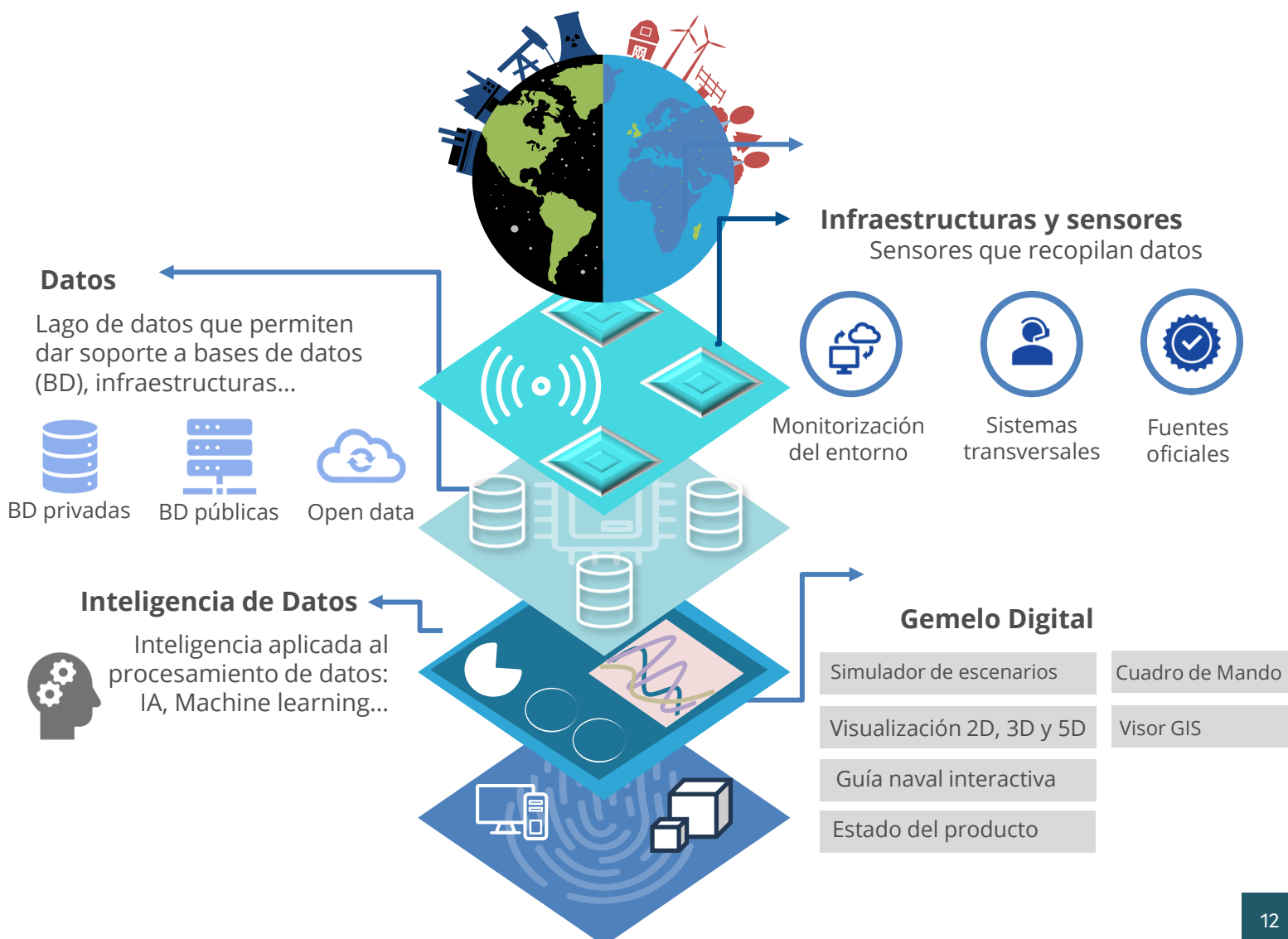
Beneficios y Oportunidades

- **Optimización y mejora en I&D:** gracias a la recopilación de datos que se generan sobre posibles resultados de rendimiento, se puede identificar inefficiencias y mejorar operaciones, incluso antes de comenzar la producción.
- **Simulación y mantenimiento predictivo:** reduce riesgos y costos asociados al mundo físico, a la par que anticipa fallos que permiten reducir tiempos de inactividad no planificados.
- **Colaboración eficiente e innovación continua:** al proporcionar una plataforma común para la manipulación de datos, mejora la colaboración entre departamentos, a su vez abre la oportunidad de experimentación virtual antes de la aplicación práctica.
- **Entrenamiento y formación:** ofrecen entornos simulados para el aprendizaje práctico facilitando el desarrollo de nuevas habilidades.
- **Fin de la vida del producto:** permiten determinar que materiales de los productos se pueden recolectar al final de su ciclo de vida.

¿Cómo funciona un Gemelo Digital?

El funcionamiento de un gemelo digital se basa en la recopilación, integración y análisis de datos en tiempo real para proporcionar una representación precisa y detallada de su contraparte física.

- 1. Recopilación de datos:** El proceso comienza con la recopilación de datos provenientes de diversas fuentes como sensores IoT, sistemas de monitorización y otros dispositivos conectados a los sistemas que posteriormente se emularan.
- 2. Modelado y simulación:** Los datos recopilados se utilizan para crear un modelo que reproduce fielmente la geometría, funcionalidad y el comportamiento del objeto o sistema en cuestión.
- 3. Integración de tecnologías:** El gemelo digital se beneficia de diversas tecnologías como la IA y el análisis Big Data, para procesar y analizar la información recopilada.
- 4. Actualización en tiempo real:** Se mantiene actualizado en tiempo real mediante la continua recopilación de datos. Esto permite reflejar con precisión cualquier cambio en el entorno, asegurando que la representación virtual sea lo más fiel posible a la realidad en cada momento.
- 5. Interconexión y colaboración:** Los gemelos digitales pueden interconectarse con otros sistemas y gemelos permitiendo la colaboración y optimización de procesos a través de la integración de datos y la comunicación entre entidades virtuales y físicas.





Aplicaciones del Gemelo Digital

3

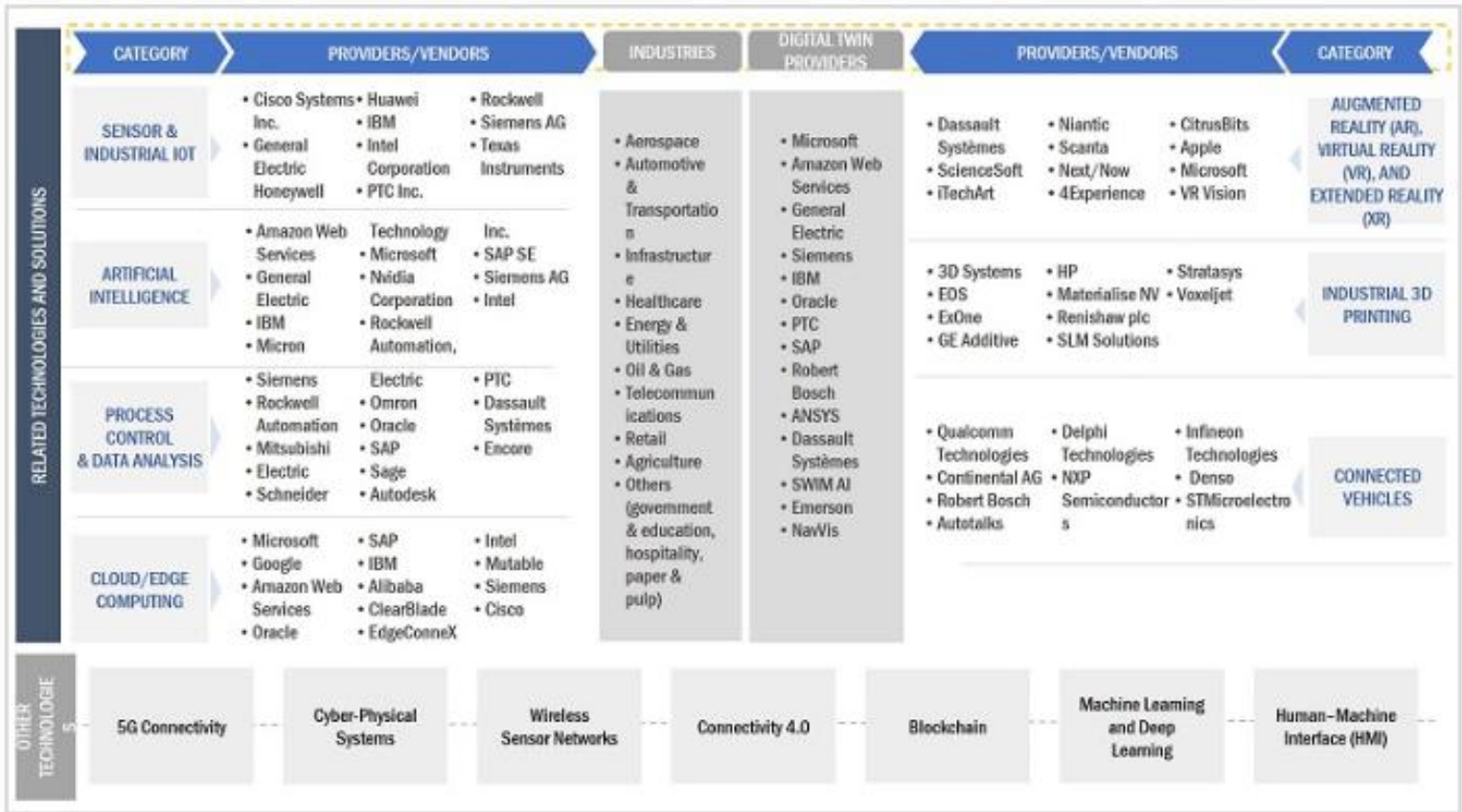
Sectores

Sectores en los que tiene una mayor aplicación en la actualidad.

Probablemente el sector con mayor penetración en el uso de gemelos digitales es el industrial, con aplicaciones en diversos subsectores, como el de automoción, logístico, aeronáutico o naval.

En los últimos años, este nuevo paradigma ha ido siendo adoptado en otros sectores de relevancia, como el de la salud, energía y medioambiente, arquitectura y construcción o servicios públicos, entre otros.

En la tabla siguiente se muestra el ecosistema que se está construyendo alrededor del concepto de gemelo digital y los sectores en los que está penetrando, con unas perspectivas de mercado exponenciales en los próximos 5 años.



Ecosistema de gemelos digitales. Fuente: MarketsAndMarkets

Industria

Es importante señalar que el Gemelo Digital se interpreta de diferentes maneras según el campo de aplicación, los intereses comerciales o los enfoques tecnológicos, lo que causa confusión entre las partes interesadas que desean implementar este tipo de soluciones.

En 2020, con el objetivo de llegar a una definición consensuada, el Digital Twin Consortium publicó el siguiente texto:

"Un Gemelo Digital es una representación virtual de entidades y procesos del mundo real, sincronizados a una frecuencia y fidelidad específicas.

- Los sistemas de gemelos digitales transforman los negocios acelerando la comprensión holística, la toma de decisiones óptima y la acción efectiva.
- Los gemelos digitales utilizan datos en tiempo real e históricos para representar el pasado y el presente y simular futuros predichos.
- Los gemelos digitales están motivados por resultados, adaptados a casos de uso, potenciados por la integración, contruidos sobre datos, guiados por el conocimiento del dominio e implementados en sistemas IT/OT."

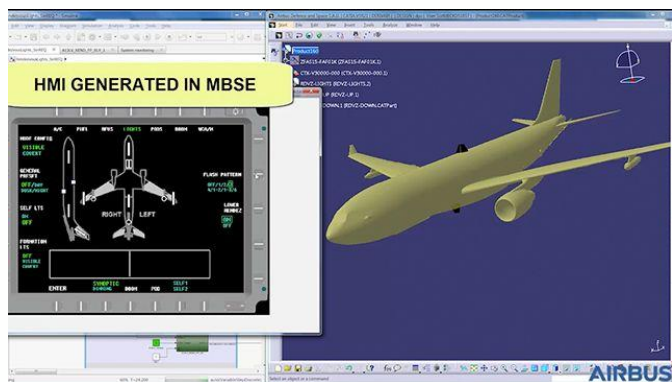


Ejemplos de uso del Gemelo Digital en la industria

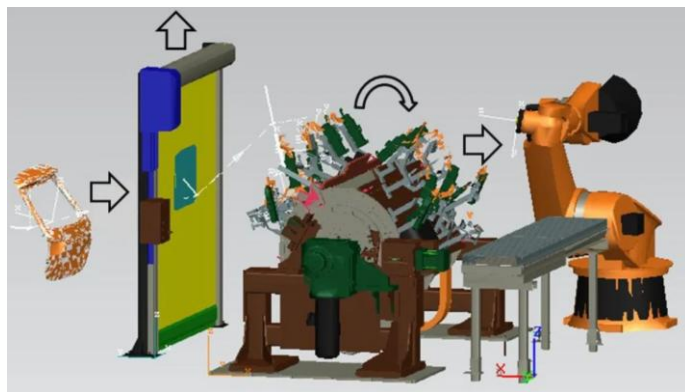
Airbus Defence and Space

Se encuentra inmerso en el proceso de transformación digital. Utilizando la metodología de Ingeniería de Sistemas Basada en Modelos.

Airbus tiene como meta desarrollar un gemelo digital para el proyecto A330 MRTT1. Este enfoque implica la digitalización de requisitos, funcionalidades y diseño en todos los niveles: desde la etapa conceptual hasta el diseño detallado, la fabricación, la verificación y el soporte al cliente. Además, se busca establecer una trazabilidad bidireccional completa, que conecte los requisitos con los elementos y viceversa.



Gemelo digital de A330. Fuente: Airbus



Gemelo digital de sistemas complejos. Fuente: Siemens

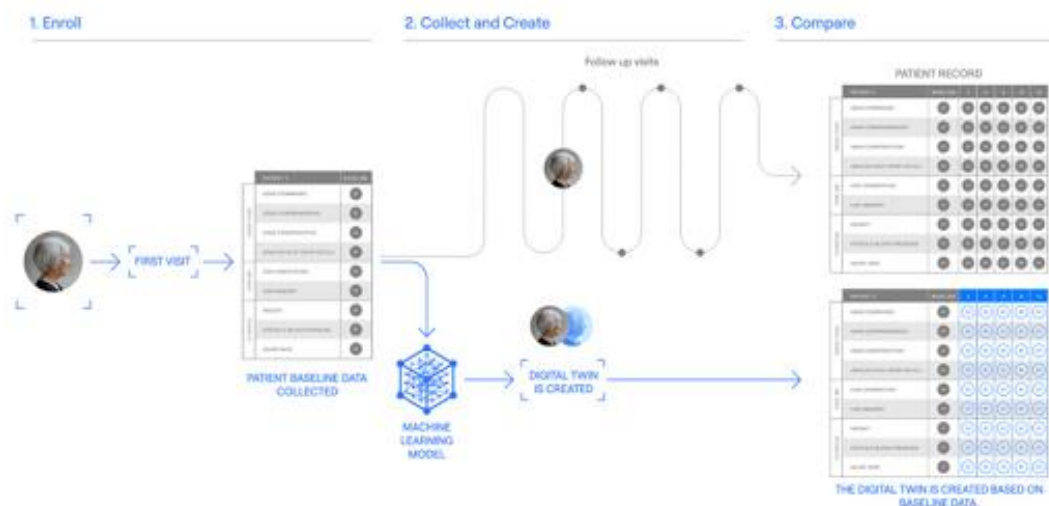
Volkswagen

Colaboró con Siemens en un proyecto de investigación conjunto para mejorar la eficiencia en las líneas de producción. Utilizaron gemelos digitales para crear modelos de simulación de sistemas complejos¹. Una puerta de seguridad, una mesa indexadora rotativa y un robot son tres componentes en una instalación de producción en Volkswagen donde se ensambla el portón trasero de un vehículo de pasajeros. El robot recoge el portón trasero de la mesa indexadora rotativa, que primero se inclina a la posición correcta y luego lo transporta a la siguiente estación. La puerta de seguridad cerrada protege a las personas en la fábrica de los movimientos de la mesa y el robot, pero debe abrirse cuando se coloca un nuevo portón trasero en la mesa. Los tres componentes de la planta son controlados y coordinados por software que asegura que el robot y la mesa indexadora rotativa no se muevan si la puerta de seguridad está abierta, por ejemplo. Un error de software podría causar accidentes graves y pérdidas materiales importantes. Pruebas exhaustivas, especialmente aquellas realizadas en una etapa temprana en un gemelo digital de la planta, ayudan a evitar accidentes como este.

Ejemplos de uso del Gemelo Digital en salud

Unlearn

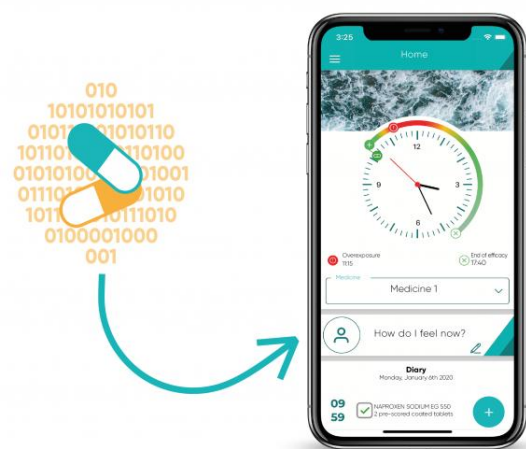
Esta es una empresa líder en la investigación clínica que utiliza gemelos digitales que simulan la trayectoria de la enfermedad de un paciente en función de datos históricos y escenarios relevantes.



Funcionalidades de Unlearn. Fuente: Unlearn

ExactCure

Este sistema simula la eficacia y las interacciones de los fármacos en el cuerpo del paciente, teniendo en cuenta características personales como la edad, sexo, estado renal, genotipo y otros factores.



Aplicación móvil de ExactCure. Fuente: ExactCure

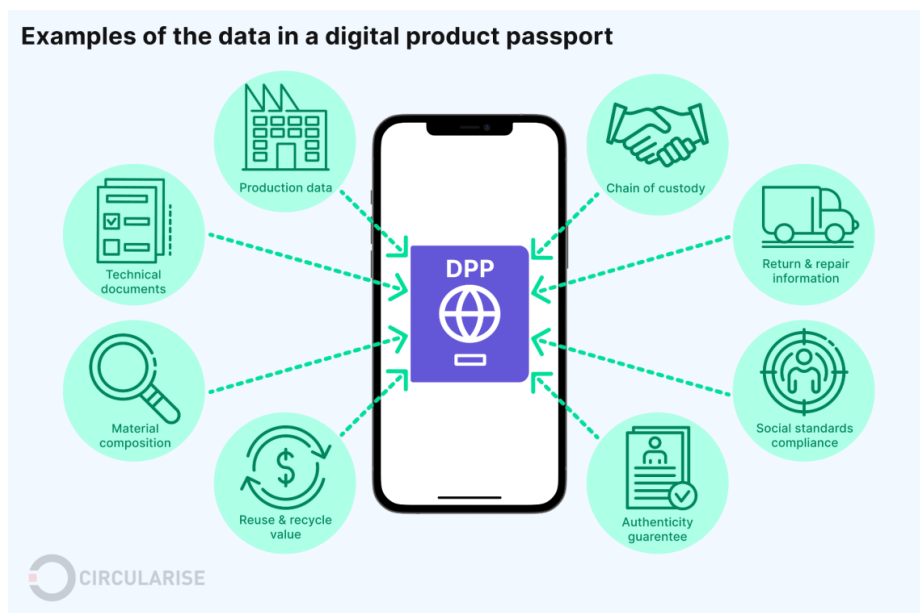
Ejemplos de uso del Gemelo Digital en energía y medioambiente

Algunas de las aplicaciones en este campo son:

- Diseñar y optimizar procesos de generación, distribución y consumo de energía renovable, reduciendo costes y emisiones de CO2.
- Monitorizar y controlar el estado y el rendimiento de los activos energéticos, como plantas solares, eólicas o hidroeléctricas, realizando mantenimiento predictivo y previniendo fallos.
- Simular y analizar escenarios futuros de demanda y oferta de energía, adaptando la gestión y la operación de la red eléctrica a las condiciones cambiantes.

Crear políticas de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, basadas en datos reales y modelos predictivos, que mejoren el uso de los recursos y minimicen el impacto ambiental.

En el ámbito de la circularidad, cobrará especial relevancia el Pasaporte Digital de Producto (Digital Product Passport, DPP), que puede ser interpretado también como una especie de Gemelo Digital.



Ejemplo de datos en un DPP. Fuente: Circularise

Ejemplos de uso del Gemelo Digital en energía y medioambiente

Siemens Gamesa

Está colaborando con NVIDIA para crear gemelos digitales basados en la física para optimizar el diseño de parques eólicos en alta mar.

Permiten modelar con precisión los efectos de la colocación de turbinas en una gran variedad de escenarios meteorológicos. La plataforma de gemelos digitales utiliza la infraestructura Omniverse, el metaverso de NVIDIA.



Gemelo digital de aerogeneradores. Fuente: NVIDIA

Endesa

Está desarrollando un gemelo digital de su red de distribución eléctrica en España. Este proyecto, denominado Network Digital Twin, recrea una réplica exacta de la red real en un modelo virtual. Abarcando 90,000 kilómetros de líneas aéreas de media y alta tensión, 1,311 subestaciones y 144,000 centros de distribución.

El objetivo es permitir una gestión más eficiente y precisa de la red eléctrica.

The background is a dark blue gradient with a subtle grid pattern. It features several curved, glowing blue lines and arcs. Binary code (0s and 1s) is scattered throughout, some appearing to be part of the glowing arcs. The overall aesthetic is futuristic and technological.

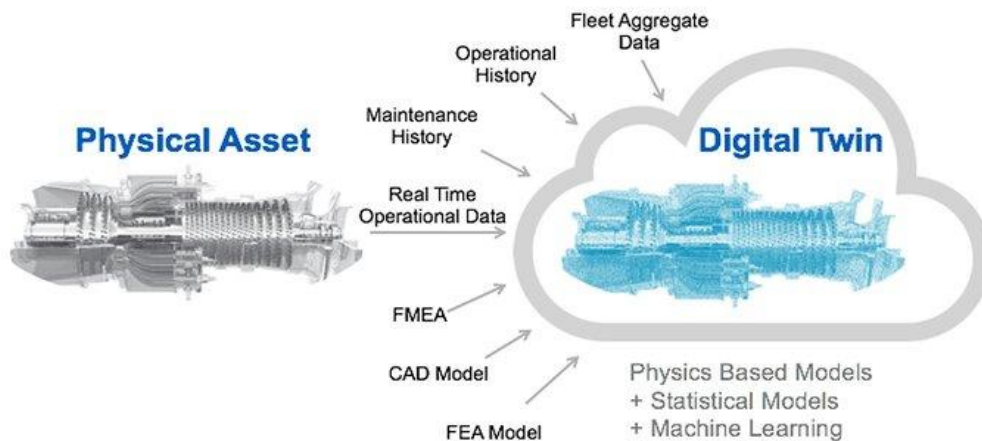
**Tecnologías de
aplicación**

4

Componentes tecnológicos del Gemelo Digital

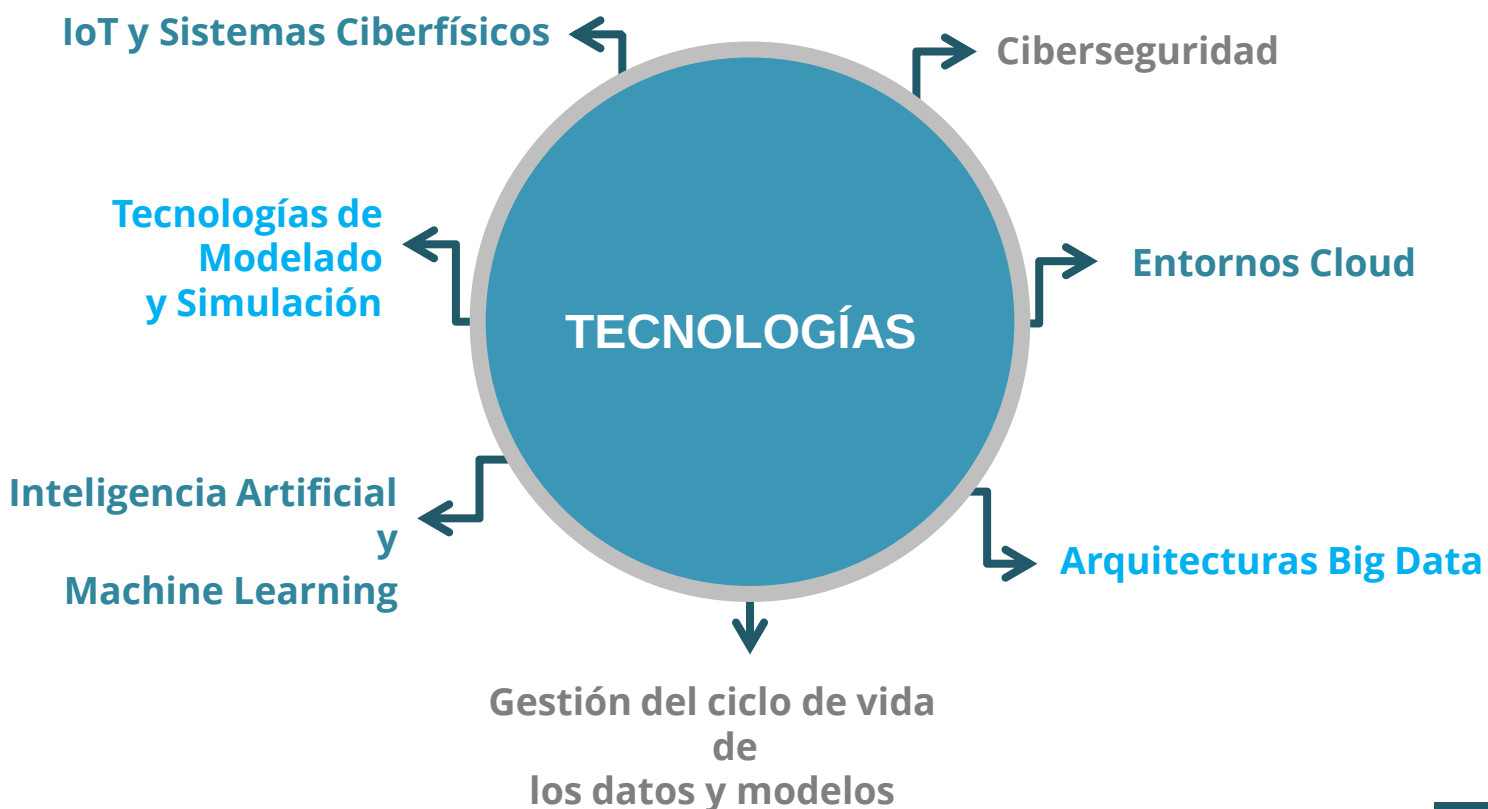
En el presente informe trabajamos sobre un concepto de gemelo digital “inteligente”, que se compone de una serie de tecnologías disruptivas que lo dotan de un valor añadido de alto nivel.

Este gemelo digital es la representación virtual de un activo físico, que interactúa con éste en todo momento. Para que eso sea posible existen ciertas tecnologías que facilitan esta interacción con el mundo físico y otras que operan directamente en el mundo virtual.



Composición de un gemelo digital. Fuente: Entso-E

Relacionamos a continuación los componente tecnológicos relevantes de un gemelo digital.



Integración con IoT y Sistemas Ciberfísicos

El Internet de las cosas (IoT)

Se refiere a la red de objetos físicos que han sido equipados con sensores, software y otras tecnologías, cuyo objetivo es conectar, comunicar e intercambiar datos con una amplia variedad de dispositivos y sistemas, a través de Internet.

Los dispositivos IoT pueden ser:

- Actuadores: ejecutan alguna acción sobre un proceso físico
- Sensores: recopilan datos y los envían a otro lugar

El funcionamiento de estos dispositivos implica enviar, recibir y analizar datos de forma continua, permitiendo tomar decisiones basadas en la información recopilada. Debido a esto, son una parte fundamental en la comunicación de un gemelo digital con el mundo físico.

