

GEMELO DIGITAL

DANIEL GARCÍA MARTÍNEZ

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

La transformación digital ha irrumpido en los procesos de fabricación para ofrecer nuevos modelos de negocio que se adapten a las tendencias y requisitos del mercado, dentro de un entorno global y muy competitivo. Para poder abordarlo con garantías, es necesario tener una estrategia y las soluciones digitales que permitan abordar ese cambio con solvencia. El gemelo digital, es una de las tecnologías disruptivas más importantes dentro de la Industria 4.0, ya que fusiona el mundo real y virtual, permitiendo la simulación y análisis de los procesos industriales y los elementos que los componen.

PALABRAS CLAVE •

Industria 4.0, Gemelo Digital, Digital Twin, Digitalización

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

García Martínez, Daniel. 2022. "Gemelo Digital" en: UEM STEAM Essentials

INTRODUCCIÓN A LA INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial surgió cómo una estrategia del Gobierno de Alemania para tratar de dar respuesta a las exigencias del futuro y garantizar la competitividad de la industria y de los procesos de fabricación, en un entorno tan globalizado, cuya presentación oficial se realizado en abril del año 2013 a través del documento "Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0", publicado por ACATECH (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften).

Previamente y tal y cómo confirma la Federación de las industrias de Alemania (BDI), este término se acuñó por primera vez en el año 2011, durante la feria tecnológica más importante del mundo (Hannover Messe) y puede definirse cómo "El proceso innovador de transformación digital en la producción industrial, dónde los cambios introducidos en la forma de diseñar, producir, comercializar y generar valor

a partir de productos y/o servicios, permiten obtener cadenas de valor flexibles, dinámicas e interconectadas, dentro de un entorno multidisciplinar, permitiendo establecer distintos niveles de cooperación dentro de las denominadas fábricas inteligentes conectadas".

Tal y cómo se recoge en el "STEAM Essentials Industria 4.0" (Sols, 2020), la Cuarta Revolución Industrial destaca por un mayor grado de automatización, digitalización, conectividad y globalización dentro del sector industrial. Las tecnologías digitales permiten la fusión entre el mundo físico y el digital, donde todos los dispositivos están interconectados y, la información, debe estar disponible en tiempo real para todos los *stakeholders* a lo largo de la cadena de valor.

Los tres ejes en los que se basa son:

Requisitos del mercado

Cadena de valor completa

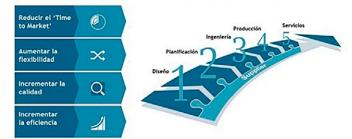


Figura 01 » La cadena de valor en la industria 4.0 (2022) Fuente: propia.

- **» 1) Productos.** Las nuevas tecnologías y el desarrollo de las funcionalidades, permite poder digitalizar los productos en los entornos industriales.
- » 2) Procesos. La mejora y optimización constante de los procesos es esencial para obtener cadenas de valor flexibles obteniendo un proceso productivo más eficientes, adaptable y con una calidad punta, a través de nuevas tecnologías disruptivas.
- **» 3) Modelos de negocio.** Desarrollo de nuevos modelos de negocio que permitan dar respuesta a las nuevas tendencias del mercado.

La mejora continua, la reducción de costes y el aumento de la calidad del producto y/o servicio, son exigencias diarias en un sector industrial que debe asumir una transformación digital de sus procesos productivos.

Es por ello, que se debe prestar especial atención a la cadena de valor de la organización, en donde todas las etapas y departamentos estén interconectados, la información esté disponible en todas las etapas en tiempo real, permitiendo un proceso productivo para hacer frente a los requisitos de mercado.

Debido al impacto que genera la propuesta de transformar digitalmente la industria y tal y cómo se muestra en la (figura 02), han sido numerosas las iniciativas impulsadas por los gobiernos de los diferentes países para incentivar esta medida en su entorno y promocionar la digitalización de la industria cómo es el caso de la iniciativa impulsada por el gobierno alemán, "Plattform Industrie 4.0".

TABLES FROM THE TOTAL CONSORTIUM INDUSTRIE 4.0 INDUSTRIA CONECTADA

EL FUTURO DE LA FABRICACIÓN INTELIGENTE

Para poder abordar con garantías la transformación digital del sector industrial, es necesario contar con las herramientas y soluciones digitales que permitan cadenas de valor flexibles y procesos de fabricación inteligentes.

Las tecnologías habilitadoras o disruptivas de la Industria 4.0, son las soluciones y herramientas innovadoras que permiten implementar la transformación digital dentro de una organización y adaptar esta a los nuevos requerimientos.

En la (figura 03), se pueden observar las tecnologías más destacadas dentro de la Industria 4.0, algunas de las cuales ya han sido analizadas en detalle en artículos *STEAM Essentials* previos, cómo es el caso de la *Ciberseguridad* (Santos, 2021) o dentro de la gestión de datos, el *Blockchain* (Pozo, 2021).

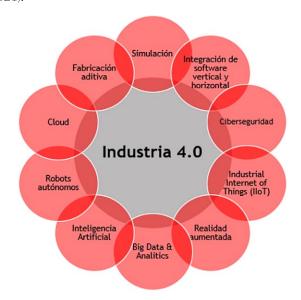


Figura 03 » Tecnologías clave Industria 4.0. Fuente: Propia

El GTAI (Germany Trade & Invest) en el año 2013, ya predijo cómo sería la fabricación del futuro gracias, entre otros, a estas nuevas tecnologías emergentes que permiten poder llevar a cabo, procesos de fabricación inteligentes,

procesos de producción flexibles y la interconexión de todas las etapas de la cadena de valor.

Entre estas tecnologías, destaca la fusión entre el mundo real y virtual, que se obtiene gracias al "Gemelo Digital".

Figura 02 » Iniciativas mundiales de "La fábrica del futuro". Boston Consulting Group



Figura 04 » El futuro de la fabricación. (2013). Fuente: Germany Trade & Invest (GTAI)

¿QUÉ ES UN GEMELO DIGITAL?

El Gemelo Digital en la Industria 4.0, se puede definir cómo la tecnología que permite realizar un modelo virtual del producto o servicio, proceso productivo o de la operación de un proceso de fabricación, obteniendo la información en tiempo real de la planta o proceso, fusionando el mundo real y virtual. En la (figura 05), se puede observar la integración de las diferentes fases y soluciones en un ecosistema de gemelo digital industrial.



Figura 05 » Gemelo digital en la industria. Fuente: Siemens

Además, se debe considerar, que la puesta en marcha virtual de un gemelo digital, permite evaluar y monitorizar el comportamiento de los elementos físicos, sus estados, características, etc., lo que hace que está tecnología se convierta en una herramienta fundamental dentro de la fabricación inteligente, permitiendo mejorar el rendimiento y eficacia del proceso productivo, minimizando los riesgos y el número de prototipos, reduciendo los tiempos muertos y de inactividad, entre otros muchos beneficios.

Atendiendo a la información aportada por las empresas referentes en la tecnología "Gemelo Digital", se puede comprobar en la (figura 06) que no existe hoy en día una definición unificada, ya que los distintos fabricantes referentes en esta tecnología, le dan un enfoque diferente.

El gemelo digital es clave dentro de la Industria 4.0, ya que permite a las empresas evaluar un ciclo de desarrollo completamente digitalizado desde la fase de diseño hasta la implementación, pasando por el desmantelamiento.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL "GEMELO DIGITAL"

El concepto de "Gemelo Digital" o "Digital Twin" dentro del sector industrial, se considera que tiene sus orígenes en el año 2003, cuando el ingeniero informático Michael Grieves hizo referencia a este, durante una conferencia basada en la gestión del ciclo de vida de un producto en la Universidad de Michigan. Aunque se debe tener en cuenta que previamente, en la publicación "Mirror Worlds" de David Gelernter de 1991, se hizo referencia por primera vez