Sistema Ciberfísico (CPS)

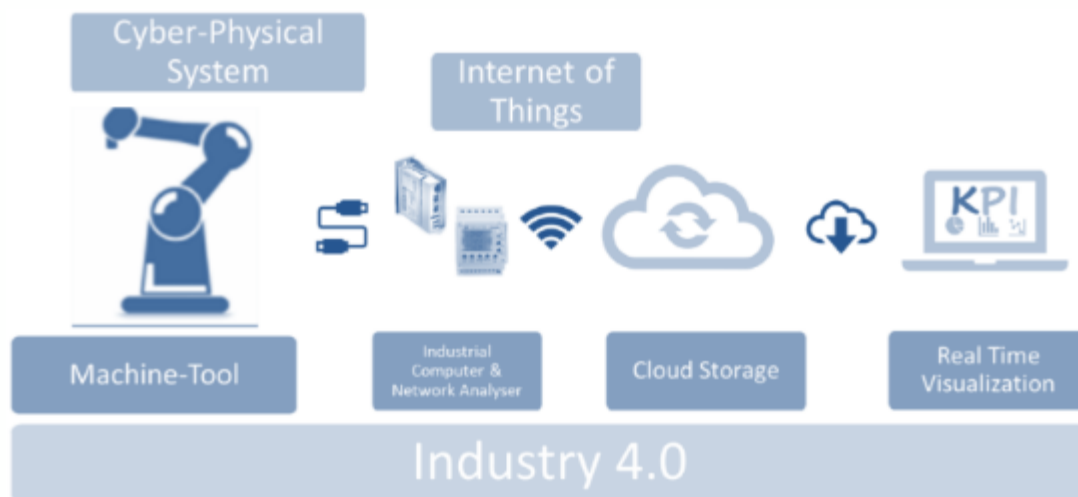
Es una entidad que combina componentes físicos con elementos cibernéticos para crear un sistema integrado. Estos sistemas están diseñados para interactuar con el mundo físico y digital de manera coordinada.

Algunas de las aplicaciones de los CPS son:

- Automatización industrial
- Vehículos autónomos
- Ciudades inteligentes
- Sistemas de salud

Componentes físicos en los CPS: máquinas, sensores, actuadores o cualquier otro dispositivo tangible.

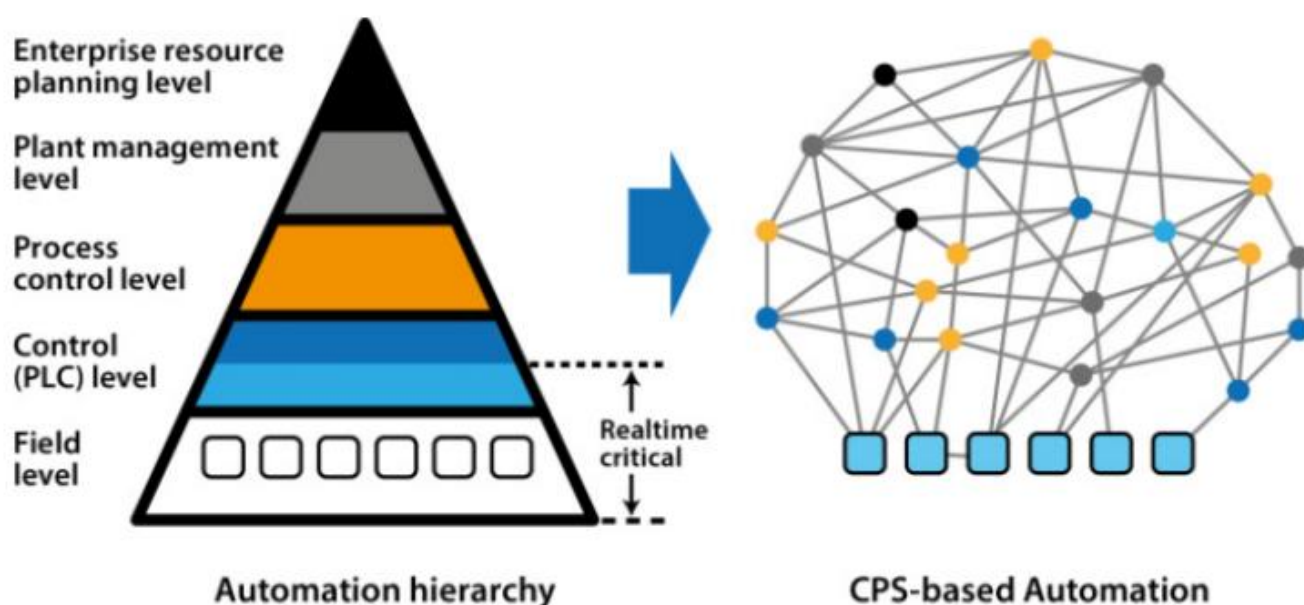
Elementos cibernéticos en los CPS: software, redes, algoritmos y sistemas de control.



Sistemas Ciberfísicos e IoT y su relación con otras tecnologías.

Integración con IoT y Sistemas Ciberfísicos

La aplicación de los sistemas ciberfísicos a los sistemas de producción se conoce como CPPS (Cyber Physical Production Systems). El uso de dichos sistemas en un entorno de producción provoca una evolución desde el modelo tradicional de la pirámide jerárquica de automatización industrial a una arquitectura descentralizada en la que elementos de diversos niveles pueden comunicarse libremente entre sí. La utilización de los CPPS permite comunicar no sólo la maquinaria empleada en los procesos de producción, sino también las personas a diversos niveles (operarios, responsables de línea, responsables de producción...) y los productos.



Paso del modelo tradicional de automatización a uno basado en CPS

Dentro del ámbito IoT, uno de los avances más relevantes en los últimos años es el de la introducción de las nuevas tecnologías de comunicaciones móviles de quinta generación o 5G.

El diseño de las redes 5G, parte de un profundo análisis inicial de sectores verticales (Industria, Energía, Automoción y eSalud, entre otros) y la evaluación de las necesidades de un amplio conjunto de casos de uso y escenarios de aplicación para estos sectores.

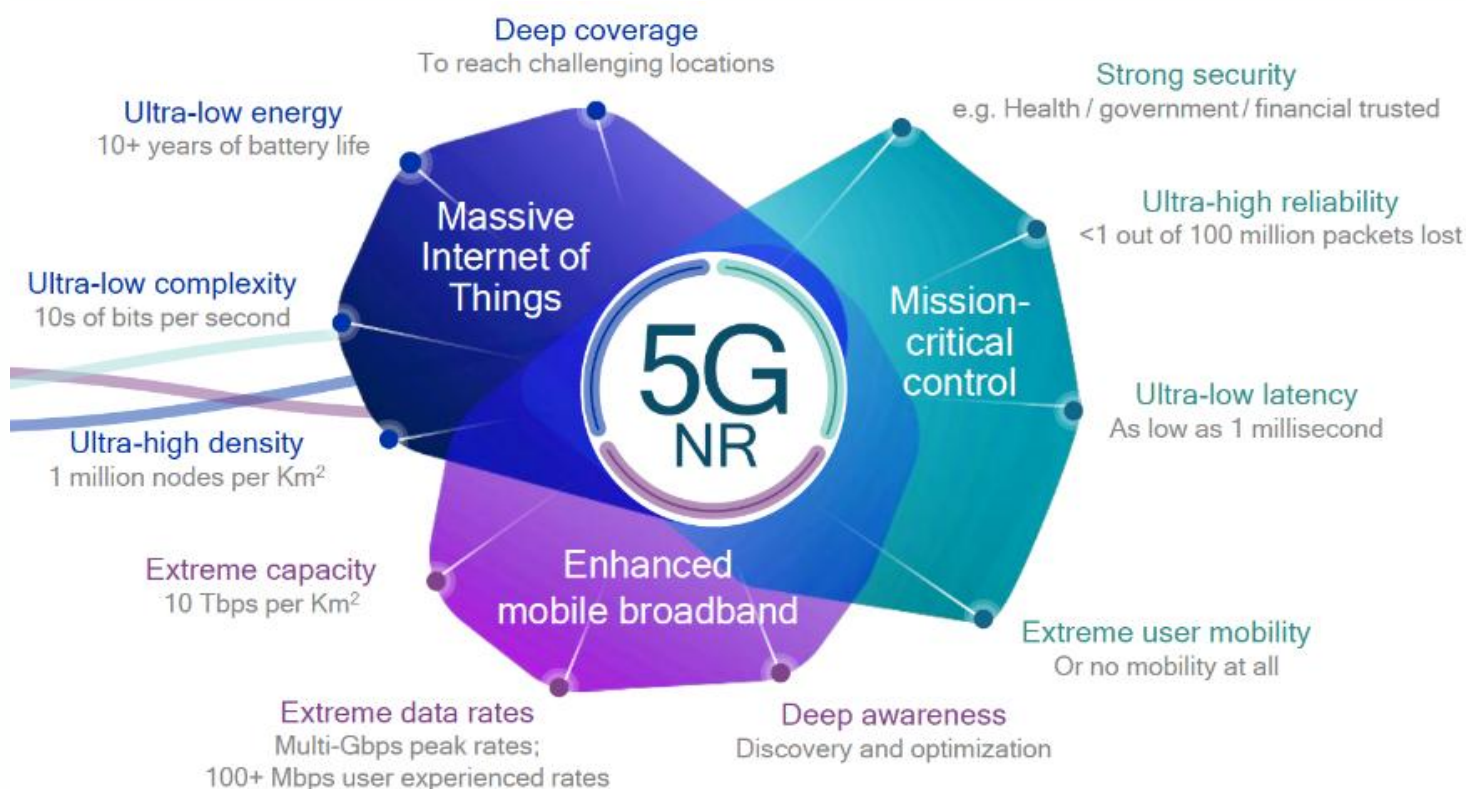
Cada uno de estos sectores tiene necesidades de conectividad distintas, que requieren de categorías de servicio diferentes.

5G supone un cambio de paradigma, centrado en abordar el amplio rango de necesidades de estos sectores verticales en una infraestructura común que permita la definición de servicios con distintas características.

Integración con IoT y Sistemas Ciberfísicos

En base a este análisis, se definen tres categorías de servicios con características diferenciadas:

- eMBB (banda ancha móvil mejorada).
- mMTC (comunicaciones masivas de tipo máquina).
- URLLC (comunicaciones ultra-fiables y de baja latencia).



Categorías de servicios 5G

Dentro del ámbito de los gemelos digitales, todas estas categorías de servicios son relevantes. Por ejemplo, un mayor ancho de banda será necesario, sobre todo para aquellas aplicaciones en las que intervienen flujos de vídeo o imágenes de calidad, como pueden ser los sistemas de realidad mixta o virtual; los gemelos digitales recopilarán datos de miles de sistemas inalámbricos a la vez para construir la representación virtual; y las bajas latencias serán relevantes para múltiples aplicaciones, especialmente aquellas críticas dentro del ámbito industrial.

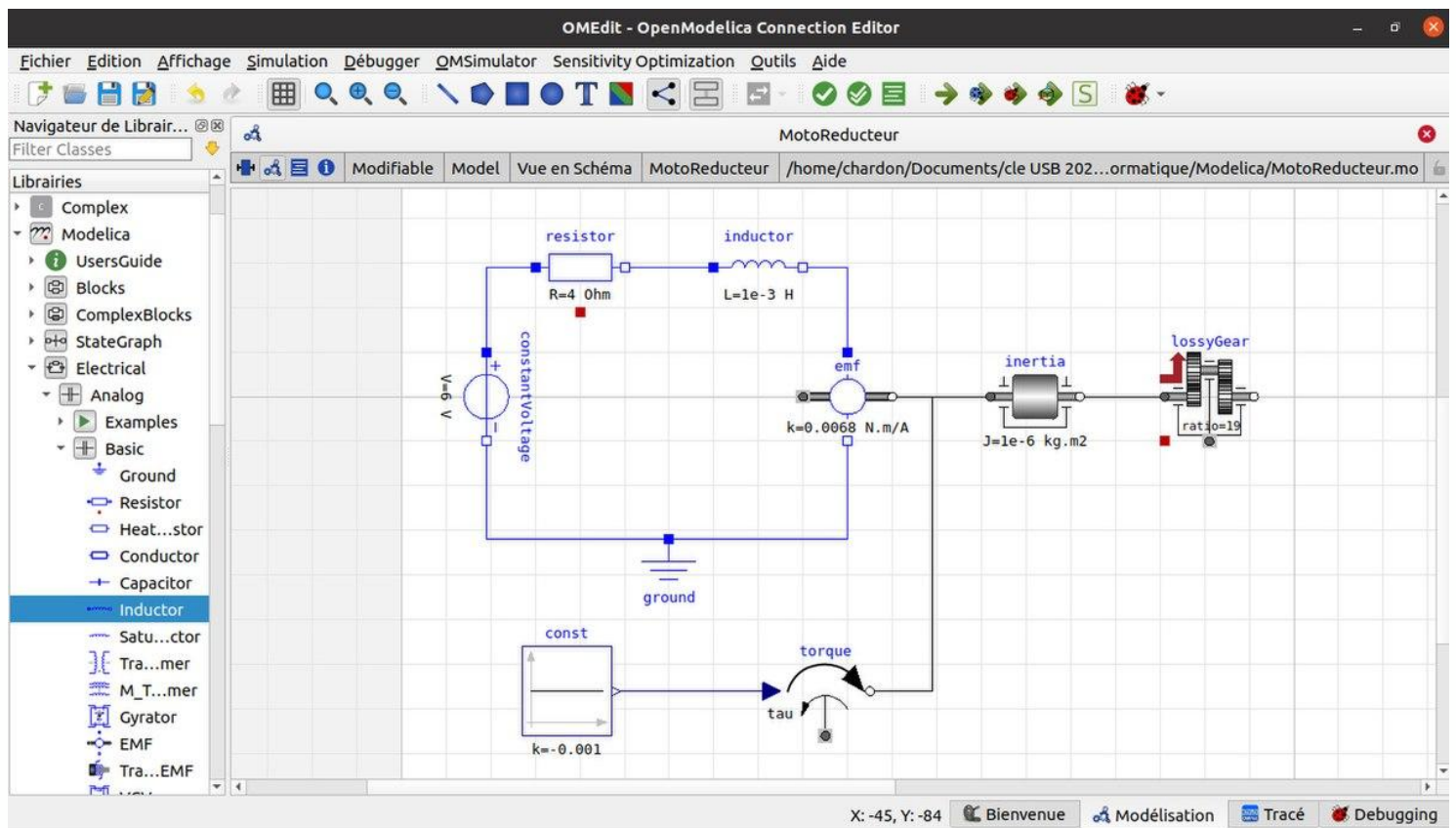
Modélica

Una de las principales herramientas de base dentro de este campo es Modelica, alto nivel utilizado para describir el comportamiento matemático de sistemas de diverso tipo. Principalmente, se aplica a sistemas de ingeniería y posibilita describir fácilmente el comportamiento de diferentes tipos de componentes de ingeniería, como motores, resortes, resistencias o embragues, entre otros.

En particular permite:

- Conexión de diversos componentes básicos reutilizables.
- Modelados con ecuaciones matemáticas en lugar de modelos empíricos o tablas de datos. Su objetivo es expresar relaciones físicas y dinámicas.
- Conexión de manera flexible, para construir sistemas más grandes y complejos.

Cabe destacar las librerías OpenModelica (de código abierto y gestionada por una organización sin ánimo de lucro) y open Source Modelica Consortium (OSMC).



Ejemplo de interfaz de usuario para un modelo de motor DC realizado con OpenModelica

SimScape

Es una extensión de Simulink que ofrece herramientas para modelar y simular sistemas físicos multidominio. Permite describir sistemas físicos que contienen componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos, entre otros, como redes físicas. Se pueden crear también modelos de componentes físicos basados en conexiones físicas y diagramas de bloques dentro del entorno de Simulink. Estos modelos pueden abarcar múltiples dominios físicos (mecánica, eléctrica, térmica...). También proporciona bibliotecas con miles de componentes, incluyendo resistencias, válvulas, accionamientos eléctricos, transmisiones, intercambiadores de calor, etc.

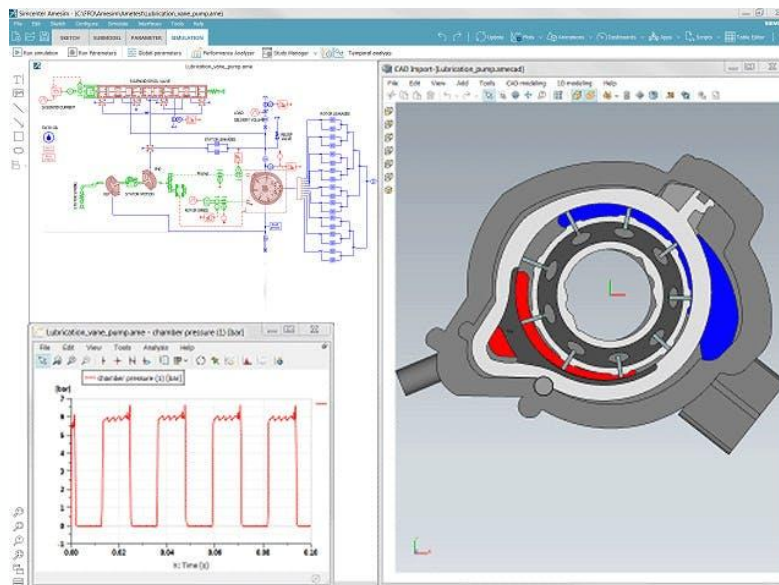
Se pueden crear componentes personalizados mediante el lenguaje de modelado de SimScape, que se basa en MATLAB. También admite la generación de código C para desplegar los modelos en sistemas en tiempo real.

En resumen, SimScape es una herramienta poderosa para modelar, simular y analizar sistemas físicos complejos, y es ampliamente utilizado en áreas como la ingeniería, la robótica y la automatización.

Sincenter Amesim

Es una plataforma de simulación de sistemas que permite al personal de ingeniería evaluar y optimizar el rendimiento de sistemas de manera virtual. Esta herramienta se encuentra en el campo de la ingeniería mecatrónica y se utiliza para modelar, analizar y predecir el comportamiento de sistemas multidominio.

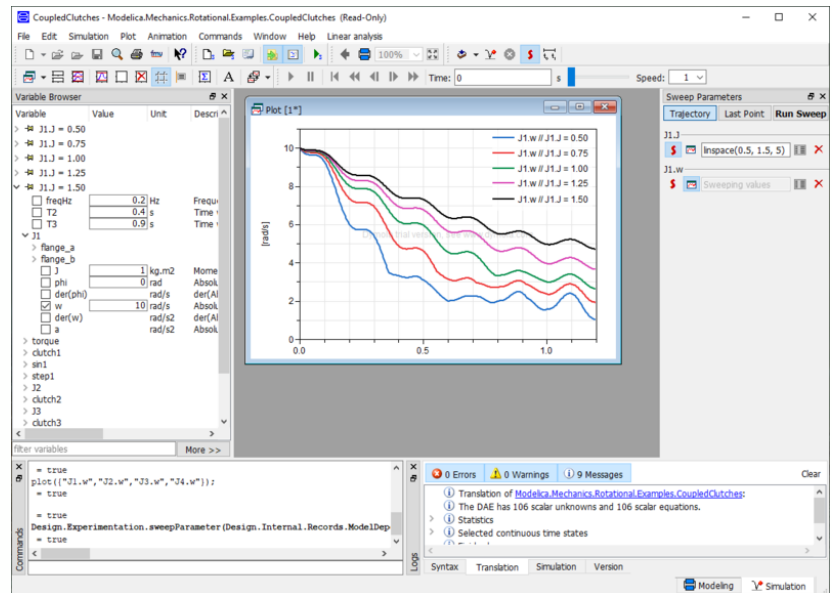
Se puede acoplar fácilmente con paquetes de software de ingeniería asistida por computadora (CAE), diseño asistido por computadora (CAD) y software de control. También es compatible con las Interfaces de Maqueta Funcional (FMIs) y se conecta con otras soluciones de Simcenter y el software Teamcenter.



Interfaz de Simcenter Amesim. Fuente: Siemens

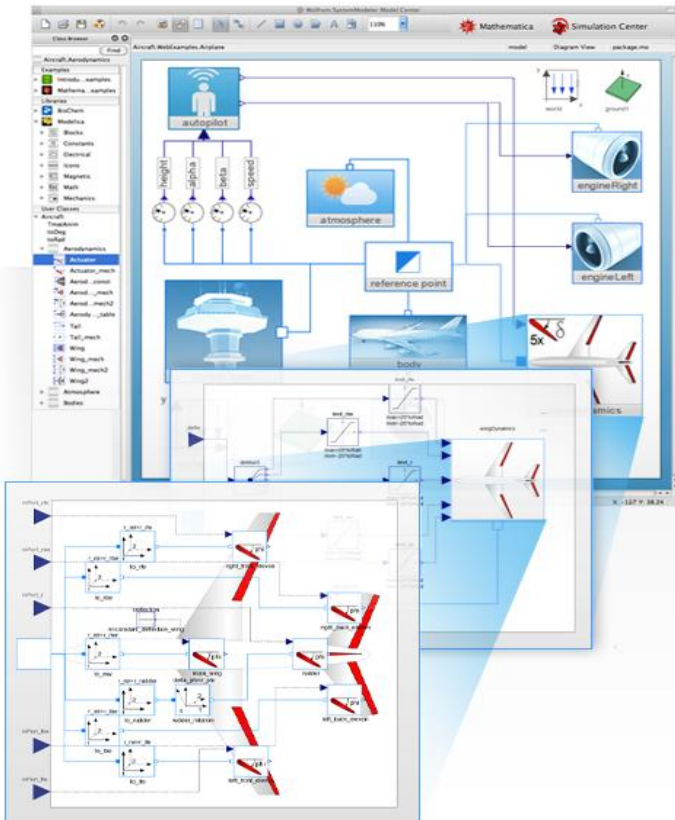
Dymola

Dynamic Modeling Laboratory es una herramienta para el modelado y simulación de sistemas integrados y complejos creada por Dassault Systemes. Dymola se basa en Modelica y FMI (Functional Mock-up Interface), permitiendo resolver diversos problemas de análisis y modelado de sistemas. Las bibliotecas de Modelica se utilizan junto con Dymola para modelar y simular el comportamiento de sistemas complejos. Ofrece capacidades para interactuar con otras herramientas de software y entornos de simulación mediante FMI y otros estándares.



Ejemplo de la interfaz de Dymola

Wolfram System Modeler



Wolfram System Modeler en aviación. Fuente: Wolfram

Se trata de un entorno de modelado y simulación para sistemas ciberfísicos. Permite crear modelos multidominio de sistemas completos mediante una interfaz sencilla. Al igual que en las otras herramientas analizadas, la selección de bibliotecas de modelado incorporadas y ampliables facilita la construcción de modelos de alta calidad y resistencia industrial. Una de las características clave de Wolfram System Modeler es su integración con el Lenguaje Wolfram. Los usuarios pueden crear, simular y analizar modelos con facilidad, aprovechando solucionadores numéricos eficientes y animación automática de componentes mecánicos en 3D.

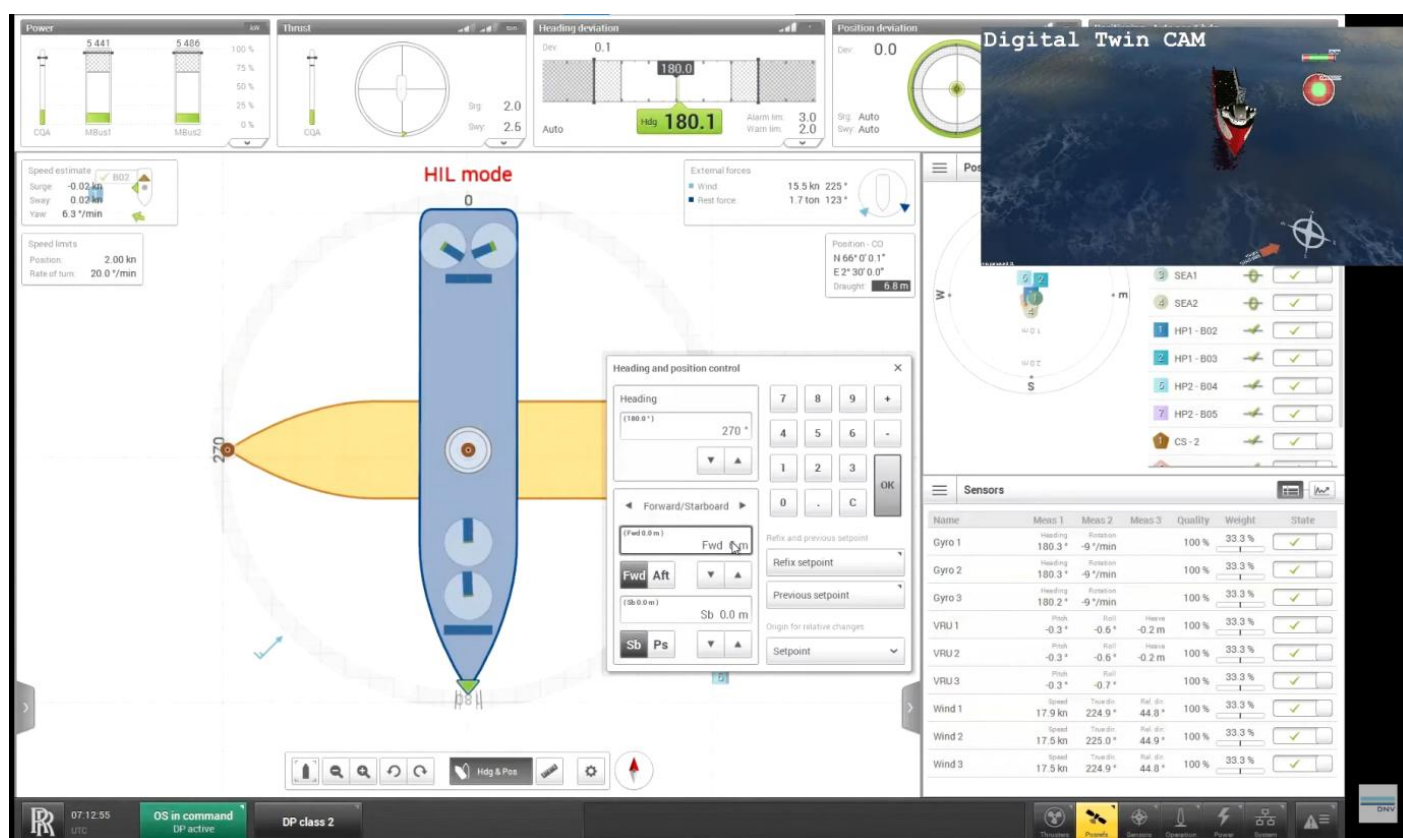
Plataforma de Simulación Abierta (OSP)

Es una herramienta de simulación empleada en el entorno naval.

Es una iniciativa de la industria de código abierto que se centra en la co-simulación de equipos marítimos, sistemas y barcos completos.

Su objetivo es abordar los desafíos relacionados con el diseño, construcción, operación y aseguramiento de activos marítimos y offshore. Su característica clave es la reutilización de modelos de simulación. Esta herramienta permite que los modelos de simulación y los equipos digitales se reutilicen en diferentes organizaciones sin exponer información confidencial. Esto se logra protegiendo los modelos y el software de control dentro de ejecutables de caja negra.

El OSP se enfoca en la integración virtual de sistemas. Utilizando el estándar Functional Mockup Interface (FMI), conecta modelos y sistemas de control desde diversas herramientas de simulación y lenguajes de programación en una gran co-simulación, facilitando la integración virtual de sistemas.



Pantalla de la interfaz de la herramienta de simulación. Fuente: OSP

Se puede hablar de AI-DTS1 (AI for Digital Twin Systems) como un conjunto de métodos basados en IA (Inteligencia artificial) y ML (Machine Learning) para la creación y desarrollo de sistemas avanzados de soporte a la toma de decisiones.

Fundamentalmente: metodologías de aprendizaje no supervisado para la detección de anomalías; y métodos de aprendizaje supervisado para la resolución de problemas de regresión y clasificación con datos tabulares y series de tiempo. A continuación se realiza un breve repaso de estos dos métodos.

MÉTODOS NO SUPERVISADOS

La detección de anomalías persigue el análisis no supervisado y automático de un conjunto o flujo de datos (por ejemplo, la salida de sensores que monitorean variables de estado de una máquina o robot) a fin de detectar cuanto antes desviaciones significativas con respecto a su distribución de probabilidad habitual.

Aproximaciones en la actualidad	
Algoritmos basados en probabilidad	Se basan en métodos estadísticos que analizan el conjunto de datos de entrada para construir un modelo. Su objetivo es detectar valores que se desvían de su distribución de probabilidad original.
Algoritmos basados en proximidad	En espacios multidimensionales, un punto presenta una densidad alta si sus vecinos se encuentran muy próximos a él, mientras que se dice que tiene una densidad baja cuando sus vecinos están muy próximos entre sí pero no se encuentran cerca de él. Esta medida de densidad o distancia entre vectores para la detección de anomalías.
Ensembles	Los métodos basados en ensembles combinan diferentes agrupaciones de algoritmos para detectar anomalías en conjuntos de datos multivariantes de forma no supervisada.
Redes neuronales	Algunos de los métodos más recientes para la detección de anomalías incluyen la utilización de algoritmos de aprendizaje profundo (<i>Deep Learning</i>). Estas propuestas se basan en arquitecturas de redes neuronales entrenadas para el descubrimiento de valores atípicos en conjuntos de datos de entrada.