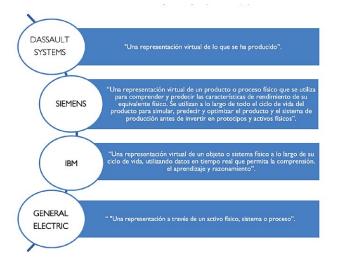
al concepto de las tecnologías de los gemelos digitales

De todos modos, está tecnología tiene su origen en diversos trabajos realizados por la NASA en los años 60 durante sus misiones espaciales, dónde se realizaban simulaciones de sobre el comportamiento de las naves y equipamientos, que garantizasen la viabilidad de las misiones y permitiesen mantener la integridad física de

los astronautas, como un "modelo vivo" de la misión Apolo.

Tal y cómo recogió el doctor **B. Danette Allen**, en su trabajo "*Digital Twins and Living Models at NASA*" el 3 de noviembre de 2021 durante el "*Digital Twin Summit*" (Allen, 2021),

Figura 06 » Definiciones de un gemelo digital. Fuente: Propia



para dar solución a la explosión que se produjo en el tanque de oxígeno del Apolo 13 y que dañó el motor principal de la nave, la NASA introdujo diferentes simuladores que le permitiesen evaluar los fallos y el poder emplear un modelo físico del vehículo espacial dónde poder incluir componentes digitales. Esta solución permitió el análisis y captura continua de los datos, permitiendo realizar un modelo de los eventos que provocaron el accidente para poder efectuar un análisis forense y una profunda exploración de los pasos a seguir.

Además, la representación digital de los objetos físicos, se ha llevado a cabo, por los diferentes departamentos de ingeniería de procesos en el sector industrial durante los últimos 40 años, gracias al diseño de modelos asistidos por ordenador en 3D (CAD), simulaciones de los procesos y las validaciones correspondientes.

En otros ámbitos, cómo el desarrollo y fabricación de turbinas y motores, el gemelo digital es una tecnología ampliamente utilizada desde los años 80 y 90, por compañías de la talla de *Rolls Royce*, *General Electric* o *Siemens*.

Gracias al avance de las nuevas tecnologías, (Internet of Things (IoT), Big Data & Analytics, Cloud Computing, entre otras) que permiten la gestión de la información de forma inteligente, se está facilitando la expansión del "Gemelo Digital" en multitud de organizaciones y diferentes sectores.

En el año 2018, la consultora Gartner, situó entre las diez tendencias tecnológicas del año al "Gemelo Digital" (Gartner,

2018). En la actualidad y conforme a la información que se recoge en el artículo, "Prepare for the impact of Digital Twins" (Gartner, 2017), realizado por la misma consultora, se estima que a partir del 2021 al menos el 50% de las compañías industriales utilizan o utilizarán esta tecnología, permitiendo aumentar la eficacia y el rendimiento en sus instalaciones en al menos un 10%.

¿LA SIMULACIÓN Y EL GEMELO DIGITAL SON LO MISMO?

En líneas generales, se suele caer en el error de que una simulación y un gemelo no difieren en nada y se debe afirmar que es una creencia totalmente errónea, a pesar de que ambos utilizan modelos digitales para reproducir procesos de un sistema.

Se debe partir de que la simulación es un proceso estático mientras que el gemelo digital es dinámico. Una de las grandes diferencias entre ambos conceptos, es la forma de gestión de la información. Las simulaciones, por norma general se centra en un proceso en particular y no se requiere que trabaje tiempo real, mientras que el gemelo digital suele trabajar con múltiples procesos de forma simultánea, comprendiendo que está sucediendo dentro del proceso y gestionando un flujo de información bidireccional con los procesos reales en tiempo real.

CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL

Una parte fundamental de esta tecnología, ha sido el incorporar los análisis de datos, el aprendizaje automático o la simulación de variables multifísicas, que evitan los prototipos físicos y reducen los tiempos de desarrollo.

Es importante destacar de antemano, que los gemelos digitales deben tratarse de forma específica desde una perspectiva de los casos de uso, determinando los datos, los modelos digitales necesarios, las necesidades y requerimientos del sistema, el campo de aplicación, los cálculos a realizar y los servicios que deben ofrecerse.