Principales paquetes de software y código abierto que implementan los principales algoritmos de detección de anomalías

TIPO	NOMBRE	ENLACE
Algoritmos basados en probabilidad	ECOD	https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
	COPOD	https://github.com/winstonll/COPOD
		https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
	ABOD	https://cran.r-project.org/web/packages/abodOutlier/index.html
		https://github.com/MarinYoung4596/OutlierDetection
Ensembles	RRCF	https://klabum.github.io/rrcf/
	XGBOD	https://github.com/yzhao062/XGBOD
	SUOD	https://github.com/yzhao062/SUOD
		https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
Redes neuronales	Autoencoders	https://docs.h2o.ai/h2o/latest-stable/h2o-py/docs/_modules/h2o/estimators/deeplearning.html
		https://cran.r-project.org/web/packages/ANN2/index.html
	VAE	https://pyod.readthedocs.io/en/latest/

MÉTODOS SUPERVISADOS

Son una clase de aprendizaje automático donde un algoritmo aprende de un conjunto de datos con pares de ejemplos de entradas - salidas. Estos modelos son empleados para resolver problemas de clasificación y/o regresión, y la tipología difiere según el tipo de datos a analizar.

Datos tabulares

Los datos tabulares se definen como aquellos que se pueden representar en una estructura bidimensional en la que cada fila representa un registro y en donde cada registro suele tener varias columnas. Los valores de cada celda de esta estructura pueden ser de tipo numérico, categórico o de texto, y no presentan dependencia temporal estricta entre ellos.

Los algoritmos habitualmente empleados para este tipo de datos son aquellos basados en agrupaciones o ensembles de árboles de decisión. Esta disciplina es conocida como ensemble learning.

Series de tiempo

Una serie temporal es una sucesión de datos medidos en determinados instantes y ordenados de manera cronológica. Para el análisis de las series temporales se usan métodos que ayudan a interpretarlas y que permiten extraer información representativa sobre las relaciones subyacentes en la serie, o entre diversas series, y que permiten en diferente medida y con distinta confianza extrapolar y predecir su comportamiento en el futuro.

Los algoritmos más clásicos de modelado de series de tiempo incluyen los modelos estadísticos como ARIMA y sus variantes, o Holt-Winters entre otros. Estos han sido recientemente desplazados por otros más complejos basados en DL, capaces de analizar series de tiempo multivariantes más largas, con patrones de comportamiento más complejos.

Otras técnicas

En esta sección se incluyen otros métodos y conceptos novedosos de gran interés relacionados con la aplicación de IA en gemelos digitales.

Generación sintética de datos

Existen diversas propuestas para la generación de datos sintéticos basadas en aproximaciones probabilísticas como, por ejemplo: la generación de datos discretos mediante árboles de decisión o cópulas para la simulación de series de tiempo correladas no linealmente.

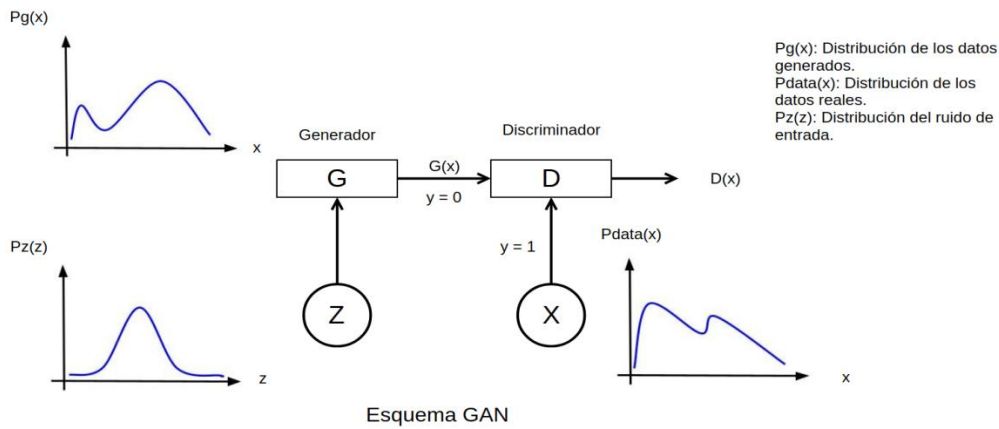
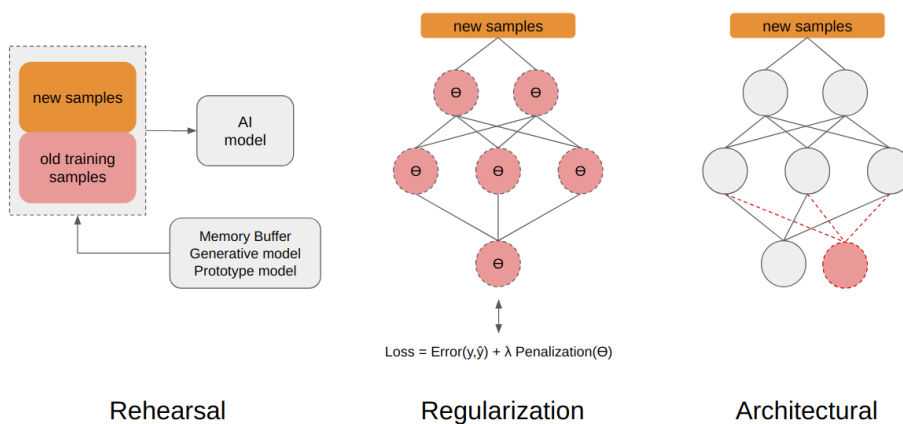


Diagrama de bloques de un modelo GAN

Aprendizaje Incremental

Lifelong Learning (LL)¹ es un paradigma de aprendizaje automático que hace referencia a la capacidad de los modelos de IA para aprender continuamente a lo largo del tiempo, adaptando los nuevos conocimientos y conservando al mismo tiempo las experiencias previamente adquiridas.

Los métodos propuestos en la literatura científica para diseñar e implementar modelos robustos de aprendizaje incremental se dividen principalmente en las siguientes categorías: Arquitecturas dinámicas, regularización y repetición de recuerdos (o rehearsal).



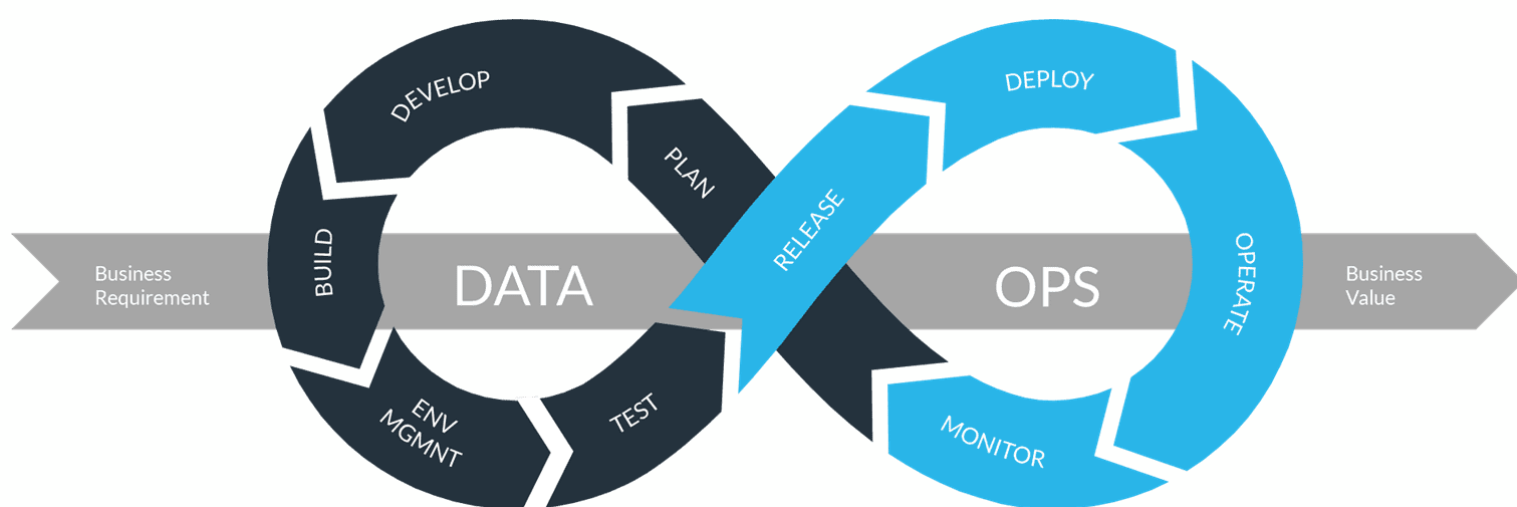
Estrategias Lifelong Learning

Gestión del ciclo de vida de los datos y modelos en Gemelos Digitales

Las empresas y organizaciones recogen diariamente grandes cantidades de datos para mejorar diferentes aspectos de su negocio y optimizar los procesos de toma de decisiones. Estos datos pueden ser usados por un Gemelo Digital, facilitando la interconexión de los datos entre las diversas entidades o funcionalidades que hagan uso de los mismos. Esta gestión tiene una especial relevancia en el ámbito de la Industria 4.0, ya que la cantidad de datos que se pueden recolectar asociados a la actividad diaria se incrementa de forma exponencial conforme aumenta el tamaño del proceso industrial y su grado de digitalización. Este crecimiento hace que surjan ineficiencias en la gestión del ciclo de vida del dato y de los modelos analíticos, así como en el desarrollo de las aplicaciones relacionadas con los mismos.

Cualquier factoría que aspira a convertirse en una compañía data-driven ha de tener como objetivo orientar todos los procesos productivos hacia el valor intrínseco y conjunto de los datos manejados. Sin embargo, cuantos más datos se recopilen, más complicado suele resultar extraer su valor. En el contexto de la Industria 4.0, esto es más importante, ya que es necesario procesar la información en el tiempo adecuado, para así poder detectar diversos problemas que puedan surgir.

En consecuencia, en entornos donde los volúmenes de datos a procesar son potencialmente grandes resulta de vital importancia colocar el foco en la gestión del ciclo de vida de los datos, lo que se conoce como DataOps. En ocasiones se define DataOps como la convergencia entre DevOps y Big Data, de modo que DataOps puede verse como una extensión de DevOps que pone el foco en la gestión del dato, concretamente en la monitorización y administración continua de los datos que ingresan al sistema. Una gestión adecuada de los datos es crucial cuando se trata de implementar sistemas escalables y de trasladar dichos sistemas a entornos de producción. Esa gestión afecta a todas las fases del ciclo de vida de los datos, desde el momento en que se ingestan hasta que, una vez procesados, se convierten en elementos accionables útiles para la toma de decisiones.



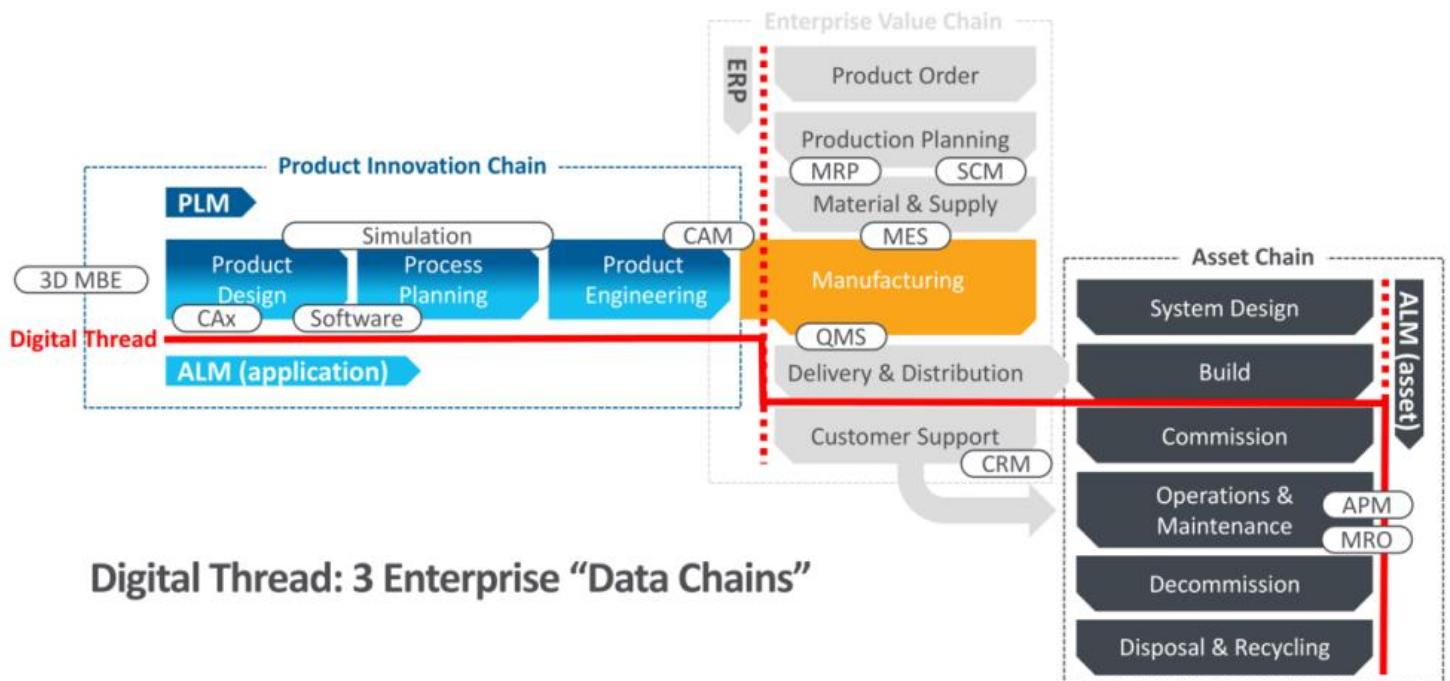
Ciclo DataOps. Fuente: TuringGears

Gestión del ciclo de vida de los datos y modelos en Gemelos Digitales

El enfoque conocido como MLOps se orienta a la gestión eficiente de los modelos y aplicaciones de inteligencia artificial de una solución analítica. Esta metodología ofrece pautas para agilizar los procesos y las iteraciones frecuentes típicas del desarrollo de modelos analíticos. Una de las claves consiste en poder gestionar de manera adecuada toda la información relativa a datasets y modelos: versiones, parámetros de entrenamiento, precisiones alcanzadas, etc. y simultáneamente monitorizar las prestaciones de dichos modelos una vez puestos en producción, aplicando técnicas de entrenamiento continuo y detectando posibles fenómenos de degradación.

Algunas herramientas como MLflow¹ o Kubeflow² pueden facilitar en gran medida este objetivo. De manera general, la idea es disponer de un conjunto de herramientas Big Data especializadas en la gestión de datos y de metadatos asociados a los procesos de fabricación. Estas tecnologías, a su vez, permitirán construir una serie de métricas para la monitorización continua de la precisión, el rendimiento y el consumo de recursos.

Debemos destacar un aspecto específico del mundo de los Gemelos Digitales, en lo que se refiere a la gestión del ciclo de vida de los datos o información de un producto a lo largo de su vida útil. Algunos autores separan esta idea del concepto de Gemelo Digital, llamándola Hilo Digital (Digital Thread).



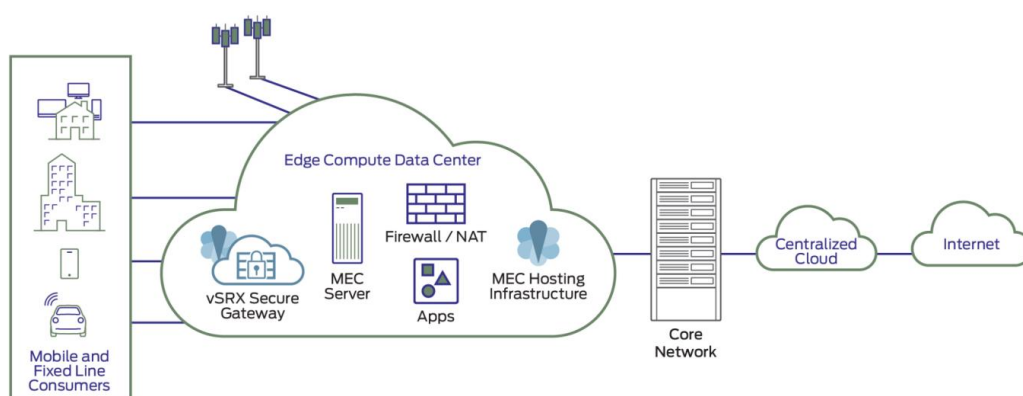
Esquema de Hilo Digital. Fuente: Challenge Advisory

Los gemelos digitales, en especial aquellos que son del tipo compuesto y en los que intervienen fuentes ingentes de información pueden necesitar de arquitecturas específicas para facilitar el tratamiento de los datos manejados y la extracción de valor de los mismos mediante algoritmos de IA/ML.

Realizar big data analytics significa extraer conocimiento de forma interpretable y oportuna de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) dificultan su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales dentro del tiempo necesario para que sean útiles

Los retos que se plantean típicamente para estos sistemas big data son los siguientes:

- **Volumen:** escalar para gestionar datos en continuo crecimiento
- **Variedad:** análisis de diversos datos, estructurados y no estructurados (e.g. imágenes, texto libre, etc)
- **Velocidad:** por ejemplo, para procesamiento de datos en streaming
- **Veracidad:** para generar confianza en los propios datos y en los algoritmos que se aplican sobre ellos. Muchos estándares y operaciones industriales exigen el máximo nivel de precisión de datos
- **Valor:** tener muchos datos no es útil si no se puede sacar partido de ellos
- **Variabilidad:** hay datos cuyo significado cambia continuamente
- **Visualización:** los datos deben ser legibles y accesibles



Multi-access Edge Computing. Fuente: Juniper Networks

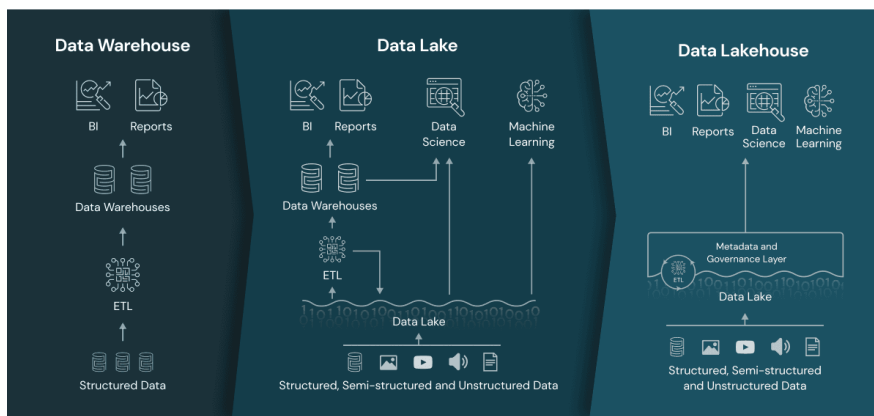
Las principales tendencias en el ámbito del big data son las siguientes:

Big Data Analytics Workflow

Este proceso se compone de las actividades: ingesta, almacenamiento, procesamiento, visualización y orquestación.

Data Lakehouse

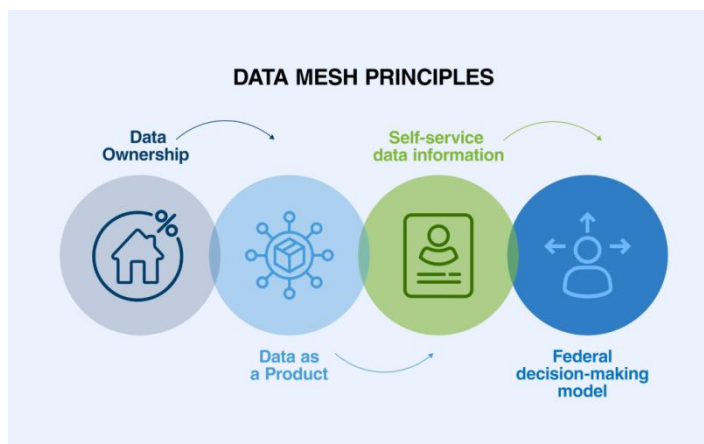
El paradigma Lakehouse aborda tales complejidades del trabajo con big data con una arquitectura que, por diseño, reúne lo mejor de los almacenes de datos y de los lagos de datos.



Evolución hacia el paradigma Lakehouse. Fuente databricks.com

Data Mesh

Esta metodología es un cambio de paradigma en el diseño de arquitecturas de datos que hace hincapié en la descentralización de los datos dentro de una organización. Los datos se tratan como un producto y son gestionados por equipos interfuncionales de expertos en la materia en lugar de ser gestionados por un único equipo.



Principios Data Mesh. Fuente elcodigoperfecto.blog

El Cloud Computing consiste en servir recursos TIC desde Internet.

Los tres modelos de servicio más populares actualmente son el de Infraestructura como Servicio (IaaS), la Plataforma como Servicio (PaaS) y el Software como Servicio (SaaS).

- IaaS proporciona recursos virtuales que se ejecutan en Centros de Datos remotos como son computación, almacenamiento y red.
- PaaS proporciona entornos Software remotos para el desarrollo, despliegue y gestión de aplicaciones.
- SaaS proporciona aplicaciones Software a usuarios finales o a otras aplicaciones.

Por otro lado, la manera en la que el Cloud Computing ha modificado los entornos de desarrollo y ejecución haciéndolos más dinámicos ha tenido un impacto en las metodologías y arquitecturas Software. Un claro ejemplo lo encontramos en las metodologías ágiles y las arquitecturas de microservicios.

Por otro lado, el Edge Computing aprovecha recursos de computación cercanos al usuario final con el objetivo de resolver algunos problemas identificados en el Cloud Computing como puede ser la latencia debida a la distancia entre los recursos Cloud y el usuario final.

En los nuevos modelos de servicio destacamos el concepto de “serverless”, en el que el cliente proporciona fragmentos de código, generalmente funciones, y el proveedor Cloud se encarga de la gestión y asignación dinámica de los recursos, cobrando solo por los instantes temporales en los que se llama a la función y el código es ejecutado.

En cuanto a metodologías y arquitecturas software, la tendencia actual nos lleva a seguir aproximaciones Cloud-Native y al desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios, contenedores y orquestación.

Por último, el mundo de las redes no ha sido ajeno al proceso general de virtualización que ha sufrido el mundo IT. Existen dos tecnologías de red que se han erigido como principales en las nuevas arquitecturas de red virtualizadas: las Redes Definidas por Software (SDN) y las funciones de red virtualizada (NFV).

Las principales tendencias en el ámbito de las tecnologías cloud son:

- Cloud-native Computing
- Contenedores y Orquestación
- Serverless y Faas.
- Service Mesh.
- GitOps.
- Multiclouds.
- Multi-access Edge Computing

Ciberseguridad en Gemelos Digitales

Por último, pero no con menor relevancia, hemos de tratar el tema de la ciberseguridad aplicada a los Gemelos Digitales. Se deben destacar dos aproximaciones bien diferenciadas: por un lado la ciberseguridad aplicada a la protección de los gemelos digitales.

Diversos servicios de un gemelo digital se encuentran interaccionando con activos reales y en el caso de que sean perturbados pueden provocar paradas de producción o eventos más graves que provoquen pérdidas económicas o incluso humanas.

Cuando el hacker localiza algún punto de acceso, puede cambiar el comportamiento del gemelo o entrar en el sistema físico (haciéndose pasar por el gemelo), lo que podría darle acceso incluso a otros datos de toda la empresa.

También la propiedad intelectual está en riesgo. Muchas veces, un gemelo digital tiene una propiedad intelectual y si se le hace ingeniería inversa el propietario puede sufrir fuertes pérdidas económicas.

Es por ello que es fundamental tratar la ciberseguridad de un gemelo digital desde el inicio, lo que se conoce como *security by design*, para evitar todo este tipo de riesgos y amenazas lo antes posible.

Por otro lado, los gemelos digitales de la propia infraestructura de ciberseguridad, permiten la simulación de ataques y la exploración de contramedidas, sin provocar una caída del sistema físico de seguridad. Así se podrían hacer detección de intrusiones, detección proactiva y resolución de problemas de configuración de hardware para evitar fallos críticos o simulación y pruebas de seguridad.

Tecnologías Blockchain y DLTs

Será interesante estudiar las capacidades que la Blockchain pueden aportar a la seguridad de ciertas operaciones relacionadas con el gemelo digital.

Esta blockchain se puede definir como un registro distribuido, una base de datos descentralizada, que gestionan al tiempo varios participantes, de manera que todos estén de acuerdo en qué transacciones son válidas, en qué orden se han llevado a cabo y que no permitan la alteración del registro. Es prácticamente imposible eliminar o retroceder transacciones una vez se han incluido en la blockchain.

Para aumentar la seguridad, cada usuario interactúa con la blockchain con una dirección que no revela la identidad real del usuario.

A continuación se hace un estudio del **estado de implantación** de estas tecnologías.

La Inteligencia Artificial (IA) se ha postulado como la gran revolución tecnológica de los últimos años y los recientes avances así lo avalan. **El uso de la IA a nivel empresarial se ha acelerado**, potenciado en gran medida por la irrupción de la IA Generativa, y actualmente las empresas comienzan a ver los beneficios de su adopción. El mundo empresarial e industrial entiende la **IA como una herramienta clave para lograr una ventaja competitiva a través de la automatización y optimización de procesos**, y hasta como una oportunidad de complementar las capacidades de las personas a través de la realización de tareas complejas que no podrían realizar por sí solas.

El lanzamiento de ChatGPT, por parte de OpenAI en 2022, puso el foco en la **IA Generativa (GenAI)** provocando un gran interés del mundo empresarial sobre ella. A inicios de 2023 las entidades de capital de riesgo ya habían invertido más 1700 millones de euros en soluciones de GenAI, siendo los desarrollos relacionados con el ámbito farmacéutico, concretamente el descubrimiento de medicamento mediante IA, y la codificación de software asistida por IA los que han recibido una mayor financiación. Pero **en todos los sectores se ha visto la IA Generativa como una oportunidad de incrementar la productividad empresarial**. Según el estudio *The State of Generative AI in the Enterprise (Deloitte, Enero 2024)* el 70% de los ejecutivos encuestados esperan que la IA Generativa impulse una transformación

50%

De las empresas a nivel global habrán ideado plataformas de orquestación de la IA para ponerla en funcionamiento en 2025.

134,8

Billones de dólares será el valor que alcanzará el mercado de software de IA para el año 2025.

+80%

De las empresas a nivel global utilizarán la Inteligencia Artificial Generativa (AI GenAI) para 2026.

Proyecciones realizadas por la consultora tecnológica Gartner

sustancial dentro de su organización durante los próximos tres años. Los datos de este estudio también revelan que el 56% de las organizaciones españolas encuestadas buscan beneficios tácticos, como pueden ser la mejora de la eficiencia /productividad o la reducción de costos; y tan solo el 29% espera obtener beneficios de carácter estratégico, como puede ser el incremento de la innovación o el crecimiento empresarial, a través de la adopción de la IA Generativa. Así mismo, este estudio proyecta una radiografía de la adopción de la GenAI en los diversos sectores, destacando los siguientes:



% Porcentaje de empresas que utilizan la GenAI dentro del sector.

Muy alto conocimiento

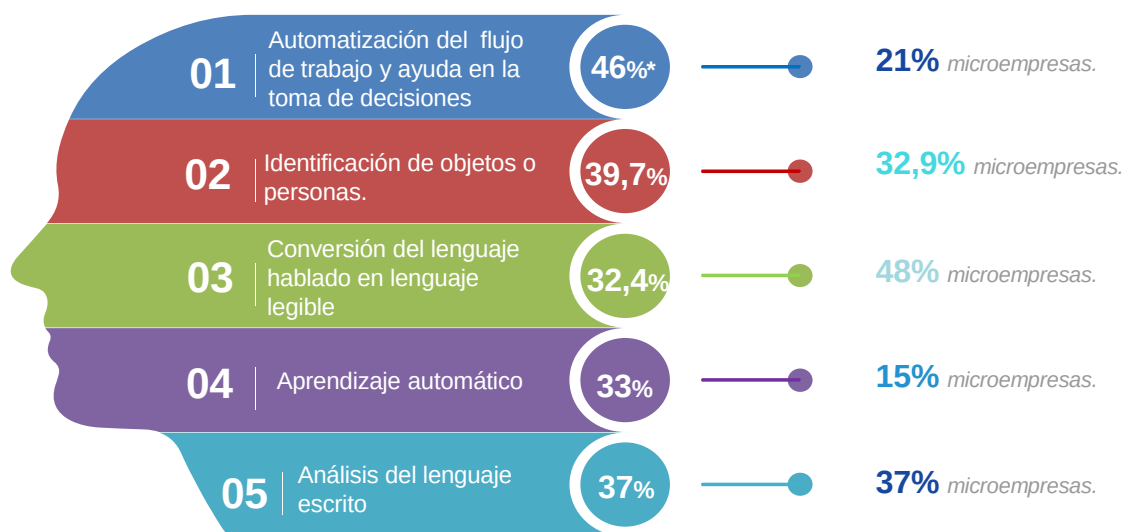
Alto conocimiento

Adopción de IA en España

A la hora de realizar un análisis de la implantación de la IA en la actualidad es necesario ir más allá de la IA Generativa, puesto que, aunque su irrupción ha revolucionado e impulsado la adopción de la IA por parte de las empresas, la industria

ha de poner el foco en todas las aplicaciones posibles de la IA. Teniendo en cuenta esto a continuación se realiza un análisis de las **empresas que usan IA en España por tipo de tecnología.**

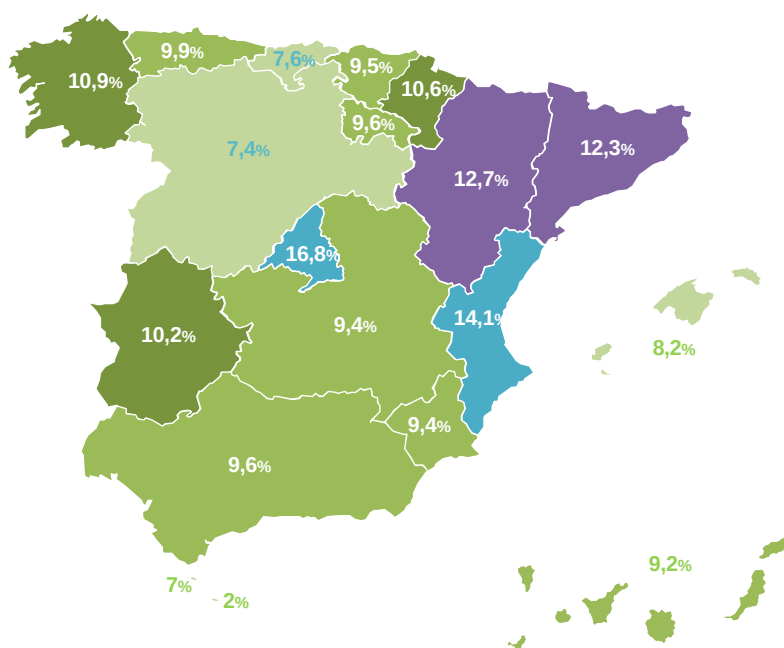
Las **grandes empresas lideran la adopción de la IA**, experimentando un notable crecimiento



*Porcentaje de empresas de 10 o más empleados que usan IA, por tipo de tecnología.

Los porcentajes de uso de los diferentes tipos de tecnologías se ven incrementados si se desgrena el análisis por tamaño de las compañías, destacando que el uso de la automatización del flujo de trabajo o ayuda en la toma de decisión sube hasta un 61,5 en grandes empresas y hasta el 55,8% en medianas; también destaca que el uso del aprendizaje automático alcanza un 57,2% de uso en grandes empresas.

Si se realiza un análisis por Comunidad Autónoma, se observa que Madrid es la Comunidad con mayor porcentaje de empresas que usa Inteligencia Artificial, seguida por la Comunidad Valenciana y Aragón. Galicia ocupa el cuarto lugar y queda a pocos puntos de la media nacional (11,8%).



Tecnologías de aplicación

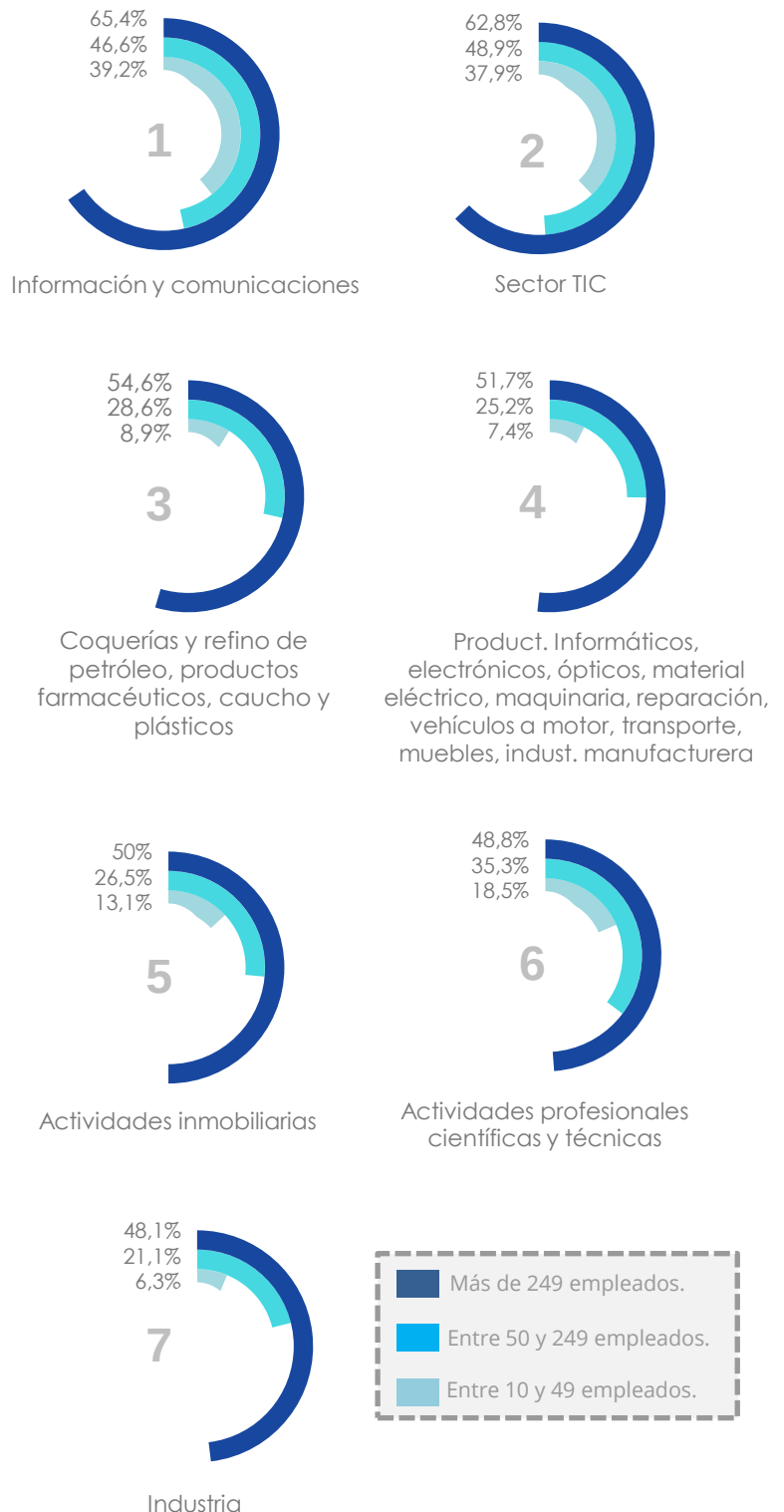
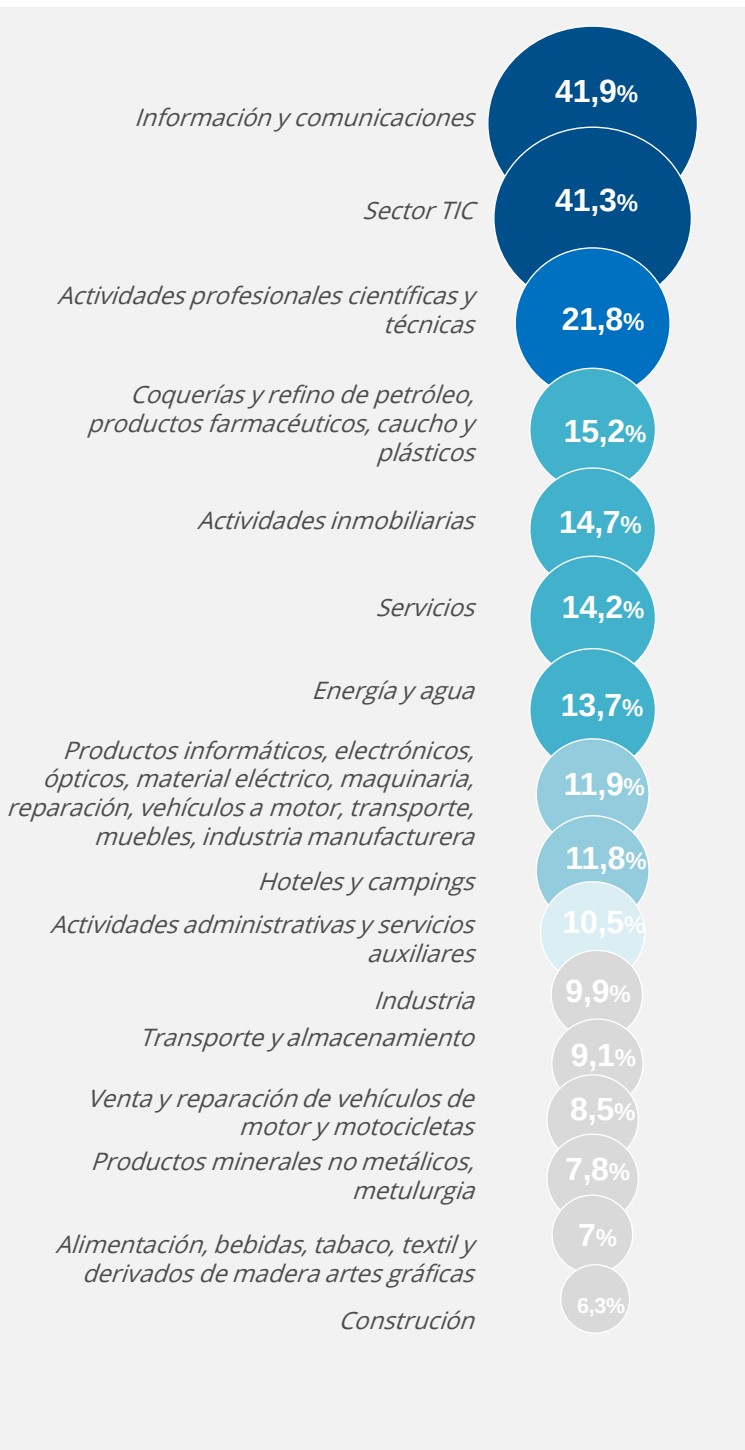
Estado de arte de Implantación

Inteligencia Artificial (IA)

Adopción de IA en España

El **análisis por sectores** refleja una disparidad relevante entre los mismos, el sector de la información y comunicaciones y el sector TIC encabezan el ranking, con porcentajes de adopción superiores al 40%. Lo que contrasta con el porcentaje de adopción en el sector industrial que no alcanza el 10%:

No obstante, si el análisis se realiza en función del tamaño de la empresa, y se pone el foco en las medianas y grandes empresas, el listado se ve alterado significativamente, liderando el ranking los siguientes sectores:



Big Data

Adopción de Big Data en España

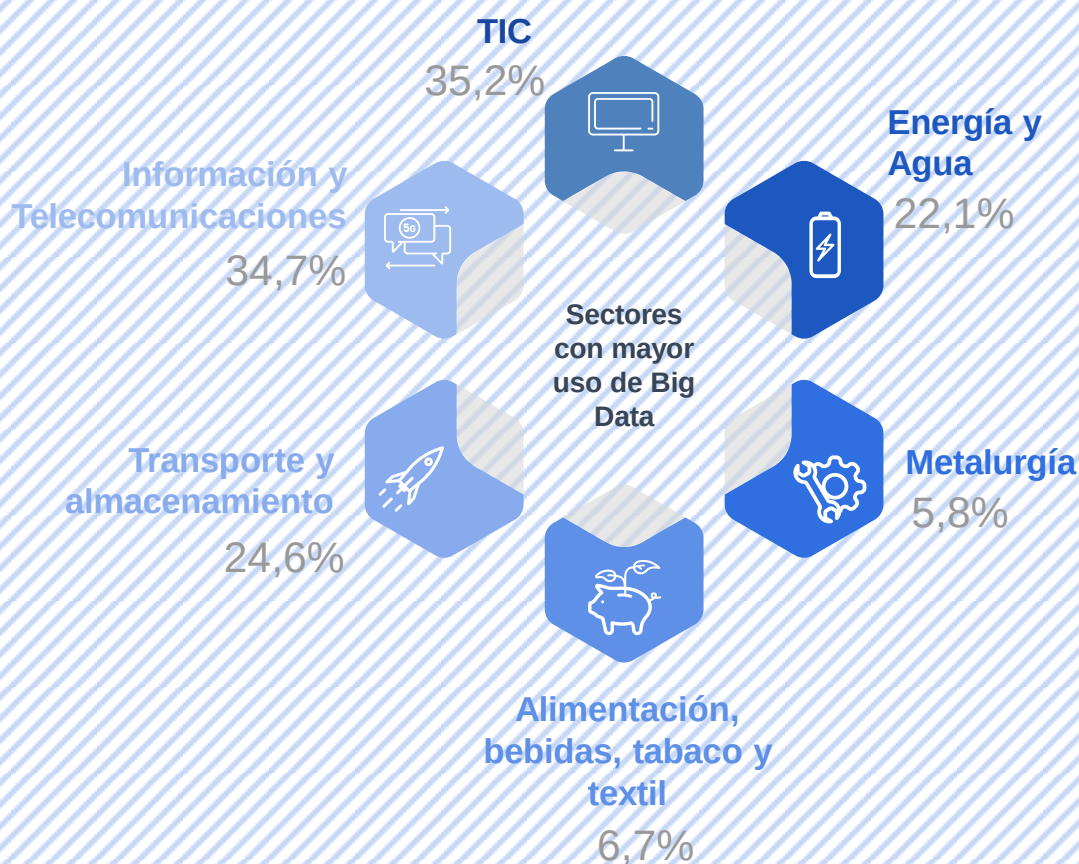
El Big Data es otra de las herramientas cuya adopción por parte de las empresas resulta clave para la digitalización de la economía española. **Para 2030, la UE ha marcado el objetivo de que el 75% de las empresas europeas hayan adoptado servicios de computación en nube, macrodatos e inteligencia artificial.** Por su parte, la estrategia España Digital 2026 fija la meta de que **para 2025 el 25% de las empresas españolas usen inteligencia artificial y Big Data.** El uso de Big Data e inteligencia artificial en las empresas españolas sigue aumentando año a año, aproximándose a las metas fijadas en España Digital 2026.

El análisis de Big Data se realiza a partir de fuentes muy variadas y a través de métodos distintos. En 2022, las fuentes de datos más utilizadas han sido:

- **Geolocalización** a partir de dispositivos portátiles (55,3% de las empresas que analizaron Big Data). Ello supone un crecimiento de cuatro puntos porcentuales respecto a 2021.
- **Uso de medios sociales** (48,6%)

Por otro lado, la adopción de Big Data por sectores económicos, con una diferencia de 30 puntos porcentuales entre el sector con más implantación y el que menos.

Porcentaje de adopción de Big Data



El Internet de las cosas (IoT) está generando una transformación acelerada en nuestro entorno al dotar de inteligencia digital a una amplia gama de objetos físicos. Este **poder transformador del IoT está redefiniendo por completo la manera en que las empresas operan**, permitiéndoles ser más ágiles, inteligentes, seguras y eficientes en sus actividades comerciales.

En los últimos años, hemos sido testigos de un crecimiento notable en la adopción de IoT a nivel mundial. Sin embargo, la llegada del COVID-19 ha actuado como un acelerador para esta adopción. En este nuevo panorama, **las empresas están reconociendo cada vez más el valor estratégico que el IoT puede aportar a sus operaciones**. Se ha evidenciado su capacidad para mejorar la eficiencia operativa, optimizar procesos y, lo que es aún más relevante, para adaptarse ágilmente a las cambiantes necesidades del cliente.

Según el Informe 'IoT Signals: Manufacturing Spotlight' de Microsoft el **65% de las empresas industriales a nivel global ya están implementando estrategias IoT** y un 30% están en desarrollo de las

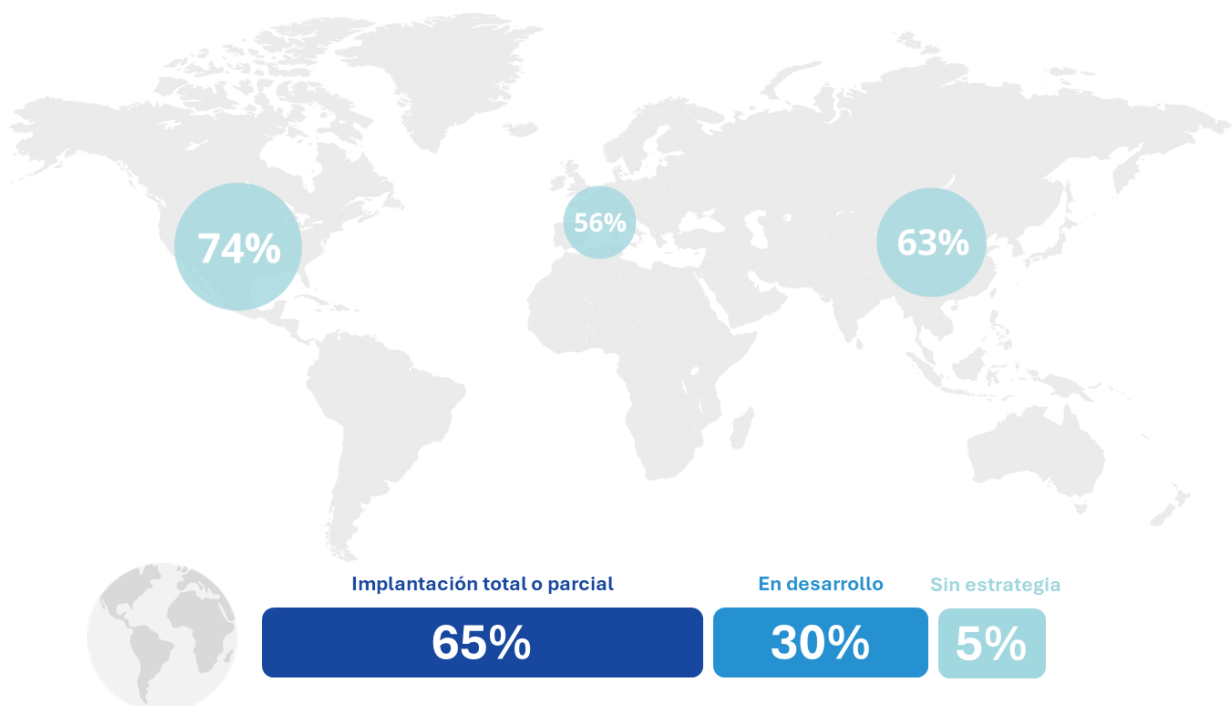
+1 billón

De dólares se estima que será la inversión global en IoT para 2026

49 mil millones

De dispositivos conectados IoT se prevé para 2026

mismas, Si hacemos un análisis por regiones Norteamérica lidera el ranking con un 74% de empresas que están implementando su estrategia, mientras que en Europa esta cifra se reduce hasta el 56%. En cuanto los objetivos perseguidos, el principal objetivo de la implementación de las estrategias es lograr una mayor eficiencia operativa a través del control de la calidad y el mantenimiento predictivo de la maquinaria.



Adopción por sectores

En el panorama actual, la adopción del Internet de las cosas (IoT) está desempeñando un papel crucial en la evolución de numerosos sectores a nivel global. Desde la manufactura hasta la salud, el transporte y más allá, el IoT está marcando una diferencia significativa en la

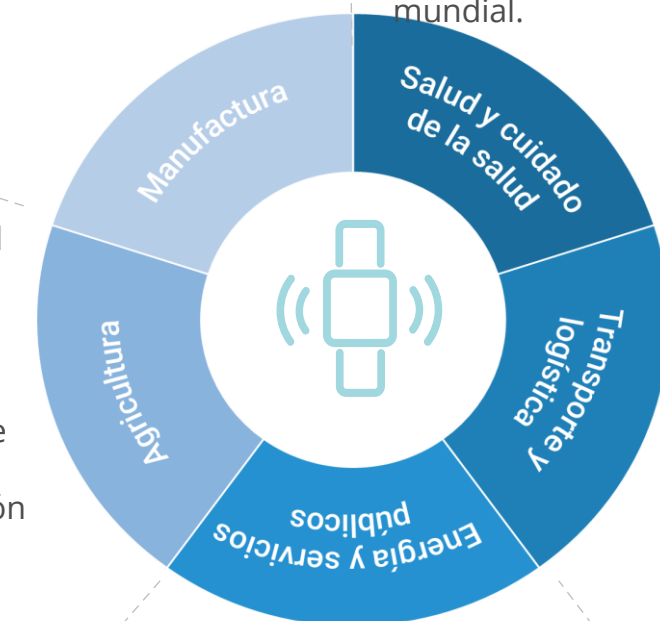
forma en que las industrias operan y ofrecen servicios. Para comprender mejor este fenómeno, se exponen los datos y tendencias que revelan los sectores con mayor adopción de IoT y cómo estas tecnologías están impulsando cambios profundos en sus respectivos ámbitos.

El uso de estas tecnologías cobró impulso en este sector para **mejorar la eficiencia operativa y empresarial**. Actualmente, es el más preparado para adoptar la tecnología, siendo uno de los mayores impulsores de esta debido a la implementación de conceptos como la industria 4.0 y las fábricas inteligentes.

La pandemia de COVID-19 ha impulsado la necesidad de **soluciones de telemedicina y monitorización remota de pacientes**. En 2021, se enviaron 85 millones de sensores y dispositivos médicos portátiles. En esta línea, se estima que el mercado de dispositivos conectados alcanzará los 612 mil millones de dólares para 2028 a nivel mundial.

Impulsada por la necesidad de **optimizar el uso de recursos, mejorar la productividad y mitigar los impactos del cambio climático**, se pronostica que sea el sector con mayor desarrollo en la implantación de IoT en España.

De esta forma, el mercado de agricultura de precisión alcanzaría los 10.7 mil millones de dólares para 2025 a nivel mundial.



En el caso de las empresas de este sector, este tipo de soluciones se utilizan para **supervisar mejor los recursos como el control de emisiones, y gasto eléctrico**. Se estima que el mercado alcanzará los 39 mil millones de dólares para 2026 a nivel mundial.

La **mejora de la eficiencia de las operaciones, la visibilidad de la cadena del suministro y la seguridad de la carga** han dado el impulso para la adopción de estas soluciones en el sector.

Se espera que el mercado de soluciones de IoT alcance los 225 mil millones de dólares para 2025 a nivel mundial.

Se estima que la cantidad de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) a nivel global pasará de 9,7 mil millones en 2020 a más de 29 mil millones en 2030.

La implantación de tecnologías en la nube, o "*cloud computing*", en las empresas españolas ha sido un tema de creciente interés y adopción en los últimos años. Este enfoque tecnológico ha revolucionado la forma en que las organizaciones gestionan sus recursos informáticos, permitiéndoles acceder a una variedad de servicios y aplicaciones a través de internet de manera flexible y escalable.

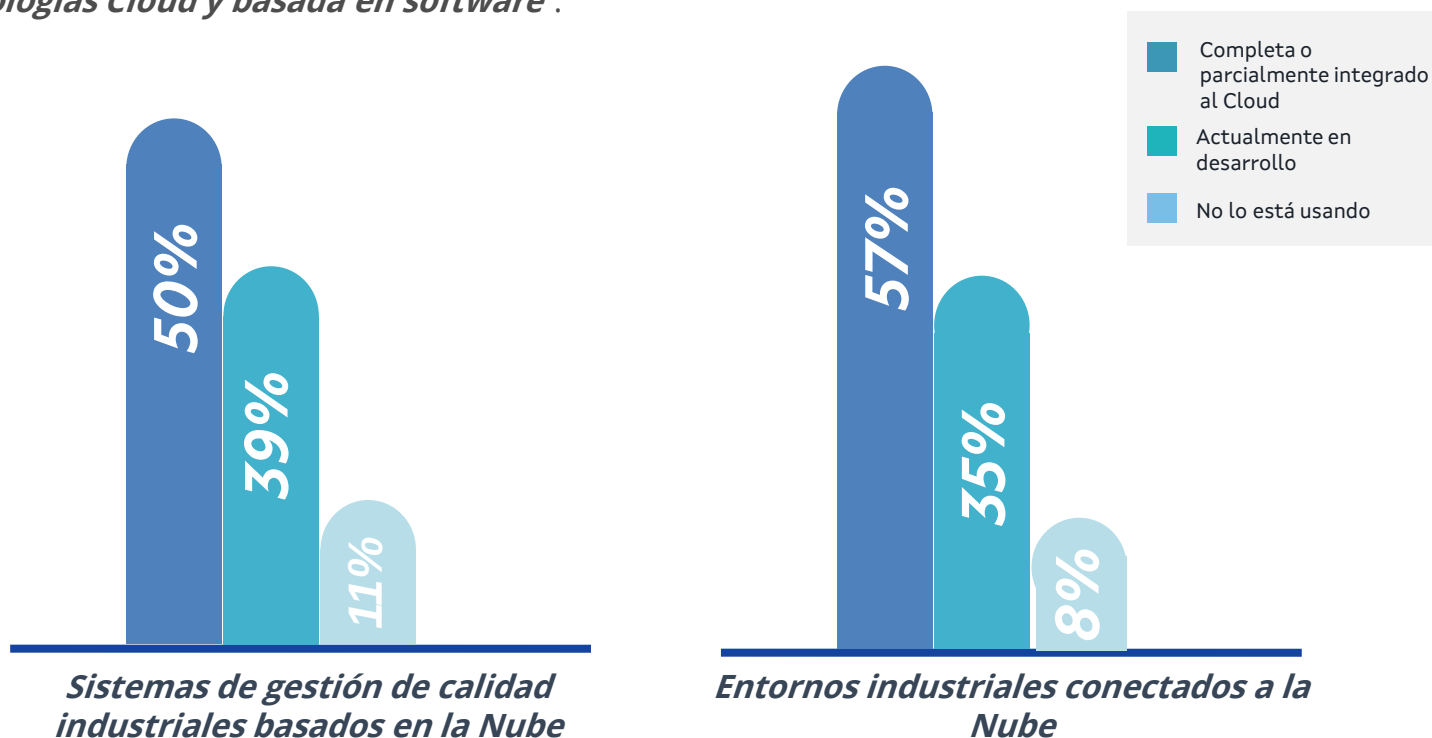
La adopción de este tipo de tecnologías en las empresas españolas ha sido impulsada por diversos factores. Entre ellos se encuentran la **creciente digitalización de los procesos empresariales**, la **necesidad de mantenerse competitivas** en un mercado globalizado y la **búsqueda de soluciones tecnológicas** que permitan una mayor agilidad y capacidad de adaptación a los cambios del entorno empresarial.

Esta creciente adopción de las tecnologías cloud se ha visto también notablemente incrementada en las fábricas y empresas de fabricación, estudios de mercado tecnológicos realizados por Microsoft e Intel daban este titular: "**La automatización industrial se está transformando en una industria basada al completo en tecnologías Cloud y basada en software**".

En el mismo estudio, podemos ver como los sistemas de automatización industrial (PLC, sistemas DCS, IPC, E/S y hardware relacionado) son esenciales para cualquier fábrica que produzca bienes a gran escala. En cierto sentido, pueden considerarse el corazón de los procesos de fabricación.

A medida que las fábricas se hacen más ágiles y modulares, los sistemas de automatización deben dar a los usuarios finales la flexibilidad necesaria para modificar en tiempo real la configuración de las máquinas, fabricar nuevas variantes de productos de o tener la posibilidad de cambiar el flujo a nivel de toda la planta. Dado que muchas fábricas siguen utilizando equipos con décadas de antigüedad que presentan muchas limitaciones, no es de extrañar que **se estime que los fabricantes planeen aumentar las inversiones en automatización industrial de nueva generación en más de un 29% durante los próximos tres años**.

Encuestas realizadas a multitud de empresas arrojan los siguientes datos:



La implantación de medidas de ciberseguridad se ha convertido en una prioridad fundamental para las empresas españolas en la era digital actual. Con el crecimiento exponencial de las amenazas cibernéticas y la cada vez mayor dependencia de la tecnología para las operaciones comerciales, la protección de los activos digitales y la información confidencial se ha vuelto crítica.

En España, al igual que en otros países, las empresas enfrentan una amplia gama de amenazas cibernéticas que van desde ataques de malware y ransomware hasta robos de datos y violaciones de la privacidad. Estas amenazas pueden tener consecuencias devastadoras, incluida la pérdida de datos críticos, el daño a la reputación de la empresa y la interrupción de las operaciones comerciales.

En respuesta a este panorama de riesgos, cada vez se están adoptando medidas más proactivas para fortalecer la seguridad digital de las empresas. Esto incluye la implementación de políticas y procedimientos de seguridad robustos, la adopción de **tecnologías de protección avanzadas, como firewalls y sistemas de detección de intrusiones, y la capacitación del personal en prácticas seguras de uso de la tecnología.**

Además, las empresas españolas son cada vez más conscientes de la importancia de cumplir con regulaciones y estándares de seguridad cibernética, tanto a nivel nacional como europeo. Esto incluye el cumplimiento de normativas como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea, que establece requisitos estrictos para la protección de datos personales.

Medición orientada a resultados

Con el objetivo de lograr una estrategia de inversión en ciberseguridad en las organizaciones, es necesario poner el foco en la medición de los resultados obtenidos con la aplicación de la ciberseguridad.



IA y Aprendizaje automático

La IA Generativa se postula como uno de los desafíos a gestionar en ciberseguridad, pero también puede ser una oportunidad para apoyar operaciones de seguridad y de protección de aplicaciones

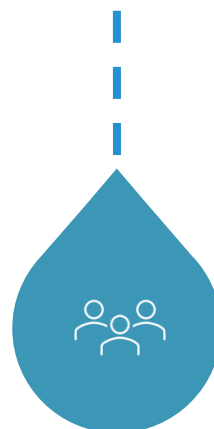


Programas CTEM

Se prevé que las empresas que utilicen un programa de Gestión Continua de la Exposición a Amenazas (CTEM) para 2026 tendrán una reducción de dos tercios en las amenazas.

Programas de cultura y comportamiento de seguridad

Para el año 2027, se espera que al menos el 50% de los CISOs (Chief Information Security Officer) de grandes empresas hayan implementado en sus estrategias prácticas de diseño de seguridad centradas en las personas.



Tecnologías habilitadoras en el sector naval

El sector naval no es ajeno a la revolución de las tecnologías. El sector pone el foco en estas con el objetivo de desarrollar soluciones de carácter innovador que apoyen en la mejora de la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad.

La capacidad transformadora de las tecnologías habilitadoras abarca desde la automatización de procesos, el apoyo en

la toma de decisiones, la seguridad y el mantenimiento predictivo, hasta la optimización de rutas y el tracking de contenedores si de transporte marítimo hablamos.

A continuación, destacamos los casos de uso en los que la aplicación de estas tecnologías habilitadoras está teniendo un impacto significativo.

Uso de la IA para la **predicción de fallos en sistemas críticos** a bordo, lo que redundará en un menor tiempo de inactividad y una reducción de costes asociados. En esta misma línea, el uso de Big Data permite **desarrollar modelos de mantenimiento predictivo y evitar paradas no programadas**, en base al histórico de datos de la maquinaria que interviene en el proceso. Además, la utilización de IoT permite realizar una **monitorización continua**, contribuyendo a la detección de anomalías, entre otros.

El uso de la IA para **técnicas de simulación y modelado** que permiten, entre otras cosas, simular el rendimiento de los diseños propuestos en diversas condiciones operativas y ambientales; o la aplicación de la IA para el análisis de datos históricos que permiten identificar patrones y tendencias que guíen el diseño futuro de embarcaciones son solo algunos ejemplos de cómo la IA puede contribuir en el diseño y construcción de embarcaciones. Además, el uso de IoT permite lograr una **fabricación conectada** que permite que el total de **información del proceso esté disponible en tiempo real para cada puesto de la cadena**.

Aplicación de la IA en el **desarrollo de sistemas autónomos y robótica** que realizan diversas tareas en la industria. Aplicación de la IoT en el desarrollo de sistemas inteligentes, **capacitando al sistema para la percepción de su entorno**.

La implementación de procesos y medidas de ciberseguridad adecuadas, permiten **detectar y responder ante amenazas**, además de, en último caso **recuperar los sistemas afectados**. En esta misma línea, los sistemas basados en IA que permiten la **detección temprana de amenazas** mediante el análisis de datos de radar, imágenes de satélites y otros sensores.

La utilización de IoT para el tracking de contenedores permite la **localización del mismo en todo momento** dando respuesta a las limitaciones encontradas en los sistemas GPS. Igualmente, la aplicación de la IA para el análisis de datos meteorológicos tráfico marítimo, condiciones del mar y otros factores con el objetivo de realizar una **optimización de las rutas** y la planificación de viajes.

Big Data, con su capacidad de organización y análisis del volumen actual de datos disponibles, permite la **optimización de los procesos en base a datos históricos, ofrece soporte a la toma de decisiones en base a algoritmos automáticos**, entre otros. El uso de tecnologías Cloud, utilizando infraestructuras externas de almacenamiento, permite la **disminución de los costes y el aumento de la velocidad en el trabajo**.



La aplicación de estas tecnologías al sector naval encuentra dos retos principales: la **adaptación a un entorno altamente complejo y dinámico**, y la necesidad de **garantizar la seguridad y privacidad** de la información.



**Casos de
estudio**

5

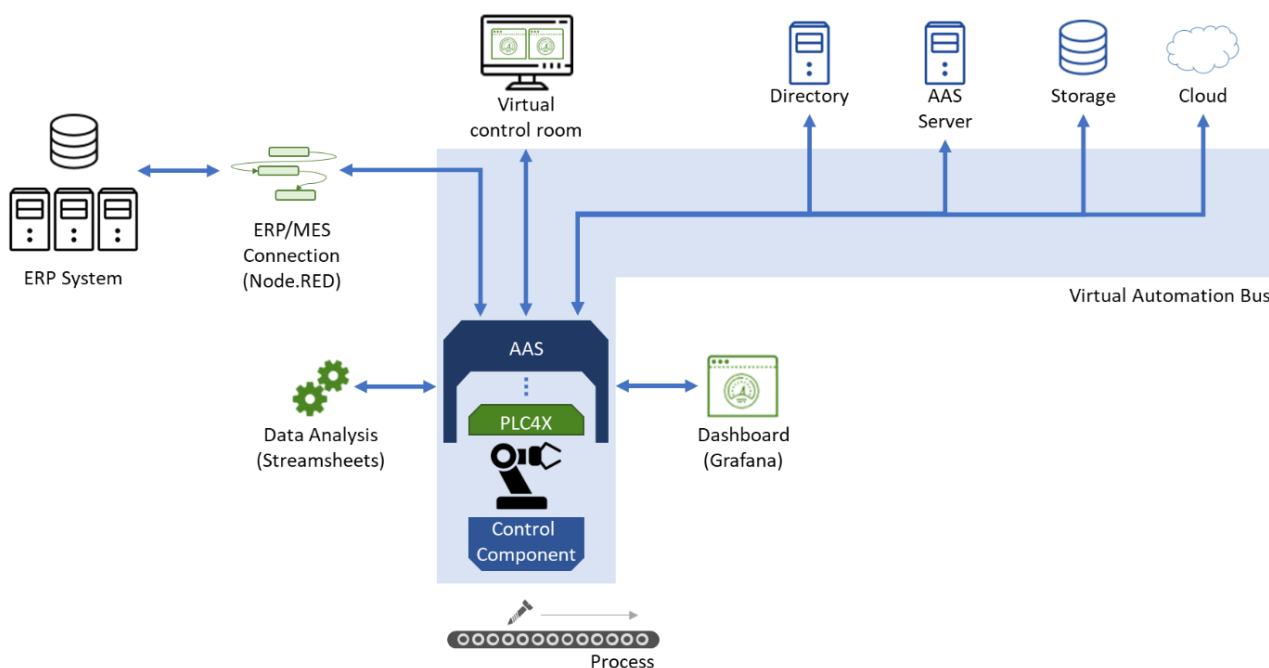
Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Eclipse BaSyx

Es una implementación técnica de *código abierto* de diversos conceptos clave definidos por la Platform Industrie 4.0, como por ejemplo el de Asset Administration Shell. Esta plataforma proporciona componentes listos para usar y kits de desarrollo de software (SDK) ampliables para Java, C++ y C#.

En particular, implementa un middleware open source para la Industria 4.0 que permite la digitalización de entornos de producción.

Integra procesos, dispositivos, trabajadores, productos y todos los demás activos relevantes en un sistema digital unificado. Por tanto, habilita la conectividad, el análisis de datos holístico, una mejor comprensión de los sistemas de producción a través de enfoques disruptivos.

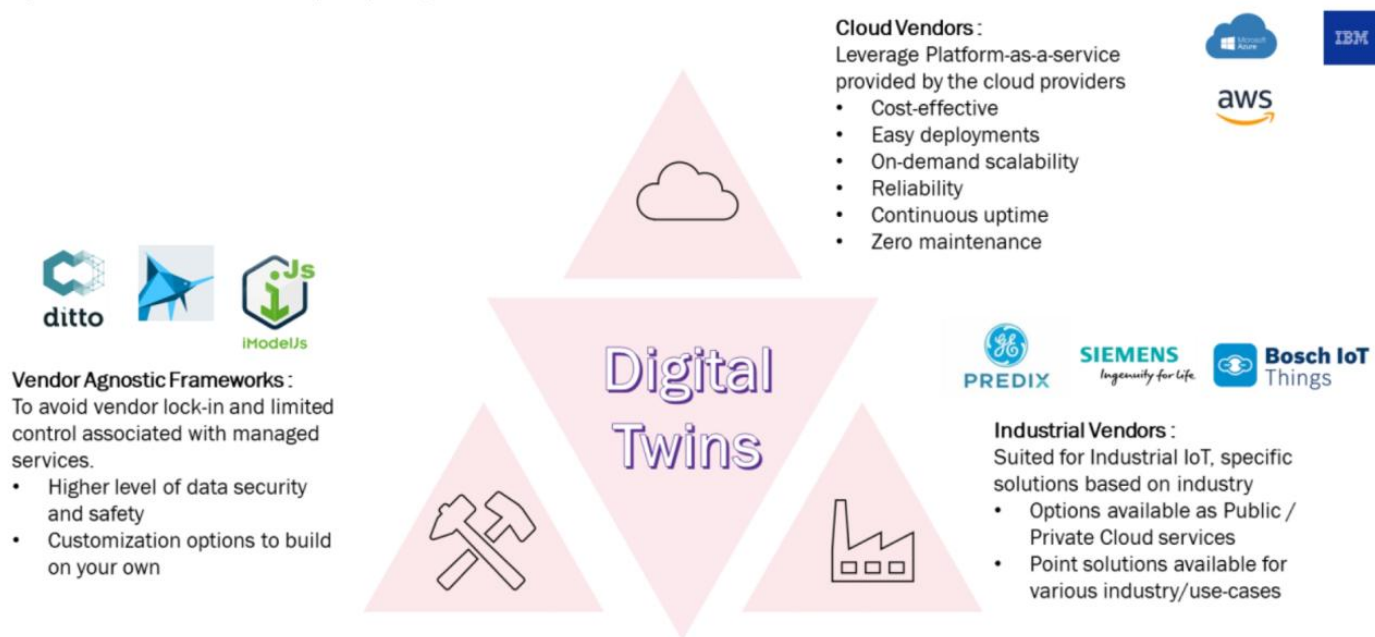


Arquitectura básica de Basyx

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

SOLUCIONES COMERCIALES

Existen numerosas soluciones comerciales orientadas a la implantación de gemelos digitales en la industria. Cada fabricante ofrece su propia estrategia y visión de lo que es un gemelo digital y de sus características habilitadoras. En este apartado se recoge una muestra representativa de la oferta del mercado, si bien no exhaustiva



Opciones para construir / implementar Gemelos Digitales

Ericsson

Ericsson ofrece con sus productos Ericsson Industry Connect1 soluciones de conectividad 4G LTE y 5G para industria. Su enfoque se centra en la seguridad y la facilidad de instalaciones, apostando por soluciones plug&play y gestionadas desde una plataforma cloud.

En la misma línea, apuestan por la conectividad como habilitadora 4.0 con 5G-SMART2, un proyecto de colaboración de investigación. Su objetivo es probar aplicaciones avanzadas de fabricación integradas con 5G, como la robótica industrial con control remoto, la supervisión de procesos inalámbricos o la robótica móvil. Las pruebas se realizan incorporando implementaciones 5G en configuraciones de fabricación reales: en una fábrica de Ericsson en Kista, Suecia, en la sala de máquinas del Instituto Fraunhofer de Tecnología de Producción (IPT) en Aachen, Alemania, y en una fábrica de semiconductores de Bosch en Reutlingen Alemania. 5G-SMART ha realizado una evaluación de Compatibilidad Electromagnética (EMC), medidas de canal y pruebas de coexistencia entre redes industriales públicas y privadas.

Por otro lado, con su IoT Accelerator (IoT platform) Ericsson ofrece un ecosistema de partners para el desarrollo de soluciones IoT en la industria.

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Siemens

Su software para industria se centra en ayudar a los fabricantes a convertirse en empresas digitales, al permitirles digitalizar e integrar toda su cadena de valor industrial a través de soluciones PLM, soluciones de gestión de operaciones de fabricación (MOM) y equipos TIA, todo ello respaldado por Teamcenter, la plataforma de colaboración de Siemens y columna vertebral de datos única.

Con su solución Digital Enterprise, Siemens ofrece un equilibrio entre seguridad y apertura. Para proteger todos los flujos de datos continuos y multidireccionales, incorpora un concepto de seguridad multicapa en cada paso. Al mismo tiempo, existe un flujo continuo de datos entre las partes interesadas para lograr una colaboración fluida.

Su concepto de Digital Twin está enfocado en integrar todo el ciclo de vida del producto y, si es necesario, incluso el ciclo de vida de la fábrica y la planta. Los datos de rendimiento generados capturados en el mundo físico permiten un ciclo continuo y abierto de optimización tanto para el producto como para la producción. Este enfoque integral de Digital Twin integra todos los componentes necesarios, incluso un Digital Twin del edificio, que puede utilizar para optimizar el rendimiento y la eficiencia de la infraestructura física y energética de una planta de producción.

Es interesante destacar también PlantSight, una solución de Digital Twin desarrollada conjuntamente para la industria de procesos por Siemens y Bentley Systems. Según Siemens, PlantSight reúne una gran cantidad de datos e información, los contextualiza, los valida y permite visualizarlos. Se enfoca en transformar los datos sin procesar en un gemelo digital completo, que se actualiza continuamente. En este contexto, Siemens define un gemelo digital completo como los datos 1D, 2D y 3D reunidos de muchas fuentes diferentes, que proporcionan datos consistentes, revelan el contexto de interés, revelan "datos oscuros" y generan conocimientos sólidos.

Cabe mencionar el proyecto Aquaculture 4.05, en Singapur, para la empresa Pescanova. Este piloto tuvo lugar en una granja marina de 3000 metros cuadrados y sus principales características, según Siemens son:

- Instalación de sistemas automatizados y sensores.
- Uso de MindSphere para proporcionar conectividad en la nube, análisis de datos y paneles en vivo para optimizar las operaciones.
- Trazabilidad confiable a lo largo de toda la cadena de valor usando Blockchain.
- Uso de visión artificial con cámaras, para detectar anomalías en la piel y un comportamiento de natación inusual para prevenir el brote de enfermedades.
- Uso de algoritmos de análisis de video con aprendizaje automático para calcular la biomasa y el nivel de hambre para optimizar la alimentación.
- Infraestructura de Ciberseguridad.

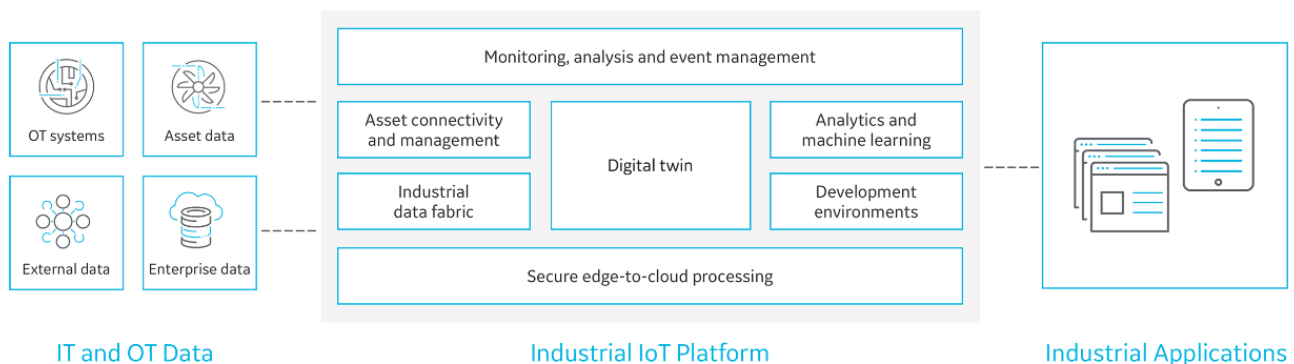
Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

General Electric

Apuesta fuerte por soluciones de gemelo digital especialmente orientadas al sector energético.

Además GE es miembro fundador del Digital Twin Consortium.

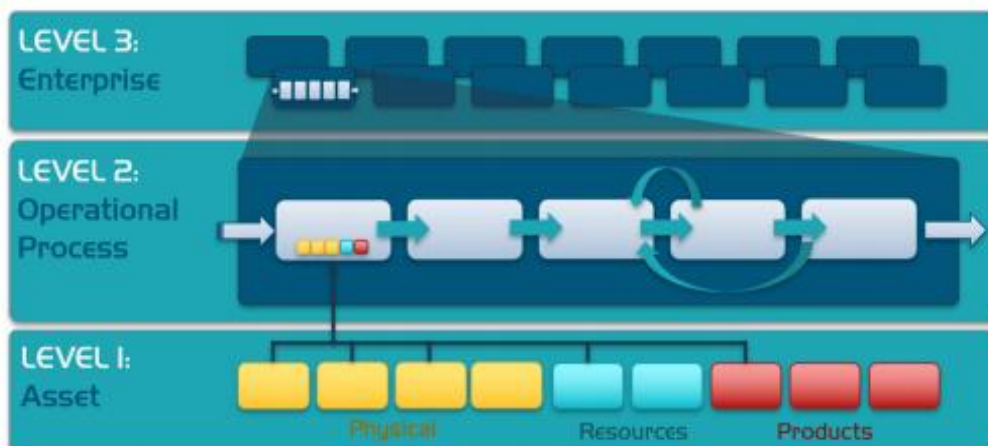
Su producto GE Predix es una plataforma que ofrece capacidades compartidas que las aplicaciones industriales requieren: conectividad de activos, tecnologías de vanguardia, análisis y aprendizaje automático, procesamiento de big data y gemelos digitales centrados en activos.



Arquitectura de Predix. Fuente: General Electric

General Electric define el Digital Twin como una representación software de un activo, sistema o proceso físico diseñado para detectar, prevenir, predecir y optimizar a través de análisis en tiempo real.

En GE Digital, se centran en cómo los Digital Twins pueden ayudar en tres áreas principales: activos, redes y procesos. Su software Digital Twin aplica el aprendizaje automático y la analítica avanzada al monitoreo en tiempo real de grandes cantidades de datos industriales: desde sistemas HMI / SCADA, series temporales, alarmas, eventos, así como lecturas meteorológicas y de temperatura ambiente. Atendiendo a estas 3 áreas principales definen 3 tipos de gemelo digital, ofreciendo soluciones comerciales para cada uno de ellos.



Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

IBM

Para IBM un gemelo digital es un modelo virtual diseñado para reflejar con precisión un objeto físico.

IBM distingue varios tipos de gemelos digitales según el nivel de magnificación sobre el detalle de producto. La mayor diferencia entre estos gemelos es el área de aplicación, aunque es común que coexistan diferentes tipos de gemelos digitales dentro de un sistema o proceso. Los tipos que consideran son:

- **Gemelo de componente/ de pieza:** Los gemelos de componentes son la unidad básica del gemelo digital, el ejemplo más pequeño de un componente funcional. Los gemelos de piezas son más o menos lo mismo, pero pertenecen a componentes de menor importancia.
- **Gemelos de activos:** Cuando dos o más componentes trabajan juntos, forman lo que se conoce como un activo. Los gemelos de activos permiten estudiar la interacción de esos componentes, creando una gran cantidad de datos de rendimiento que se pueden procesar y luego convertir en información práctica.
- **Gemelos de sistema o unidad:** El siguiente nivel de detalle involucra sistemas o unidades gemelas, que permiten ver cómo los diferentes activos se unen para formar un sistema en funcionamiento completo. Los gemelos del sistema brindan visibilidad con respecto a la interacción de los activos y pueden sugerir mejoras en el rendimiento.
- **Gemelos de proceso:** Los gemelos de proceso, el nivel macro de detalle, revelan cómo los sistemas trabajan juntos para crear una instalación de producción completa. ¿Están todos esos sistemas sincronizados para operar con la máxima eficiencia o los retrasos en un sistema afectarán a otros? Los gemelos de proceso pueden ayudar a determinar los esquemas de tiempo precisos que, en última instancia, influyen en la eficacia general.

Entre las soluciones ofrecidas por IBM destaca la solución Service Lifecycle Management, creada por IBM y Siemens. Su enfoque es establecer un hilo digital de extremo a extremo entre los fabricantes de equipos y los propietarios / operadores de ese equipo,

Otro producto de interés es IBM Digital Twin Exchange, un marketplace de digital twins de activos de muchos tipos. Está pensado para que los fabricantes añadan un gemelo digital de su producto, de forma que las empresas puedan usarlo fácilmente.

Microsoft

Microsoft habla de gemelo digital con su producto Azure Digital Twins, una plataforma online como servicio (PaaS) que permite crear grafos de conocimiento basados en modelos digitales de entornos completos. Estos entornos pueden ser edificios, fábricas, granjas, redes energéticas, ferrocarriles, estadios, etc., e incluso ciudades enteras.

Trabaja, por ejemplo, con Nvidia dando soporte a los gemelos digitales en su metaverso Omniverse.

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Lanner

Lanner es una compañía estadounidense formada a partir de AT&T y dedicada a la tecnología de optimización y simulación predictiva. Sus productos WITNESS y WITNESS.io, centrados en la simulación y el modelado de procesos, se enfocan a un tipo de gemelo digital que denominan Predictive Digital Twin (gemelo digital predictivo).

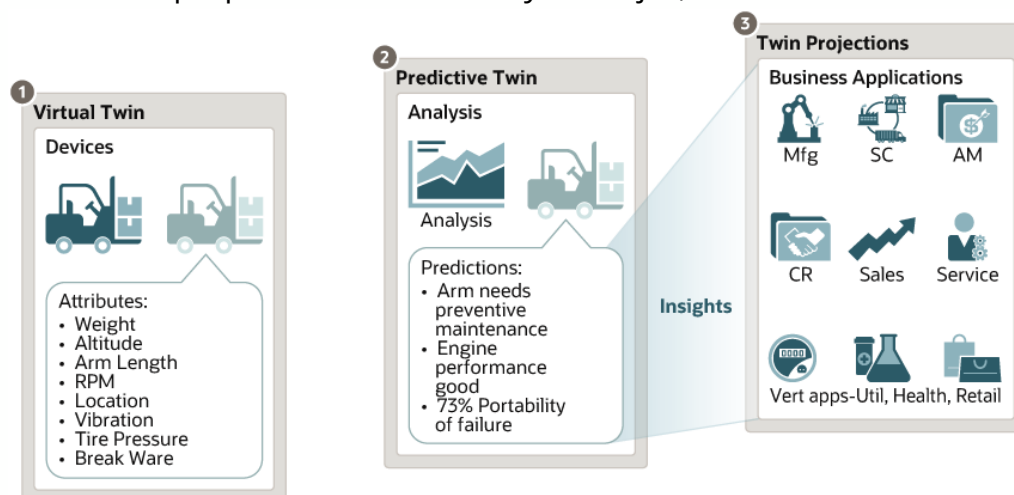
Según Lanner, un gemelo digital predictivo ofrece oportunidades más allá del uso de la información del estado actual para impulsar el rendimiento de los procesos operativos y de los activos. Se crea utilizando software de simulación predictiva especialmente diseñado y se puede utilizar para evaluar planes o potenciales escenarios futuros. Esto permite a los tomadores de decisiones probar y comprender el impacto de cada escenario, identificando oportunidades y riesgos, sin incurrir en costo alguno. Los gemelos digitales predictivos funcionan modelando eventos individuales utilizando un motor basado en el tiempo, considerando los recursos, las limitaciones y la interacción con otros eventos. Reflejan las reglas del proceso y la variabilidad que afectan el comportamiento de sistemas de la vida real y entornos operativos complejos.

Lanner propone como objetivo último de un gemelo digital el soporte a la toma de decisiones automatizada, aunque reconoce que aún no se ha alcanzado ese punto.

El software de simulación WITNESS (Horizon de Lanner) brinda capacidades de optimización junto con la funcionalidad de experimentación de escenarios. Esto permite que un gemelo digital predictivo busque la respuesta óptima, como equilibrar el gasto y los recursos necesarios para lograr un resultado específico. Esto se conoce como análisis prescriptivo en lugar de predictivo.

Oracle

Para Oracle, un gemelo digital es una representación digital de un dispositivo, activo o sistema físico. Oracle presenta el concepto de gemelo digital IoT de manera integral, basado en tres pilares, cada uno con sus propios casos de uso y ventajas, como se muestra en la siguiente imagen.



Gemelos digitales de Oracle. Fuente: Oracle

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Gemelo virtual: con la función de virtualización de dispositivos se crea una representación virtual de un dispositivo físico o un activo en la nube.

Gemelo predictivo: consiste en la implementación de un modelo analítico o estadístico para la predicción mediante el uso de una técnica de aprendizaje automático.

Twin Projections: en el que las predicciones y los conocimientos se integran con las aplicaciones comerciales de back-end, convirtiendo IoT en una parte integral de los procesos comerciales. Para proyecciones de conocimientos, Oracle IoT Cloud Service se integra con varios productos, como son Oracle ERP y Oracle CX para las integraciones nativas predefinidas, más de 150 aplicaciones mediante el uso de Oracle Integration Cloud Service (ICS) o el uso de APIs REST.

Oracle ofrece un gemelo digital de simulación para IoT, que permite crear dispositivos simulados para un entorno sin la necesidad de conectarse y configurar el hardware y permite generar datos en vivo, alertas y eventos configurables para estos dispositivos simulados. Además, habilita la creación de modelos de simulación para luego usarlos para crear instancias de dispositivos simulados y proporciona modelos de simulación listos para usar que se pueden utilizar para crear dispositivos simulados.

Dassault Systemes

Dentro de su portafolio de soluciones para industria incluyen una enfocada a gemelo virtual, 3DEXPERIENCE Twin20, que pone el acento en el modelado 3D de los activos, sin constituir una solución específica para gemelo digital, sino una adaptación para el concepto de gemelo.



Modelo de gemelo digital para Dassault. Fuente: Dassault

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Bentley Systems

Al igual que General Electric, Bentley también es un miembro fundador del Digital Twin Consortium. El producto estrella que ofrecen en el marco de los gemelos digitales es iTwins, enfocado sobre todo a la construcción, una solución basada en el proyecto Open Source iModel.js. Es un gemelo digital de activos, que ofrece información sobre el rendimiento de las infraestructuras empleando técnicas de análisis inteligente como AI y ML.

Destaca su compromiso con la apertura y la interoperabilidad como clave habilitadora del desarrollo de gemelos digitales. Para Bentley, una plataforma abierta es aquella que admite una amplia variedad de formatos de datos, incluidos formatos propietarios diseño de ingeniería, y debe ser proveedor neutral en lo que respecta al soporte de formato. La plataforma debe poder extraer datos en un formato nativo y ponerlo a disposición en un formato abierto estándar que pueda ser consultado e integrado. Para facilitar este enfoque, Bentley Systems admite una amplia gama de herramientas de diseño de terceros y de intercambio de archivos.

También es de reseñar su colaboración para industria de procesos con Siemens y otros que culmina en la herramienta PlantSight.

Bosch

Aunque no exactamente enfocado a la industria 4.0, la solución Bosch IoT Things permite que las aplicaciones administren gemelos digitales de activos de dispositivos de IoT de una manera simple, conveniente, sólida y segura.

Según el enfoque del gemelo digital, las aplicaciones pueden almacenar y actualizar los datos, las propiedades y las relaciones de sus activos y recibir notificaciones de todos los cambios relevantes.

Como parte de la Open Manufacturing Platform (OMP), las soluciones de industria 4.0 planteadas por Bosch, como Nexeed Industrial Application System, siguen las recomendaciones alemanas presentadas en apartados previos de este documento. Entre otras publicaciones destacan las relativas a la homogeneización de los datos en la Industria 4.0.

Bosch habla del gemelo digital de sistema, Digital Twin System, que aborda las necesidades de todos los involucrados mediante la homogeneización integral de datos semánticos y la transmisión de datos de fabricación junto con información contextual.

El Digital Twin System de Bosch Connected Industry constituye la base para una completa digitalización de la producción y la logística mediante la creación gradual de una homogeneidad e interoperabilidad de datos coherentes. Cada activo tiene una representación digital con semántica consistente e información contextual: los modelos semánticos subyacentes (modelos de aspecto), los gemelos digitales en sí mismos, así como partes de ellos (aspectos, paquetes de información agrupados por categoría) son independientes entre sí y pueden ser utilizado y encontrado por el usuario específico.

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

SAP

No publicitan una solución específica sobre gemelo digital, creada a propósito, si no que han evolucionado su ecosistema de soluciones para cubrir las necesidades de la Industria 4.0 y el gemelo digital.

Su producto actual es SAP Business Technology Platform, que aglutina muchas soluciones de Internet Of Things, Edge o AI32 (SAP Intelligent Robotic Process Automation, SAP Conversational AI, AI Business Services).

Entre las aplicaciones y herramientas de SAP más relevantes con relación al gemelo digital destacan SAP Predictive Asset Insights, pensada para mantener los activos en funcionamiento al predecir, simular y optimizar su salud con el aprendizaje automático y la tecnología de gemelos digitales y SAP Data Intelligence, una solución integral de gestión de datos que conecta, descubre, enriquece y organiza los activos de datos inconexos en información empresarial procesable a escala empresarial.

Además, ofrecen una infraestructura abierta y enfocada a la AI para facilitar la creación e implementación de aplicaciones de IA a escala utilizando SAP Business Technology Platform, con servicios empresariales listos para usar, orquestación de datos impulsada por IA y canalización en un marco de código abierto.

Hitachi

Lumada IIoT34 es la tecnología, los servicios y las soluciones digitales avanzadas que ofrece Hitachi para convertir los datos en conocimientos. El software Lumada proporciona una plataforma IIoT para la innovación digital y el modelado de gemelos digitales: integración, modelado y análisis de datos de TI / OT.

Davra

Define un Digital Twin como una representación electrónica de una cosa física o un concepto.

Al contrario que las empresas anteriores, Davra es una empresa pequeña, enfocada solo en el Internet de las cosas industrial. Su plataforma Davra IoT Platform35 ha sido reconocida por Gartner como la empresa líder en plataformas privadas IIOT en su cuadrante mágico de plataforma IOT industrial en 2019.

Davra proporciona una amplia gama de servicios desde la gestión de dispositivos de IoT, recopilación y almacenamiento de datos, ejecución de reglas contra los datos o modelado de entidades, entre otras.

El análisis en el Edge y el Cloud, incluyendo análisis en streaming, Machine Learning, PLN (Procesado de Lenguaje natural) y algoritmos de AI. Visualización avanzada, con dashboards, mapas GIS y alta configurabilidad. Además, ofrecen una larga selección de protocolos de comunicaciones y OT, como Modbus, Profinet o Canbus e integración con redes Lora, Sigfox o NB-IOT.

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

Marel

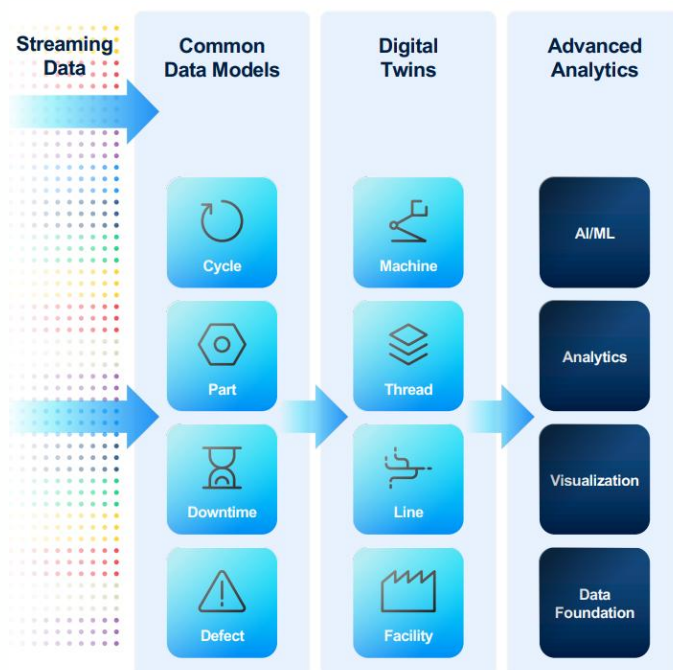
Empresa de maquinaria para automatización de procesos de procesamiento de pescado. Apuestan por la digitalización y además ofrecen un SW - Innova - de tipo MES, con opciones de trazabilidad, calidad y optimización de procesos. No mencionan explícitamente el gemelo digital, pero la naturaleza de su solución puede suponer una buena base para la captura de información.

CodeIT

Empresa dedicada a soluciones de trazabilidad e integración de datos enfocadas al sector de alimentación. Destaca el uso de blockchain, aunque no ofrecen mucha información sobre sus capacidades. Su relevancia se centra en un caso de éxito de procesamiento de salmón en Noruega, en el que aplican nociones de Smart Factory40.

Sight Machine

La plataforma de streaming de Sight Machine es un producto innovador para los datos de fabricación. Diseñado específicamente durante más de una década para convertir datos de plantas no estructurados en una base de datos estandarizada, analiza continuamente todos los activos, fuentes de datos y procesos, desde la máquina hasta el nivel empresarial.



La solución se basa en 3 pilares: Factory TX conecta y unifica de forma segura todas las fuentes de datos relacionadas con la producción, Factory Transform convierte todos los datos de la planta en una única base de información útil y Sight Machine Analyze guía las operaciones con una toma de decisiones continua y en tiempo real.

Relación de soluciones de código libre o comerciales para gemelos digitales

ScaleOut

ScaleOut Digital Twin Streaming Service es un servicio en la nube que rastrea simultáneamente la telemetría de millones de fuentes de datos con gemelos digitales en "tiempo real" basados en software, lo que permite una introspección profunda e inmediata y una retroalimentación en tiempo real altamente dirigida.

Este servicio de transmisión agrega un valor único para las aplicaciones que necesitan monitorear de manera inteligente una gran cantidad de fuentes de datos, rastrear y analizar cambios de estado importantes para cada fuente de datos e identificar rápidamente oportunidades y amenazas emergentes utilizando análisis agregados en tiempo real.

Usos típicos de estas aplicaciones incluyen IoT, seguimiento de flotas y activos, recuperación de desastres, seguridad, seguimiento de dispositivos de salud, servicios financieros y comercio electrónico.

DataProphet

Empresa enfocada en soluciones AI para Industria. La conectividad IIOT habilita sus soluciones de análisis PRESCRIBE y DETECT.

Para DataProphet, es esencial sentar las bases adecuadas para lograr los beneficios de la optimización de fábrica habilitada por Inteligencia Artificial (IA). Esto implica la digitalización de los datos existentes, la automatización de la recopilación de datos y la implementación de un mecanismo de almacenamiento adecuado.

Ofrecen un documento, Autoevaluación de madurez para la Industria 4.0, en el que describen estos pasos iniciales para preparar una fábrica para la optimización de la IA.





Gemelo Digital en el Sector Naval

6

En los últimos años, la industria naval ha experimentado una importante transformación impulsada por la tecnología digital. Con el avance de la digitalización, han surgido nuevas oportunidades y desafíos, dando forma al panorama del sector naval de una manera profunda e impactante. En concreto, los gemelos digitales representan un hito importante en la evolución de la industria naval. Esta innovadora tecnología permite la creación de réplicas virtuales de embarcaciones y sistemas, ofreciendo una serie de beneficios que van desde el diseño y construcción hasta la operación y mantenimiento. En este capítulo se realizará un análisis sobre la inserción de los gemelos digitales en el sector naval, explorando sus aplicaciones, los avances alcanzados y cómo estas innovaciones han influido en la industria.

Gemelos digitales en el sector naval

Los gemelos digitales son representaciones virtuales en tiempo real de embarcaciones o sistemas navales, que integran datos de sensores e información operativa para simular su comportamiento y rendimiento. Esta tecnología permite un análisis detallado y preciso en diferentes etapas del ciclo de vida de los buques, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y la optimización de procesos.

Siguiendo los preceptos de la Industria 4.0, el gemelo digital se ha aplicado en los campos del vehículo eléctrico, la sanidad, las redes, las redes eléctricas y los barcos.

En el sector naval los proyectos se centran en el ciclo de vida completo del buque: diseño, fabricación y mantenimiento [2].

- **Diseño e ingeniería** que permite realizar simulaciones virtuales para evaluar diferentes conceptos y configuraciones. Esto permite identificar problemas potenciales y optimizar el diseño incluso antes de la construcción física del buque. Los ingenieros navales utilizan modelos virtuales para explorar diferentes configuraciones de casco, sistemas de propulsión y distribución de carga. Esto permite realizar un análisis detallado de cada componente y la identificación de posibles mejoras en el rendimiento, eficiencia y seguridad del buque. Los gemelos digitales también facilitan la comunicación entre equipos, proporcionando una representación visual precisa del proyecto en desarrollo.
- **Fabricación y construcción** pudiendo monitorear el progreso y calidad de la producción en tiempo real. Además, los gemelos digitales se pueden utilizar para realizar simulaciones de ensamblaje y pruebas virtuales, garantizando la integridad y eficiencia del proceso. Los datos de los sensores instalados en las instalaciones de fabricación se integran en el modelo virtual del buque, lo que permite la visualización en tiempo real del proceso de montaje. Esto permite identificar tempranamente desviaciones del diseño original, garantizando que el buque se construya según las especificaciones.
- **Operación y mantenimiento** que permiten un seguimiento continuo del rendimiento de la embarcación, prediciendo posibles fallos y optimizando el mantenimiento. También son útiles para entrenar tripulaciones y simular escenarios de emergencia. Los sensores instalados a bordo recopilan datos operativos como temperatura, presión, vibración y consumo de combustible, que luego se integran en el modelo virtual de la embarcación. Esto permite un análisis continuo del estado de salud de los sistemas y componentes, identificando fallas potenciales y necesidades de mantenimiento preventivo.

Impacto

La implementación de gemelos digitales en el sector naval ha tenido un impacto significativo en varios aspectos, entre ellos:

- Reducción de costos. La capacidad de realizar simulaciones virtuales le permite identificar y corregir problemas tempranamente, reduciendo costos y aumentando la eficiencia operativa.
- Seguridad mejorada. Los gemelos digitales permiten que las tripulaciones estén preparadas en entornos seguros, reduciendo los riesgos asociados con operaciones y emergencias reales.
- Optimización del rendimiento. El análisis continuo del comportamiento de la embarcación permite optimizar el rendimiento operativo, maximizando la eficiencia y vida útil de los sistemas.

Desafíos y consideraciones

A pesar de los claros beneficios, la implementación de gemelos digitales en el sector naval también presenta desafíos, como la integración de sistemas y garantizar la calidad de los datos utilizados. Además, se deben considerar cuidadosamente las cuestiones relacionadas con la ciberseguridad y la privacidad.



CASOS DE APLICACIÓN

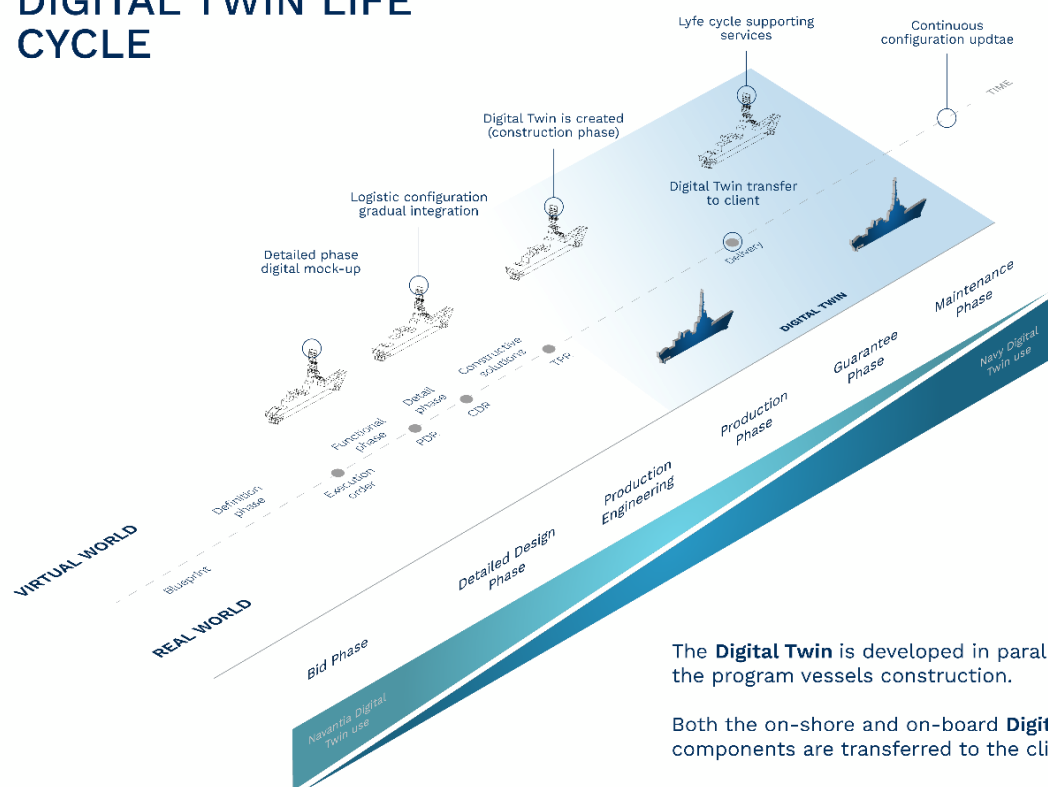
Navantia ha incorporado la tecnología de gemelos digitales como parte integral de su iniciativa Astillero 4.0. Con esta tecnología Navantia puede visualizar el estado y la condición del producto real no sólo en el astillero y todas sus etapas de fabricación sino también una vez que el barco se encuentra a flote, a millas de distancia. Esto es especialmente valioso en el actual contexto globalizado y altamente conectado.

A través de la utilización de tecnologías como el cloud computing, machine learning e internet of things se define este entorno virtual del producto. En él, se analizan los datos recopilados durante todo el ciclo de vida, desde la fase de diseño hasta el mantenimiento. Las simulaciones generadas permiten identificar acciones correctivas y recomendar acciones preventivas.

Cabe destacar en la aproximación de Navantia que una vez que el producto se entrega, el entorno virtual se transfiere al cliente. El cliente puede entonces aprovechar la simulación de escenarios de operación, aplicar inteligencia artificial (desde combate hasta diagnóstico de averías) y lograr ahorros mediante la optimización del mantenimiento de equipos.

En resumen, los gemelos digitales planteados por Navantia no sólo optimizan el diseño y la operación de los sistemas, sino que también anticipan procesos de verificación y validación, proporcionan mantenimiento predictivo, apoyan la toma de decisiones y permiten planificar la producción en función de la situación en tiempo real, no solo de datos históricos.

DIGITAL TWIN LIFE CYCLE



The **Digital Twin** is developed in parallel to the program vessels construction.

Both the on-shore and on-board **Digital Twin** components are transferred to the client.

Concepto de gemelo digital de Navantia. Fuente: Navantia

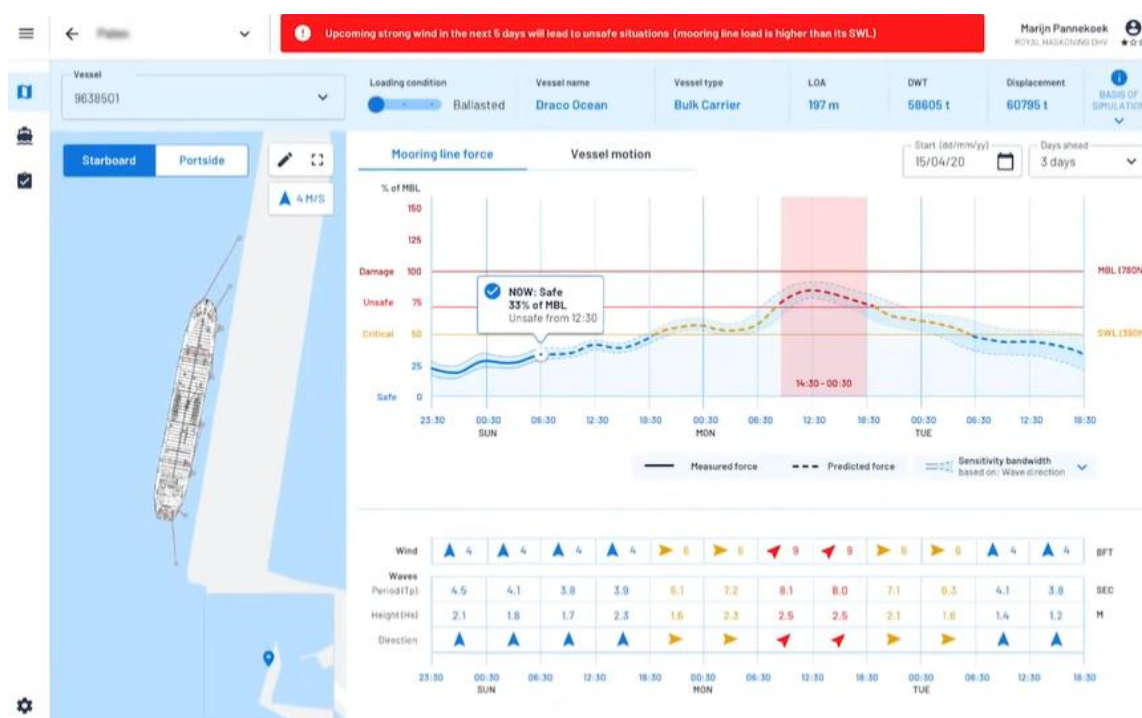
En el **Puerto de Rotterdam**, en los Países Bajos, se ha implementado una solución de RoyalHaskoningDHV que combina la tecnología de gemelos digitales con operaciones de amarre inteligentes.

Smart Mooring es una aplicación de software que activamente advierte al Práctico del Puerto o al operador portuario sobre situaciones inseguras de los barcos atracados. Utiliza un gemelo digital para predecir las fuerzas de amarre y los movimientos del barco con varios días de anticipación. Esta combinación de cálculos hidrodinámicos y pronósticos meteorológicos (viento y olas) permite tomar decisiones operativas más informadas.

El objetivo principal de Smart Mooring es mitigar el riesgo de que los barcos se suelten, especialmente crucial con barcos más grandes, tormentas más fuertes y una infraestructura envejecida. Además, esta solución mejora la seguridad y eficiencia de las operaciones portuarias al anticipar las condiciones de amarre.

El Puerto de Rotterdam está llevando esta innovación aún más lejos al desarrollar un gemelo digital completo del puerto. Este gemelo incluye toda la infraestructura, movimientos de barcos, condiciones climáticas e información hidrográfica. La ambición es habilitar la navegación autónoma dentro del puerto para 2030.

En resumen, la combinación de gemelos digitales y soluciones de amarre inteligentes está transformando la forma en que los puertos gestionan la seguridad y la eficiencia de las operaciones marítimas



Pantallazo de la aplicación de amarre inteligente de RoyalHaskoningDHV. Fuente: RoyalHaskoningDHV

La FCx30, una corbeta propuesta por **Fincantieri** para el programa de corbetas de la Marina Helénica. Fincantieri emplea un enfoque de fabricación modular, que implica el uso de un gemelo digital. Este gemelo digital permite a los ingenieros y diseñadores simular y predecir el comportamiento de la corbeta en diversas condiciones antes de su construcción física. Para lograrlo, se recopilan datos en tiempo real de sensores y tecnologías relacionadas con el big data. Una vez recopilada esta información, se procesa utilizando inteligencia artificial, cloud computing y machine learning.

El gemelo digital de la FCx30 no solo permite probar nuevas ideas y descubrir problemas antes de que ocurran, sino que también interactúa directamente con los humanos. Puede analizar situaciones, proponer soluciones optimizadas y ponerlas en marcha. De esta manera, Fincantieri puede mantener sus instalaciones en correcto funcionamiento y anticiparse a cualquier problema en su cadena de suministro.



Modelo de la fragata FCX30 de Fincantieri. Fuente: Breaking Defense

Otro caso son los astilleros públicos de la **Marina de los Estados Unidos**, encargados de reparar los submarinos y portaaviones, se encuentran en una situación de obsolescencia, teniendo muchos de ellos hasta 100 años de antigüedad. Dentro del programa SIOP (Shipyard Infrastructure Optimization Program) se ha planificado un período de modernización de 20 años con un presupuesto de hasta 21 billones de dólares (billones americanos) para mejorar los astilleros de Kittery, Pearl Harbor, Portsmouth y Puget Sound. Precisamente, dentro de estas tareas de modernización se está considerando el uso de la tecnología y de los gemelos digitales.

Uno de los puntos críticos en estos astilleros es la optimización al máximo de las operaciones de reparación, con gran importancia desde el punto de la defensa nacional. Para ello se plantea la utilización de tecnologías de modelado y simulación que buscan optimizar el flujo dentro del propio astillero pero también considerando la industria auxiliar. Para ello se ha recurrido a Siemens, habiendo terminado ya en 2020 los modelos de Pearl Harbor y Puget Sound, y a comienzos de 2021 los de Portsmouth y Kittery. En el caso de Pearl Harbor por ejemplo las simulaciones arrojaron que algunos edificios del astillero deberían acercarse más a la orilla para minimizar movimientos del personal.

Por otro lado, el Comando de Sistemas Aéreos Navales (NAC) de la Armada de los Estados Unidos también ha adoptado el modelado de gemelos digitales para su Programa de Sistemas de Ataque Electrónico Aéreo (PMA-234).

A finales del año 2022, **Hyundai Heavy Industries** de Corea ha obtenido la Aprobación en Principio (AiP) de DNV para su sistema Hyundai Intelligent Digital Twin Ship (HiDTS) destinado a portadores de GNL de 174,000 CBM. El sistema HiDTS permite realizar pruebas del Sistema de Gestión de Energía (PMS) sin la necesidad de que un inspector esté presente físicamente. Además, el gemelo digital respalda las actividades de prueba y recopila automáticamente datos sobre el comportamiento del PMS, que el inspector puede verificar utilizando una aplicación remota.

El siguiente objetivo de HHI y **DNV** es trabajar juntos bajo un nuevo Memorando de Entendimiento (MOU) para evaluar las posibles aplicaciones de las tecnologías de gemelos digitales y autónomas en grandes embarcaciones comerciales marinas.

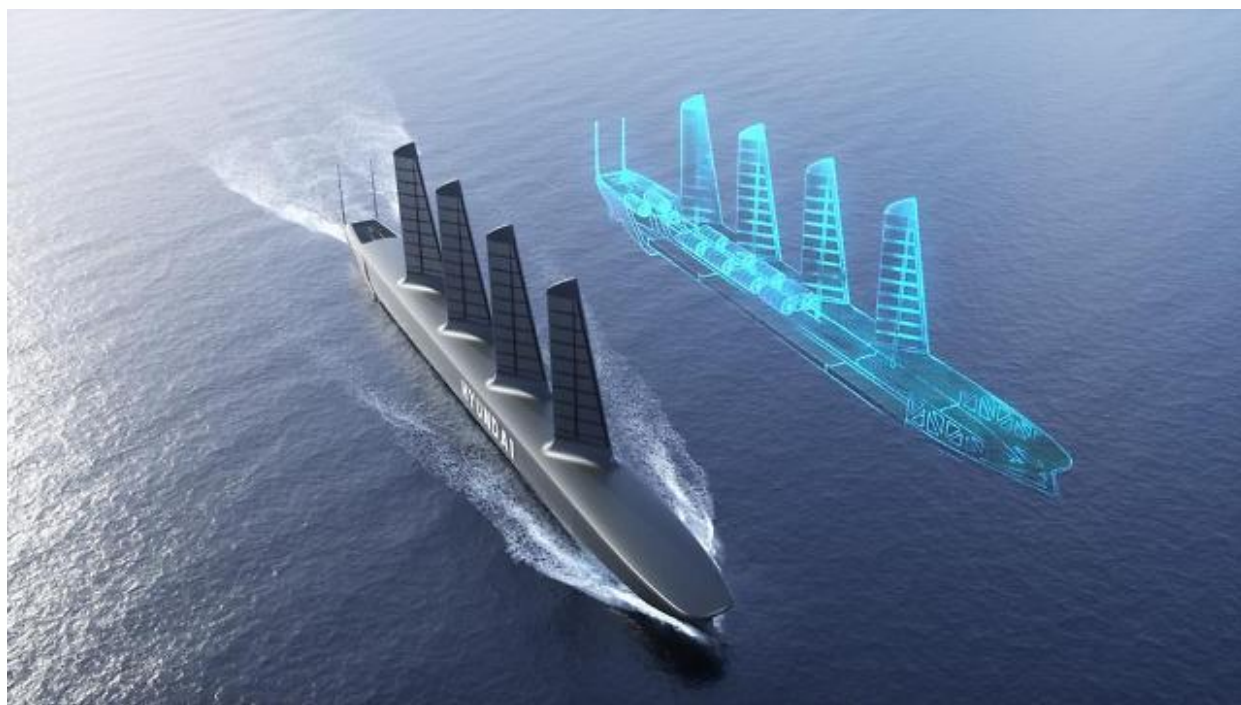


Imagen conceptual de un buque de Hyundai Heavy Industries y su gemelo digital. Fuente: Hyundai

Por otro lado, recientemente **Hyundai** se ha unido también a las empresas finlandesas de software NAPA y CADMATIC para el desarrollo de soluciones PLM (ciclo de vida de producto) que ayuden a implementar la visión de astillero digital de Hyundai. El objetivo final es aumentar la eficiencia de la construcción de buques, minimizando tiempos, costes y aumentando la calidad de los trabajos.

En el ámbito de la energía, los gemelos digitales desempeñan un papel crucial en el sistema de gestión de energía GEMS de **Wärtsilä**. GEMS, que es parte del conjunto de soluciones de almacenamiento y optimización de energía de Wärtsilä, es una plataforma que supervisa, controla y optimiza los recursos energéticos a nivel local y de cartera. Utiliza técnicas de aprendizaje automático y análisis de datos en tiempo real para determinar qué tipo de generación es la más apropiada en un momento dado, ya sea renovable, almacenamiento de energía o generación térmica. Para validar estos algoritmos complejos, se prueban contra un gemelo digital del sistema energético del cliente. El gemelo digital puede simular completamente el comportamiento de las baterías, las energías renovables y los motores en un entorno virtual, asegurando que el hardware y los algoritmos funcionen en perfecta armonía mucho antes de su implementación en los clientes.

Kognitwin es una solución basada en la nube desarrollada por **Kongsberg Digital** que permite a las organizaciones planificar, gestionar, colaborar y ejecutar flujos de trabajo de extremo a extremo a través de una única interfaz. El concepto de gemelo digital es fundamental en Kognitwin, creando una réplica virtual de activos como instalaciones o buques. A través de esta réplica, se pueden supervisar operaciones, calibrar configuraciones y aplicar cambios para mejorar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad.

Algunas empresas que están usando sus soluciones actualmente son **Maersk Training** o el **Soechi Group**.

Kognitwin® - Your Industrial Work Surface

Kognitwin places the user at the center, regardless of discipline or function, enabling an intuitive and efficient data-driven experience that drives value across a broad range of business benefits

One Global Environment...
An integrated space for all of your assets to drive insights, plan activities, monitor performance, optimize your facility, and ensure safe operations

- Maintenance & Turnaround Planning
- Subject Matter Experts
- Remote Operations
- Asset Diversity

...fully Contextualized IT & OT Data...
Interoperable platform that can ingest and contextualized any data

- 3D Models, Laser Scans, 360 images
- Real-time & Historic Data
- Engineering Documents
- Maintenance & Inspection Data
- Permitting
- Process Models

Rich Data Driven Visualizations ...
Move seamlessly between 2D/3D models that bring together data from multiple sources enabling new capabilities

- Live P&ID
- Simultaneous Operations
- Risk Visualizations
- Isolation Planning

...powered by advanced analytics and simulation
20 years of industry leading simulation and modelling experience powering the dynamic digital twin

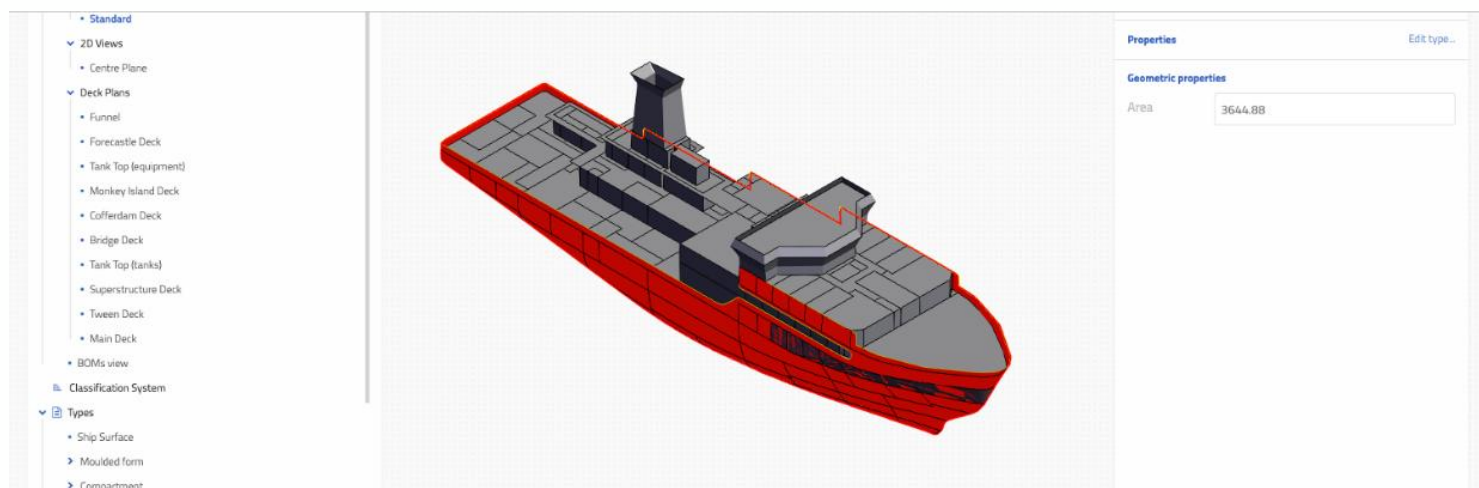
- Proactive Technical Monitoring
- 'What-if' scenario planning
- Predictive Failure Analysis
- Control Loop Monitoring
- Virtual Measurements

Resumen de la solución Kognitwin. Fuente: Kongsberg

Naval Architect es un software de gestión de proyectos de construcción naval. Se trata de la primera plataforma en la nube de la industria diseñada para automatizar los procesos de diseño, ingeniería y producción.

Esta herramienta conecta a las partes interesadas a través de una plataforma basada en navegador, permitiéndoles colaborar en una representación digital completa de un buque. A este enfoque lo denominan Modelado de Información de Barcos (SIM, por sus siglas en inglés).

El SIM es una base de datos que contiene toda la información relevante sobre un barco. Se mantiene actualizada a lo largo de la vida útil de la embarcación y se convierte en la fuente esencial de datos. Al agilizar el proceso de diseño y ofrecer un enfoque digital y colaborativo, tiene como objetivo reducir significativamente los riesgos generales en los proyectos de construcción naval.



Captura de pantalla de la aplicación de Naval Architect. Fuente: Naval Architect

PROYECTOS EUROPEOS RELEVANTES

El proyecto **Digital Twins for Green Shipping (DT4GS)**¹ es una iniciativa en curso ambiciosa que busca transformar el sector del transporte marítimo a través de la digitalización y la sostenibilidad. DT4GS proporcionará un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la descarbonización a nivel de toda la industria, beneficiando a astilleros, fabricantes de equipos, autoridades portuarias y operadores, comisiones fluviales, sociedades de clasificación, empresas energéticas y compañías de infraestructura de transporte. Este proyecto permitirá a los interesados en la navegación aprovechar al máximo las innovaciones en gemelos digitales para fomentar un transporte marítimo más verde y eficiente, tanto en la actualización de barcos existentes como en la construcción de nuevos buques.



Partners del proyecto DT4GS. Fuente: DT4GS

Tiene como objetivo apoyar a las compañías navieras para lograr una reducción de hasta el 20% en las emisiones de CO₂e con un horizonte al 2026, desarrollando y desplegando gemelos digitales configurables en tiempo real para la optimización del rendimiento operativo de barcos y flotas en 4 Living Labs¹ que involucran diferentes tipos de barcos. Además, busca establecer una metodología integral para la navegación de cero emisiones y sistemas de apoyo para pruebas virtuales que aborden construcciones nuevas, remodelaciones y la interfaz puerto-barco.

El avance científico de DT4GS radica en ir más allá del estado actual del arte en la optimización operativa de barcos, diseño de barcos y pruebas, implementación tecnológica y enfoque monosectorial, así como en superar los enfoques fragmentados. Los resultados del proyecto contribuirán a acelerar los objetivos de transformación hacia un transporte marítimo más verde en el corto, medio y largo plazo.

El proyecto **AUTOSHIP** tiene como fin impulsar el avance hacia una nueva era de embarcaciones autónomas dentro de la Unión Europea, apoyándose en la vasta experiencia y conocimientos tecnológicos acumulados por las compañías marítimas líderes del continente.

El propósito de AUTOSHIP es la construcción y gestión de dos tipos distintos de navíos autónomos, poniendo a prueba su funcionalidad en entornos de navegación marítima de corto alcance y en canales fluviales. El foco está puesto en la movilidad de cargas. Estas naves de nueva generación prometen optimizar la relación costo-beneficio para los operadores y dueños de flotas, incrementando su competitividad y ofreciendo una alternativa más eficiente al transporte terrestre.

AUTOSHIP se fundamenta en tecnologías esenciales que posibilitan la autonomía operativa hasta alcanzar el nivel 5. Las innovaciones resultantes pretenden elevar el estándar actual en cuanto a la percepción del entorno, sistemas anti-colisión, navegación remota y autónoma, comunicaciones de datos integradas entre embarcaciones y tierra firme, ciberseguridad, monitoreo de estado y estrategias de mantenimiento proactivo, así como tecnologías para la interacción con proveedores de servicios terrestres y autoridades portuarias.

En AUTOSHIP, un gemelo digital sería el equivalente virtual a un barco autónomo, dotado de múltiples sensores que recogen información crítica para su funcionamiento. Estos datos, una vez recopilados, se procesarían y aplicarían al modelo virtual para realizar simulaciones, evaluar el desempeño y proponer mejoras.



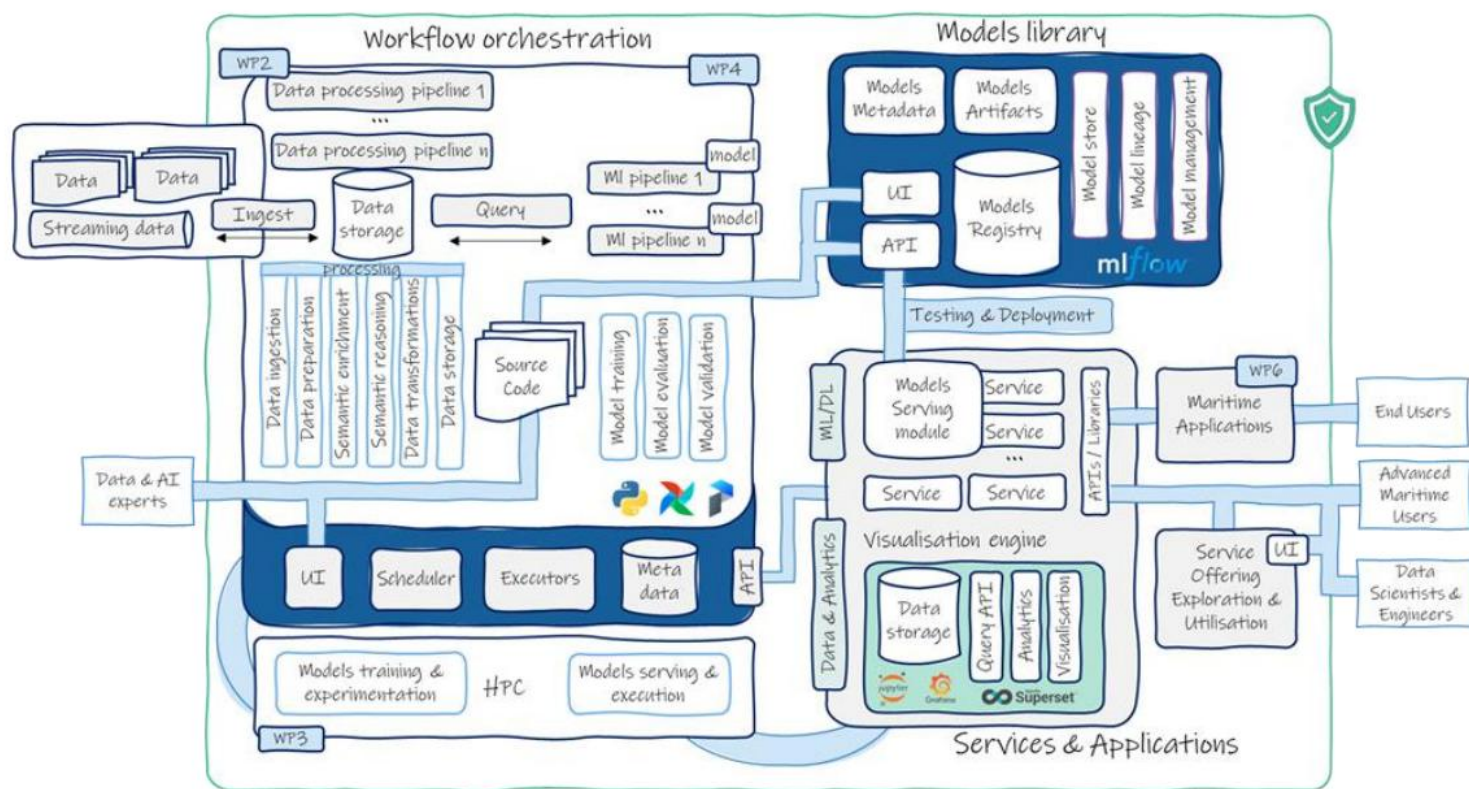
Entorno digital en el proyecto AUTOSHIP. Fuente: AUTOSHIP

El Proyecto **VESSELAI** es una iniciativa que tiene como objetivo desarrollar un marco de trabajo integral y avanzado, potenciado por la Inteligencia Artificial (IA). Este marco se utiliza para la creación de gemelos digitales y modelos de soporte a la toma de decisiones, análisis de datos y visualizaciones para simular y predecir el comportamiento y maniobrabilidad de los buques, incluyendo el factor humano. Además, se aplican para optimizar el diseño energético de los buques y para desarrollar aplicaciones de envío autónomo e inteligencia de flotas.

VESSELAI se centra en la creación de una plataforma abierta y confiable capaz de analizar datos distribuidos. Esto permite un soporte de decisión en tierra y servicios marítimos de próxima generación. Para lograr este objetivo, VESSELAI desarrolla los componentes de software y hardware necesarios para permitir la ingestión eficiente, curación y consulta de conjuntos de datos de gran escala provenientes de diferentes fuentes.

Además, VESSELAI proporciona un conjunto de modelos de Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL) de alta calidad e interpretables. Estos modelos están entrenados utilizando grandes conjuntos de datos para clasificaciones avanzadas, análisis y pronósticos relacionados con entidades marítimas.

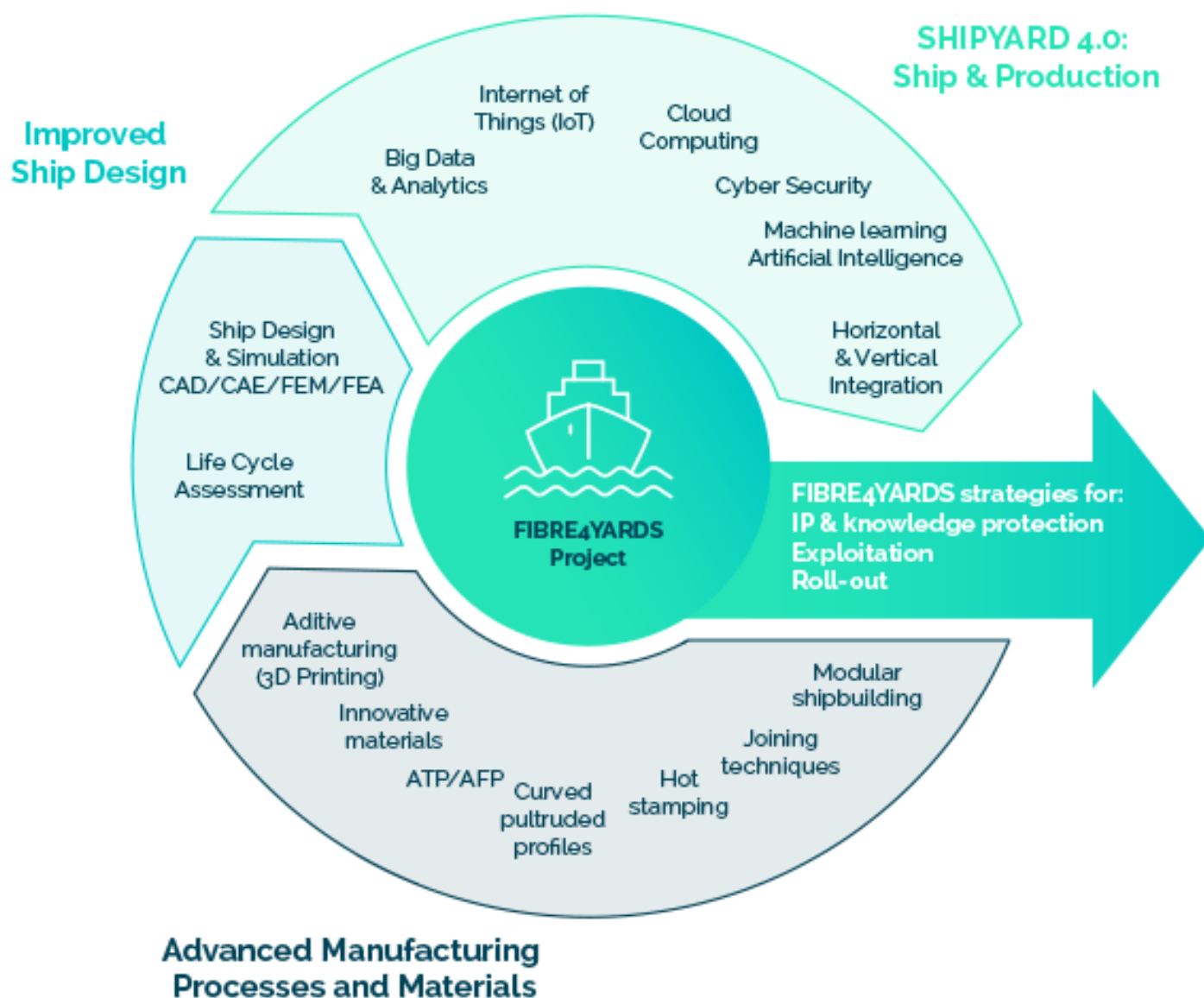
Algunos de los escenarios piloto del proyecto incluyen el modelado de barcos para el monitoreo y gestión del tráfico marítimo, el diseño óptimo de sistemas de energía en buques, y el desarrollo de servicios de envío autónomo e inteligencia de flotas.



Arquitectura general de VESSELAI. Fuente: VESSELAI

El proyecto **FIBRE4YARDS** tiene como objetivo impulsar el liderazgo europeo en los sectores de construcción y mantenimiento de buques de fibra. A través de la implementación del concepto Astillero 4.0, se introducen tecnologías avanzadas e innovadoras relacionadas con la fabricación de buques con materiales compuestos. El proyecto busca redefinir la industria naval mediante tecnologías compuestas de próxima generación.

Además, se ha desarrollado un gemelo digital del astillero que se utiliza para interactuar con aplicaciones específicas y se implementan medidas de ciberseguridad para proteger el sistema.



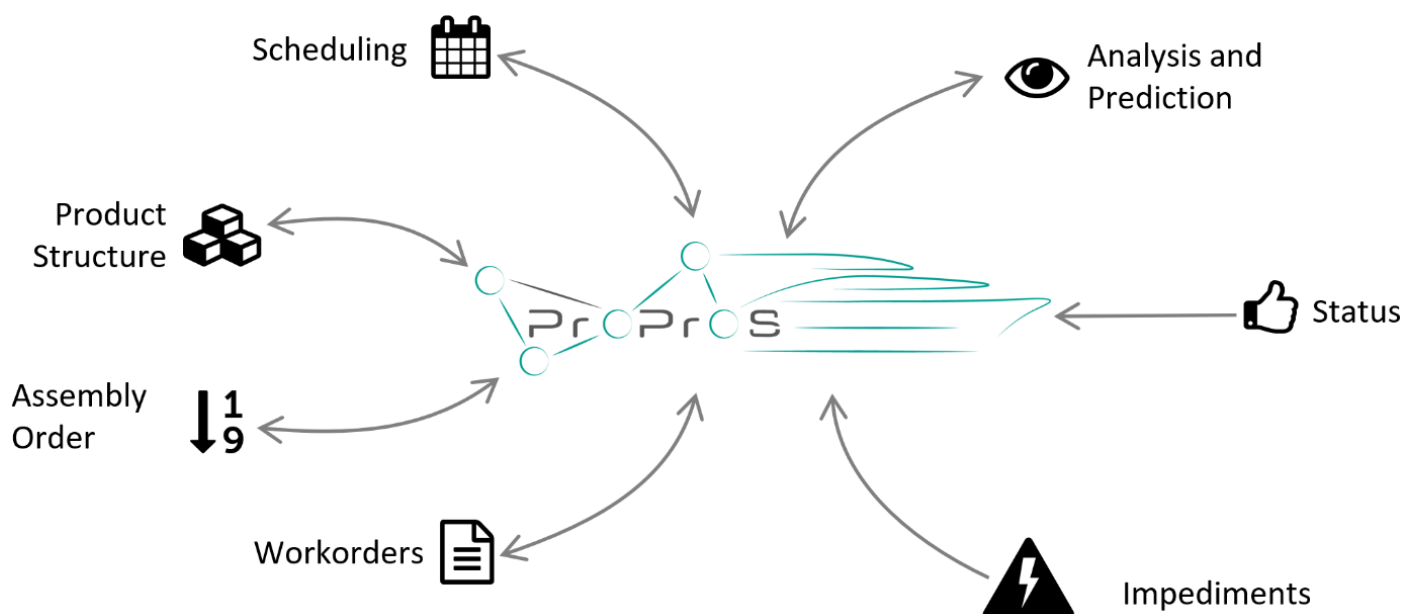
Esquema general del proyecto FIBRE4YARDS. Fuente: FIBRE4YARDS

En el contexto del proyecto **ProProS**, PROSTEP, un experto en PLM, ha colaborado con el grupo de astilleros Lürssen y el Laboratorio de Máquinas-Herramienta (WZL) de la Universidad RWTH de Aquisgrán para desarrollar una nueva metodología de planificación basada en un gemelo digital. El objetivo de este esfuerzo es proporcionar un mejor soporte a los astilleros. El proyecto, que fue financiado en Alemania por el Ministerio Federal de Economía y Acción por el Clima (BMWK), se completó con éxito a finales de mayo de 2023.

En el marco del proyecto, los tres socios desarrollaron una metodología para planificar y controlar la producción de grandes productos individuales. Esta metodología permite un uso eficiente de los recursos y facilita la evaluación temprana del impacto de las interrupciones. Se basa en un gemelo digital que modela el barco y las actividades de producción. En este gemelo digital, el plan de actividades se genera automáticamente a partir de la estructura del barco y se planifica y optimiza teniendo en cuenta los recursos disponibles.

El software de demostración creado durante el proyecto de investigación puede gestionar las grandes estructuras y planes de actividades que se encuentran en la industria de la construcción naval a través de PLM.

La transferencia de datos en tiempo real desde la producción permite a los planificadores detectar interrupciones a tiempo y reajustar el proceso de producción en función de la situación actual. Esto proporciona una herramienta que aumenta la eficiencia del proceso de producción y reduce los tiempos de producción. El software de gemelo digital se utiliza incluso para hacer predicciones sobre futuras actividades. La solución permite un control detallado y muy eficaz de la producción cuando se fabrican productos individuales complejos, sin aumentar el nivel de esfuerzo manual necesario para la planificación de la producción.



Aspectos considerados dentro del proyecto ProPros. Fuente: Prostep

Otros proyectos de implementación del Gemelo Digital en el sector naval:

Proyecto	Objetivo
Woolley & Whitehouse (2022) [3]	Marco de modelado y simulación para evaluar la capacidad de supervivencia de plataformas navales en entornos de riesgo.
Yang et al. (2022) [4]	Modelos 3D de paisajes oceánicos, embarcaciones oceánicas en movimiento, barcos costeros y aviones de reconocimiento marítimo. Además, el modelo incluye un método de representación de niebla para simular el impacto de la niebla en el mundo real. Estos modelos admiten la eliminación de neblina de imágenes marinas basándose en una gran red de codificador-decodificador de núcleo con múltiples pirámides.
Sado et al. (2023) [5]	Gemelo digital electrotérmico para predecir y observar el perfil térmico de cables de alimentación para sistemas de energía a bordo. Su objetivo es mantener la temperatura del cable por debajo de la clasificación térmica a la que se producen efectos nocivos.
Choi et al. (2023) [6]	Digital Twin que utiliza sistemas dinámicos para la operación y mantenimiento de buques de la Armada de la República de Corea del Sur.
Leonard-Albert et al. (2021) [7]	Digital Twin para sistemas de energía naval.
Mouzakitis et al. (2022) [8] [12]	El proyecto VesselAI, financiado por la Unión Europea, planea desarrollar un marco que facilite el modelado y la predicción del comportamiento de los barcos utilizando gemelos digitales. VesselAI puede fusionar y asimilar de manera eficiente grandes cantidades de datos, provenientes tanto de observaciones como de simulaciones, para modelar, estimar y optimizar con precisión el diseño y la operación de barcos y flotas en diversas condiciones dinámicas casi en tiempo real.
Cronin et al. (2023) [9]	Gemelo digital para controlar el flujo de energía y potencia en el contexto naval.
Sado et al. (2023) [10]	Gemelo digital jerárquico de un sistema de energía naval que permite mayor eficiencia computacional y escalabilidad, reconfiguración autónoma de controladores de hardware y mayor flexibilidad y capacidad de respuesta.
Booth et al. (2023) [11]	Gemelo digital para sistemas de energía y potencia naval para realizar una prealineación de sistemas o componentes en función de la posición u orientación física.

Proyecto	Objetivo
Ross et al. (2022) [13]	Digital Twin desarrollado en Devonport para reducción de costos, eficiencia de tiempo y neutralidad de carbono. Se utiliza para simular operaciones para ayudar con la gestión de riesgos, la planificación y optimización del mantenimiento.
Siddaiah et al. (2023) [14]	Digital Twin para sistemas de energía e potencia naval.
Hasan et al. (2023) [15]	Predictive Digital Twin con tres componentes: (i) describe el comportamiento dinámico de los barcos; (ii) actualiza continuamente los modelos utilizando datos de sistemas de sensores; y (iii) predice fallas.
Shang et al. (2024) [16]	Digital Twin para control de soldadura en grandes cruceros.
Antonopoulos et al. (2023) [17]	Gemelo Digital para optimizar el rendimiento de los buques, considerando la descarbonización como objetivo final.
Wei et al. (2023) [18]	Gemelo digital para la gestión de rutas de barcos en tiempo real considerando el cumplimiento normativo con la descarbonización.
Spandonidis et al. (2023) [19]	El proyecto DIGITSENSE tiene como objetivo desarrollar un gemelo digital que modele los sistemas energéticos de los barcos.
Riordan et al. (2023) [20]	El proyecto Robotic Vessels as-a-Service utilizó gemelos digitales hidrográficos para detectar peligros de colisión y encallamiento de barcos.

Los proyectos actuales en el sector naval tienen una variedad de objetivos, que incluyen:

- **Optimización del diseño y rendimiento** implicando la simulación de diferentes configuraciones de casco, sistemas de propulsión y distribución de carga para identificar las opciones más eficientes en términos de consumo de combustible, velocidad y estabilidad.
- **Mantenimiento predictivo** que permite la detección temprana de fallas, reduciendo el riesgo de paradas no programadas y aumentando la disponibilidad operativa.
- **Simulación de escenarios para capacitar** a las tripulaciones en procedimientos de emergencia y simular escenarios operativos complejos. Esto puede ayudar a mejorar la preparación de la tripulación para hacer frente a situaciones de crisis y aumentar la seguridad de las operaciones navales.
- **Reducir costos e impacto ambiental** identificando oportunidades para ahorrar combustible, optimizar rutas marítimas y reducir emisiones contaminantes.
- **Mejorar la eficiencia operativa** involucrando la automatización de procesos, optimizando el uso de recursos e implementando prácticas de gestión más efectivas.

En resumen, los proyectos en el sector naval tienen una variedad de objetivos, todos ellos encaminados a mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las operaciones navales. Estos objetivos reflejan las necesidades y prioridades específicas de las empresas y organizaciones involucradas en la industria naval.



La implementación de gemelos digitales en el sector naval requiere una planificación y ejecución cuidadosas. Con base en los proyectos previamente analizados, algunas buenas prácticas para la implementación exitosa de esta tecnología incluyen:

- **Establecer objetivos claros:** Antes de iniciar cualquier proyecto, es crucial definir claramente los objetivos a alcanzar. Estos objetivos deben estar alineados con necesidades empresariales específicas, como mejorar la eficiencia operativa, optimizar el mantenimiento de los buques o aumentar la seguridad.
- **Utilizar la tecnología adecuada:** existen varias tecnologías y plataformas disponibles para implementar gemelos digitales. Es importante evaluar cuidadosamente las opciones disponibles y seleccionar la que mejor se adapte a las necesidades y requerimientos del proyecto.
- **Integrar datos de manera efectiva:** los gemelos digitales requieren la integración de datos de múltiples fuentes, incluidos datos operativos en tiempo real, datos históricos, datos de sensores y datos de sistemas existentes. Es crucial tener un plan sólido para integrar y procesar estos datos de manera efectiva.
- **Garantizar la calidad de los datos:** la precisión y confiabilidad de los datos son fundamentales. Se deben establecer procesos para garantizar la calidad de los datos, incluida la limpieza, validación y verificación.
- **Desarrollar modelos precisos:** los gemelos digitales se basan en modelos precisos y realistas que representan fielmente el barco, sus componentes y sistemas. Es importante invertir tiempo en desarrollar y validar estos modelos para garantizar su precisión y utilidad.
- **Implementar protocolos de seguridad:** la seguridad de los datos es una consideración crítica al implementar gemelos digitales. Se deben implementar protocolos sólidos de ciberseguridad para proteger los datos y los sistemas contra amenazas externas y garantizar el cumplimiento de las normas de privacidad.
- **Capacitación:** La implementación de gemelos digitales requiere que los involucrados estén capacitados en el uso y manejo de la tecnología. Se deben proporcionar programas de capacitación y desarrollo profesional para garantizar que los trabajadores tengan los conocimientos necesarios para aprovechar al máximo la tecnología.
- **Evaluar y mejorar continuamente:** La implementación de gemelos digitales es un proceso continuo que requiere evaluación y mejora constantes. Es importante monitorear el desempeño de la tecnología y realizar ajustes periódicos para garantizar que el modelo se mantenga actualizado con los objetivos y requisitos comerciales.



En el whitepaper "A Compilation of Testbed Results: Toward Best Practices for Developing and Deploying IIoT Solutions" de la IIC se recogen algunas reflexiones de interés a la hora de acometer el diseño y desarrollo de infraestructuras IIoT, perfectamente aplicables a los gemelos digitales. A continuación, se hace un resumen de estas.

LECCIONES SOBRE CÓMO COMENZAR UN PROYECTO DE GEMELO DIGITAL

- **Posicionar un testbed** o un piloto hacia una mayor eficiencia de los procesos existentes es una idea ampliamente aceptada.
- **Visibilizar las operaciones.** El personal de planta es típicamente el primero en evaluar la validez de una solución, su viabilidad práctica y sus beneficios reales.
- **Dar a los requisitos no funcionales un estatus de primera clase.** Para algunas soluciones, resulta de utilidad aclarar los requisitos no funcionales de interés para la administración de la empresa, como minimizar las interrupciones. Dichos requisitos deberían tener el mismo nivel de visibilidad que los objetivos funcionales cuando se presentan a la dirección.
- **El valor esperado de un piloto puede cambiar y esto está bien.** Los resultados esperados de un banco de pruebas deben enumerarse al principio y luego reevaluarse. Pueden producirse beneficios o valor adicional diferentes a los inicialmente esperados.

LECCIONES SOBRE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL PROYECTO

Al comienzo del proyecto

- **Involucrar a diferentes actores:** Varios pilotos han reportado valor en un equipo diverso de socios.
- **Clarificar los requisitos** y restricciones es un resultado en sí mismo.
- **Elegir un objetivo reducido para el corto plazo** mientras se tienen los objetivos a largo plazo en mente.
- **Planificar para el largo plazo:** Un piloto debe estar preparado para funcionar durante más tiempo del necesario inicialmente. Un aprendizaje clave es el valor de desarrollar una arquitectura que sea sostenible, robusta y flexible donde se pueden hacer adaptaciones y demostrar nuevas tecnologías con la mayor facilidad posible.

La importancia de mantener la perspectiva de la organización en todo momento

- **Operar un piloto en un entorno de producción.** Es recomendable trasladar un piloto a un entorno de producción lo más rápido posible, ya que la interacción frecuente con los usuarios finales en condiciones operativas estimula significativamente la innovación y el feedback.
- **No separar la tecnología de los aspectos organizativos.** Cuando se habla de la aplicación de una solución, el aspecto disruptivo de implementar Gemelos Digitales, sus beneficios potenciales y las opciones para implementar la tecnología deben ser parte de la misma conversación y tenerse en cuenta de manera conjunta.

Planificación y establecimiento de objetivos para los hitos

- **La importancia de hitos bien definidos.** La colaboración entre socios heterogéneos podría generar importantes gastos generales, a menos que se respete un cronograma estricto del proyecto. Para reducir la cantidad de trabajo, se requiere una planificación adecuada en la fase de preparación del piloto.
- **Enfocarse en el objetivo adecuado.** Debido a que se necesita tiempo para iniciar un proyecto de cooperación, es recomendable ser selectivos en escoger el desafío más importante a abordar, con el máximo retorno de la inversión (ROI) y la satisfacción de todos los socios.

Organización del piloto en fases

- **Reservar tiempo para una fase previa de investigación.** Un pre-piloto es útil para brindar mejores oportunidades a un piloto al aclarar qué tecnologías usar, cómo integrarlas y cuáles son las mejores direcciones para maximizar el ROI.
- **Planificar para hacer iteraciones y cambios de rumbo.** En condiciones reales de despliegue, es posible que las soluciones planificadas deban revisarse en cualquier momento. En tales casos, el enfoque de limitaciones, recursos, métricas y metas para definir objetivos intermedios, mencionado previamente, ayuda a todos los interesados a estar en sintonía en la evaluación de las soluciones propuestas.
- **Planificar para la reusabilidad y la escalabilidad.**
- **Los resultados requieren de tiempo y esfuerzo.** Los consejos recurrentes de los equipos que han hecho pilotos de estas tecnologías fueron:
 - a) es importante ser modesto en el cronograma y dejar espacio para investigar opciones y alternativas.
 - b) no subestimar los obstáculos del despliegue.
 - c) los usuarios finales deben entender que su problema es único o al menos su contexto y combinación de requisitos lo son, y a que así será su solución.

DESAFÍOS COMUNES Y CÓMO ABORDARLOS

Alojamiento del piloto en el usuario final

Se consideran enfoques exitosos para reducir el riesgo de interrupción de las actividades de producción:

- Reconocer la reducción de las interrupciones en la producción como una meta, junto con las metas comerciales y de desempeño.
- Incluir la evaluación de la interrupción en el proceso de prueba y la evaluación de la solución.
- Antes de todo lo anterior, elegir como objetivo del piloto un problema específico y conocido experimentado por el personal de planta, para lo cual es posible identificar y articular claramente los posibles beneficios y riesgos o desventajas, con una evaluación temprana de este último.

Tratar con restricciones propias de despliegues legacy

Desafíos relacionados con el reacondicionamiento de equipos. La extracción de datos de uso de equipos existentes suele ser un desafío. La adición de sensores siempre está restringida en condiciones de trabajo. Los equipos típicamente han observado que:

- Con algo de análisis y creatividad, es posible reducir la necesidad de agregar más sensores a maquinaria antigua,
- La contextualización, la digitalización y los modelos adecuados para los procesos físicos reducen la necesidad de aumentar la cantidad de datos del monitoreo de activos y
- La experiencia del personal ayudó a concretar qué monitorizar.

Desafíos relacionados con la recolección de datos. A menudo, la recopilación de datos ha resultado ser un desafío. Resulta necesaria una combinación de técnicas de adquisición de datos, como la reprogramación de PLC, sensores dedicados, monitoreo de señales de red y reconocimiento de imágenes de video.

Problemas de integración e interoperabilidad. Un problema recurrente para la recopilación de datos es la heterogeneidad de los activos físicos a monitorizar. La diversidad de condiciones de despliegue y de equipos significa que los requisitos funcionales no pueden ser abordados por una sola tecnología en muchas ocasiones dada la diversidad de protocolos usados antiguamente en entorno industrial.

Desafíos de seguridad: Será necesario tener en cuenta las implicaciones a nivel de seguridad que conlleva conectar infraestructura antigua que no disponía de conectividad a una red.

Cómo manejar la discordancia entre IT y OT

Una asociación colaborativa, a diferencia del modelo típico de proveedor-cliente, hace más fuerza para tratar las diferencias culturales entre IT y OT. Esta división también se extiende a las opciones tecnológicas.

Como el lado de OT generalmente es dueño de la mayoría de los requisitos, una estrecha colaboración entre el personal de OT y de IT ayuda a aclarar cuáles son las necesidades reales para la integración IT/OT.

La generación de modelos analíticos lleva tiempo

No es fácil defender en muchas ocasiones ante la dirección de la empresa el desarrollo de un modelo analítico de decisión: la calidad de las decisiones se basa en datos que solo se pueden recopilar a lo largo de un tiempo determinado para poder obtener resultados positivos. No cabe esperar que los análisis sean perfectos desde el primer día y no se debe subestimar el tiempo necesario para recopilar suficientes datos de calidad.

De los resultados experimentales al despliegue

Las tecnologías de Gemelo Digital probadas deben escalar cuando el proyecto pasa a una fase operativa.

LECCIONES APRENDIDAS SOBRE CÓMO DESPLEGAR Y USAR TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS

Plataformas de servicio

- Establecer el valor de un Gemelo Digital. En el modelo de comercialización tipo plataforma los costes se pueden distribuir entre varias aplicaciones y los usuarios pueden aprovechar lo que se ha desarrollado antes para otros casos de uso similares. Debido a que se necesita una inversión adicional, los pilotos que siguieron este tipo de modelo típicamente tuvieron que justificar la visión a largo plazo.
- La importancia de los casos de uso en los Gemelos Digitales. Los casos de uso sirven como requisitos de escenario de un extremo a otro para aclarar el conjunto deseado de capacidades subyacentes de una plataforma y para justificar el enfoque de esta en comparación con el desarrollo de soluciones puntuales.

Machine Learning e Inteligencia Artificial

- ¿Para qué usar ML e IA y qué método es el más adecuado?. La clasificación es una de las principales aplicaciones de la IA en los pilotos analizados en el estudio citado al comienzo de la sección. En fabricación, el control de calidad para productos es un ejemplo común
- Mantener al personal de planta experto en el bucle. Especialmente en las fases iniciales de una implementación de ML, el personal experto juega un papel clave en los pilotos.
- Correlar datos diversos con ciclos de vida diversos. Los pilotos con modelos de inteligencia artificial que procesan diversos datos de diversas fuentes siguen siendo una minoría. Es menos complejo aplicar la IA a un conjunto de datos confinado, homogéneo y bastante independiente con un alcance limitado, en una función de clasificador por ejemplo, como la evaluación de la calidad del producto.
- Calidad de los datos y desafíos en su adquisición. La calidad de la entrada de datos, ya sea para el entrenamiento de un motor de clasificación o para alimentar un modelo analítico en tiempo real, es una preocupación recurrente. En varios de los pilotos analizados es un reto adquirir los datos correctos, preprocesar y seleccionar las variables necesarias para garantizar la calidad adecuada.
- Conseguir información accesible. Por lo general, los resultados o salidas de los algoritmos de aprendizaje automático son complejos y requieren mucha experiencia para ser interpretados y simplificados correctamente para el contexto de uso. Aquí es donde la experiencia en el campo operativo es preciosa.

Otros desafíos al desplegar ML. Se han identificado estos otros problemas:

- **Pruebas**: el equipo puede diseñar los mejores algoritmos de aprendizaje automático, el mejor hardware de IoT y la mejor arquitectura, pero se producen muchos cambios cuando se pasa de un entorno de laboratorio a un entorno industrial real. Si no se prueba durante la producción real, habrá muchos falsos positivos con seguridad.
- **Desafío de integración**: en un piloto, el motor de aprendizaje automático debe estar conectado a herramientas de terceros, como herramientas de limpieza y visualización de datos, para poder utilizarlo de manera conveniente. Se necesitaba experiencia en el uso de estos sistemas y la colaboración con expertos en inteligencia artificial versados en estas herramientas.
- **Ciclo de vida del modelo de aprendizaje automático**: el proceso de actualización del modelo de aprendizaje automático y la capacitación continua es un aspecto a tener en cuenta. En general, los equipos observaron que implementar ML y administrarlo es un proceso, no una solución llave en mano.
- **Gobernanza e intercambio de datos**: otro desafío entra en juego cuando se accede a datos de varios sistemas, bajo la gobernanza de varios expertos o departamentos con diferentes permisos de acceso. Es importante disponer de una claridad extrema acerca de las políticas de compartición de datos y con qué perfiles se puede o no hacer y, en general, implementar un procedimiento de gobernanza de los mismos.

LECCIONES SOBRE EL LADO HUMANO

El éxito de una implementación de Gemelo Digital depende en gran medida del factor humano. Es muy importante gestionar correctamente las expectativas. Las personas pueden tener preocupaciones sobre los riesgos y temores sobre la relevancia de su propio trabajo.

Es una sociedad

Típicamente, ningún socio en este tipo de agrupaciones o empresa tiene toda la experiencia necesaria para implementar una solución de Gemelo Digital. Los proyectos de Gemelo Digital generalmente involucran una amplia gama de tecnologías y conocimientos prácticos de diferentes industrias.

Comprometer al cliente temprano y darle un papel activo. Como es de esperar, para aquellos actores que implanten soluciones de gemelo digital, es fundamental implicar todo lo posible a los clientes en los cambios y mantenerlos informados.

Abordar la preocupación por la disrupción. Típicamente, en este tipo de proyectos se produce en muchos casos preocupación por la disrupción tecnológica e incluso en algunos casos por la sustitución de puestos de trabajo. Este es un aspecto relevante a tratar cuanto antes para eliminar posibles inseguridades y contar con el apoyo total del personal.

Involucrar a dirección pronto. Es relevante que se haga notar el apoyo de la dirección a los cambios que se pretenden introducir o los pilotos a realizar ya que da una mayor seguridad a las personas que intervienen en los mismos.

Cultivar la confianza con los usuarios finales

Los siguientes son factores que promueven la confianza y que han sido mencionados por los equipos que han participado en este tipo de pilotos:

- Apoyarse en estándares y mejores prácticas reconocidas como las desarrolladas en la IIC (fuente del estudio), ya que esto ayuda a asegurar esa confianza.
- Trabajar con el personal de planta, no contra ellos. El objetivo debe ser ayudarles a hacer su trabajo mejor y más rápido, no hacerlos irrelevantes.
- Reconocer y respetar la experiencia humana en el campo. Su aportación debe valorarse para ayudar a reducir el conjunto de datos correcto.

Abrazar la formación y el entrenamiento en nuevas tecnologías. En muchas ocasiones para ganar la confianza del personal es fundamental realizar formaciones en nuevas tecnologías y en aquellos que se implantará a posteriori en sus actividades profesionales del día a día.

OTRAS LECCIONES APRENDIDAS

Es un proceso continuo. Por su naturaleza, un piloto de Gemelo Digital nunca está realmente resuelto. Su principal objetivo es obtener suficiente aceptación y validación para obtener fondos para el inicio de una solución más completa en una siguiente fase. Su objetivo no es producir una solución llave en mano.

Reconocer el valor no anticipado. Se pueden alcanzar valores inesperados para los clientes en áreas que no se describieron en la propuesta del mismo.

Desarrollar una solución confiable. La confiabilidad en un Gemelo Digital es el grado en el que el sistema funciona como se espera frente a perturbaciones ambientales, pérdida esperada de calidad y precisión del rendimiento, errores humanos, fallas y ataques del sistema.

Hay cinco propiedades comúnmente identificadas como constitutivas de la confiabilidad de un sistema: seguridad, protección, fiabilidad, resiliencia y privacidad. Aunque estas propiedades no suelen ser los objetivos principales de los pilotos, los expertos saben desde hace mucho tiempo que deben tenerse en cuenta al principio del desarrollo de una solución.

ERRORES COMUNES Y CÓMO EVITARLOS

Los equipos tienen observaciones recurrentes que apuntan a problemas que enfrentaron o tuvieron la suerte de evitar. Se trata principalmente de deficiencias en las relaciones con las partes interesadas y expectativas desalineadas.

Error #1: No pasar tiempo suficiente con el usuario en las primeras fases

Es tentador para los proveedores de soluciones diseñar un prototipo de solución de su lado después de una rápida recopilación de los requisitos del cliente. En resumen, para hacer aquello con lo que se sientan más cómodos: desarrollar y demostrar, en lugar de gastar lo que se percibe como tiempo improductivo en escuchar y comprender al usuario final.

Cómo evitarlo: comprender a los clientes y sus expectativas es esencial para desarrollar una solución que sea relevante a largo plazo. Además del problema principal o la meta del cliente, a menudo existe un contexto tácito de limitaciones, objetivos secundarios y una probable evolución del negocio y sus requisitos.

Error #2: Tratar al usuario final como un cliente y no como un compañero

Es posible que los clientes no tengan una idea clara de dónde o cómo puede ayudar un Gemelo Digital, pero tienen un conocimiento clave de sus operaciones, una comprensión práctica de lo que se puede hacer o debe evitarse y la experiencia para juzgar el valor de una solución. Este conocimiento se ignorará si los usuarios finales se limitan al rol pasivo de un cliente.

Cómo evitarlo: se trata de construir una solución junto con el usuario final (es decir, el operario de plan, el gerente comercial o quien deba beneficiarse de la solución). El cliente debe comprender que es un socio de un equipo y una parte integral de su éxito o fracaso.

Error #3: Comprometerse demasiado temprano a objetivos o beneficios de negocio

Comprometerse en exceso con un conocimiento insuficiente del contexto operativo corre el riesgo de decepcionar a todo el mundo en caso de fallo, y da la impresión de que o la tecnología es inmadura o no se domina en entornos reales.

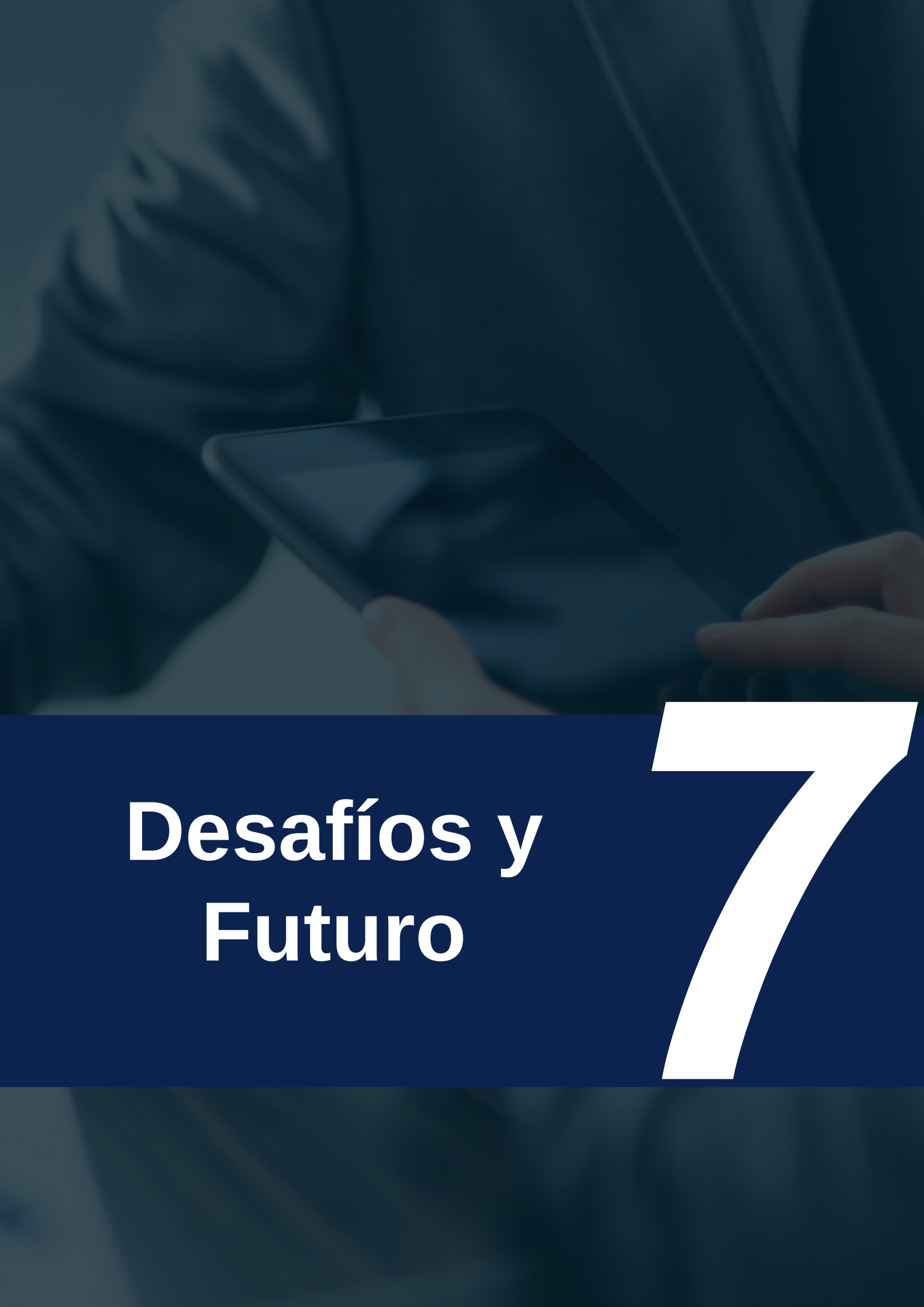
Cómo evitarlo. Agregar una fase previa al piloto para tener tiempo de comprender las condiciones del campo de aplicación, aclarar la mejor manera de proceder y definir expectativas razonables. El pre-piloto definirá una base sólida para un piloto e inmunizará al piloto real de fallas y retrasos preliminares.

Error #4: Mantener los objetivos vagos y los criterios de éxito imprecisos

No definir criterios claros para evaluar el éxito aumenta el riesgo de malinterpretar las metas y mantener las expectativas de las partes interesadas desalineadas.

Cómo evitarlo: Una vez que se ha aclarado el enfoque para desarrollar una solución, todas las partes deben definir y acordar criterios claros para el éxito, fase por fase.

error
404



Desafíos y Futuro

7

En el dinámico panorama del sector naval, el desarrollo y la implantación de gemelos digitales se presenta como una herramienta de gran interés para la optimización de operaciones y la mejora de la eficiencia. Sin embargo, a la hora de plantear un proyecto de desarrollo y posterior implantación de esta tecnología es necesario realizar un análisis de los principales desafíos que se pueden encontrar en este camino de transformación digital.

A continuación, se realiza la identificación de los principales retos a abordar a cuatro niveles:

- Tecnológico
- Operativo y de infraestructura
- Estratégico y de negocios
- Organizacionales
- Regulatorios y normativos

	Tecnológicos	Operativos / infraestructura	Estratégicos/ negocios	Organizacionales
1	Integración de datos: recopilación, agregación y unificación de datos de múltiples fuentes y sistemas para alimentar el gemelo digital de manera precisa y completa.	Disponibilidad y fiabilidad de infraestructura tecnológica: garantizar una infraestructura confiable, segura y disponible en todo momento.	Identificación de casos de uso y objetivos claros: para la implementación del gemelo digital, asegurando que estén alineados con la estrategia y las necesidades del negocio..	Gestión del cambio: liderar y gestionar el proceso de cambio organizacional.
2	Precisión del modelado y simulación: desarrollo de modelos y algoritmos que representen con precisión el comportamiento y las características de los sistemas.	Escalabilidad y flexibilidad: capacidad del GD para adaptarse y escalar según las necesidades cambiantes, así como la integración de nuevas tecnologías y funcionalidades de manera eficiente.	Retorno de la inversión (ROI): demostrar el valor y los beneficios obtenidos a partir de la implementación del gemelo digital en términos de mejora de procesos, eficiencia operativa y ventaja competitiva..	Capacitación del personal: asegurar que el personal tenga las habilidades y competencias necesarias.
3	Ciberseguridad: protección de los sistemas y datos del gemelo digital contra amenazas cibernéticas que podrían comprometer la integridad y la seguridad de la información.	Monitoreo y gestión de rendimiento: capacidad de establecer métricas y KPIs para monitorizar el rendimiento del GD y así identificar áreas de mejora y optimización continua.	Colaboración con socios y proveedores: establecer alianzas estratégicas y colaboraciones efectivas con socios, proveedores y otras partes interesadas para compartir conocimientos, recursos y mejores prácticas.	Asignación de recursos y financiamiento: garantizar que se asignen los recursos adecuados, tanto financieros como humanos, para el desarrollo, implementación y mantenimiento del GD.
4	Interoperabilidad de sistemas: capacidad de los diferentes sistemas y dispositivos involucrados en el gemelo digital para comunicarse, intercambiar datos y trabajar de manera conjunta de manera efectiva.		Desarrollo ágil: dificultad de construir gemelos digitales en un tiempo adecuado para satisfacer las necesidades y demandas cambiantes del sector.	
5	Regulatorios y normativos Desafíos relacionados con el cumplimiento normativo y las regulaciones del sector y los relativos a la protección de datos y la garantía de la privacidad y seguridad de la información.			

Principales desafíos en la implementación del **Gemelo Digital**

Las tendencias futuras en el desarrollo del Gemelo Digital está impulsada por los avances tecnológicos continuos, así como a las nuevas necesidades que surgen en cada industria. Estos avances continuos están modificando el panorama de los gemelos

Digitales, impulsando la innovación continua y transformando las operaciones en el sector naval. Entre las tendencias que se prevén como determinantes en el desarrollo y adopción de Gemelos Digitales, destacan las siguientes:

Mayor sofisticación de los modelos: uso de modelos de simulación más avanzados gracias a la incorporación de los avances en tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial y el aprendizaje automático, lo que significará una mejora en la precisión y la capacidad predictiva del Gemelo Digital

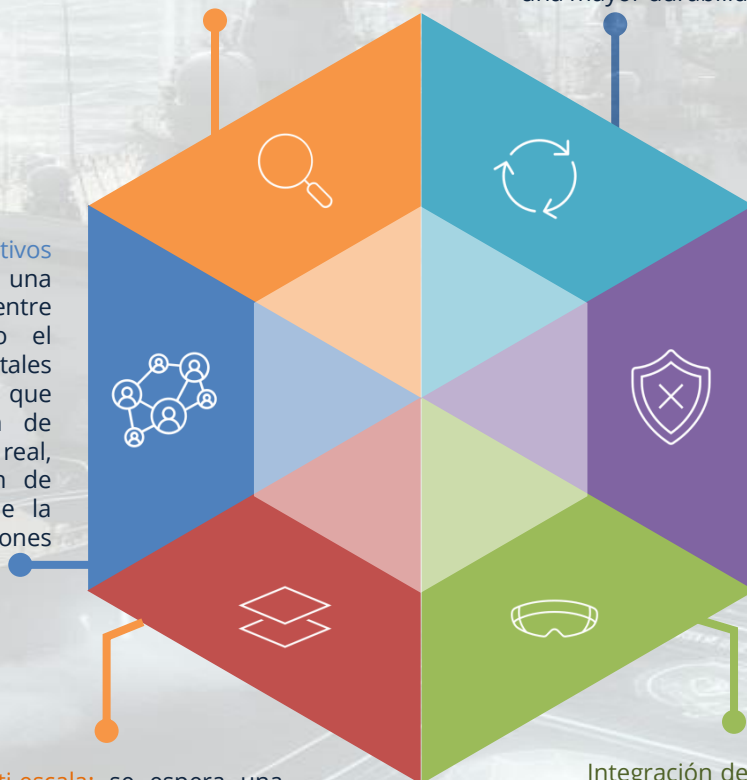
Gemelos digitales para la gestión del ciclo de vida: la tendencia es que se utilicen Gemelos Digitales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde el diseño y la construcción hasta la operación y el mantenimiento. Esto permitirá una gestión más eficiente de los activos, una optimización continua del rendimiento y una mayor durabilidad de los productos..

Gemelos digitales colaborativos y en red: la tendencia a una mayor colaboración entre agentes está impulsando el desarrollo de Gemelos Digitales colaborativos y en red que permiten la compartición de información en tiempo real, facilitando la coordinación de operaciones, la gestión de la cadena y la toma de decisiones conjuntas.

Enfoque en la seguridad cibernética: se espera un mayor énfasis en el desarrollo de soluciones de seguridad robustas y en la implementación de prácticas de gestión de riesgos cibernéticos para salvaguardar la integridad y confidencialidad de los datos.

Gemelos multi-escala: se espera una evolución hacia gemelos multi-escala que puedan representar sistemas a diferentes niveles de detalle, desde componentes individuales hasta sistemas completos, lo que permitirá un análisis granular y por tanto una mayor precisión en la toma de decisión en todos los niveles operativos.

Integración de tecnologías inmersivas y expansión del metaverso: la integración en alza de RA y RV en los Gemelos Digitales permite una experiencia más inmersiva y realista, facilitando la visualización y simulación de entornos complejos. Así mismo la expansión del metaverso y su integración en el GD se traducirá en la creación de entornos virtuales colaborativos donde los profesionales pueden trabajar juntos.





Conclusiones

8

El análisis del estado del arte realizado arroja a la luz cómo las tecnologías estudiadas, que tienen influencia en el gemelo digital: Big Data, Inteligencia Artificial, Machine Learning, Internet de las Cosas, Cloud, Realidad Aumentada, así como la Ciberseguridad revelan un panorama rico en posibilidades para la industria y en concreto para el sector naval.

Estas tecnologías no solo ofrecen herramientas para la **optimización de procesos, la toma de decisiones y la mejora de la eficiencia**, sino que también representan un cambio de paradigma en la forma en que se concibe y opera en estos sectores. Su importancia radica en su capacidad **para potenciar la innovación, aumentar la capacidad de los entornos industriales y la proyección tecnológica de las empresas**, al mismo tiempo que se **protege de forma cada vez más efectiva estos entornos progresivamente más digitalizados**.

Por ello se concluye que la adopción de todas estas tecnologías es de obligado cumplimiento para aquellos que buscan mantenerse a la vanguardia en la industria y el sector naval en el futuro cercano.

No es de extrañar que con esta corriente cada vez más tecnológica comiencen a surgir cada vez proyectos más innovadores. En este caso, para la realización de este estudio se han analizado diferentes proyectos en los cuales ya se emplea la tecnología de **Gemelo Digital como catalizador de la innovación y el progreso digital e industrial**. Resaltar que la mayor parte de los proyectos estudiados son muy próximos en el tiempo a la realización de este informe (2021-2023), lo que subraya el gran nivel de innovación y vanguardia tecnológica que implica el Gemelo Digital en la industria. En base al análisis realizado podemos extraer las siguientes conclusiones en cuanto a aplicabilidad actual del Gemelo Digital en el sector:



Objetivos

La mejora de la eficiencia de los buques y el incremento de la seguridad son los principales objetivos a lograr a la hora de plantear un proyecto de Gemelo Digital.



Evolución de tecnologías de aplicación

La evolución de las tecnologías habilitadoras, encabezada por los avances de la Inteligencia Artificial, plantean un escenario idóneo para el desarrollo e implantación de proyectos de Gemelo Digital en el sector.



Identificación de caso de uso

La identificación de un caso de uso claro y alineado con la estrategia y las necesidades del negocio es clave a la hora de plantear un proyecto de Gemelo Digital y poder abordar los desafíos que conlleva.

La concentración de estos esfuerzos recientes en el sector implica una **creciente conciencia sobre el potencial transformador de esta tecnología**, su capacidad para abordar desafíos complejos y su prometedor futuro en el sector naval.

Tras analizar detenidamente el papel del gemelo digital en el sector naval, podemos extraer varias conclusiones significativas:

Tecnología disruptiva emergente



El gemelo digital se presenta como una tecnología disruptiva que está ganando impulso en el sector naval. Su capacidad para simular, modelar y optimizar procesos en tiempo real ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria.

Potencial transformador

Aunque actualmente el número de proyectos implementando gemelos digitales en el sector naval es reducido, su potencial transformador es innegable. Desde la simulación de diseños hasta la optimización de la cadena de suministro, esta tecnología promete revolucionar la forma en que se diseñan, construyen y operan los buques.



Relevancia futura



A medida que la tecnología continúa evolucionando, el gemelo digital está destinado a convertirse en una pieza fundamental para la industria naval e industrial. Su capacidad para mejorar la toma de decisiones, reducir los costos y minimizar los riesgos será crucial para mantener la competitividad en un mercado global en constante cambio.

Desafíos y oportunidades

Si bien el gemelo digital ofrece numerosas oportunidades, también presenta desafíos, como la integración de datos, la ciberseguridad y la resistencia cultural al cambio. Sin embargo, abordar estos desafíos de manera proactiva puede permitir a las empresas navegar con éxito hacia un futuro impulsado por la innovación tecnológica.



Colaboración y desarrollo continuo



Para aprovechar al máximo el potencial del gemelo digital, es crucial fomentar la colaboración entre industrias, academia y gobierno. Además, el desarrollo continuo de estándares, herramientas y mejores prácticas ayudará a garantizar que esta tecnología se implemente de manera efectiva y ética.

A modo de conclusión, subrayamos que **el gemelo digital representa una oportunidad emocionante y prometedora para el sector naval, con el potencial de transformar radicalmente la forma en que se diseñan, construyen y operan los buques en el futuro.** Su adopción gradual, pero creciente, marca el inicio de una nueva era de innovación y eficiencia en la industria naval e industrial.

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

*Twin*NavAux



AXENCIA
GALEGA DE
INNOVACIÓN



Asociación Cluster del Naval
Gallego (**ACLUNAGA**)



Universidade da
Coruña (**UDC**)



Industrias Ferri SA



Ibercisa Deck Machinery SA



Electrorayma SL



Centro de Apoio Tecnológico à
Indústria Metalomecânica (**CATIM**)



Universidade Portucalense
Infante Dom Henrique

Proyecto cofinanciado por la Unión Europea a través del Programa Interreg VI-A
España-Portugal (POCTEP) 2021-2027