Figura 07 » Clasificación de los niveles del gemelo digital. Fuente: Propia

A lo largo de la vida útil de un producto, servicio o su producción, los gemelos digitales harán uso de la sensórica para captar la información necesaria de los elementos físicos, permitiendo determinar el rendimiento en tiempo real, analizar las condiciones de funcionamiento y actualizar de forma constante cualquier cambio que se produce en su equivalente físico a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

En la (figura 07), se pueden observar los diferentes niveles de un gemelo digital en la industria y sus características más destacables, permitiendo a las empresas optimizar sus productos, su producción y el rendimiento por un coste mínimo.

Para comprender mejor los diferentes niveles del gemelo digital, en la (tabla 01), se recogen las características de estos, a nivel de máquina (incluyendo los dispositivos de máquina y/o producción), línea de producción y planta.

MÁQUINA	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	PLANTA
Definición del modelo en diferentes ámbitos (cinemática, sensor-actuador, lógica, señales, etc.)	Interacción entre dispositivos y componentes.	Optimización de la productividad y estrategias de control.
Dimensionamiento correcto de los componentes.	Testeo y validación de la secuencia de la ejecución.	Simulación del flujo de material e identificación de los cuellos de botella.
Optimización de diseño previa al prototipado.	Supervisión de la seguridad.	Tamaño de lotes optimizados y reducción de stock.
Validación del programa de control y secuencia.	Verificación de colisiones y escenarios "What-If".	Testeo de nuevos escenarios.
Reducción de errores.	Layout del sistema.	Aumentar la flexibilidad ante la demanda variable.
Gestión de datos de diferente procedencia (diseño, mecánico, eléctrico, automatización, etc.)	Cumplimiento con los objetivos de volumen de producción y calidad.	Reducción del sobredimensionamiento, decisiones arbitrarias o por intuición, etc.

Tabla 01 » Características del gemelo digital en los diferentes niveles.

Otra forma de clasificar el gemelo digital, es tal y cómo se recoge en el estudio, "How the world's 250 Digital Twins compare? Same, same but different" de loT Analytics, dónde se realiza a través de tres dimensiones dominantes, cómo se observa en la (figura 08), dando lugar a 252 combinaciones potenciales diferentes (resultado de la multiplicación entre las tres dimensiones dominantes, 6x6x7).

Otra dimensión de gran relevancia que permitiría completar aún más esta clasificación, es el tipo de dato necesario, entre los que se encuentran:

- » Los datos en tiempo real. Es la información que se entrega inmediatamente después de su recogida.
- » Los datos de ensayo. Son un conjunto de datos de en-

trada dados para poder testear un programa de software de gemelo digital.

» Los históricos de datos. Son datos que se recogen durante diferentes eventos pasados y en circunstancias pertenecientes a un sistema particular, que suelen ser almacenados en bases de datos de series temporales.

Los gemelos digitales han sido concebidos para dar respuesta a una amplia gama de aplicaciones, desde un prototipo hasta la evaluación de un producto, el funcionamiento de un proceso en diferentes condiciones y escenarios o la gestión de ciclos de vida, dando una vista integrada física y digital de los activos, equipos, instalaciones y procesos. Por lo tanto, es necesaria la recopilación de datos y la creación de los modelos que permitan una comunicación bidireccional entre lo real y lo virtual en tiempo real para conseguir una implementación exitosa, prestando especial atención a:

- » Los datos con el fin de crear un modelo virtual que permita la representación de los estados, comportamientos o el procedimiento real.
- » Los modelos que permita analizar los comportamientos, predecir el funcionamiento, y los posibles fallos en diferentes situaciones, en las diferentes etapas.
- » El enlace entre el mundo real y virtual.



Una de las preguntas que muchas veces se hacen los usuarios y/o potenciales usuarios de esta tecnología es, ¿Qué dificultad tiene crear y trabajar con un gemelo digital?

La respuesta en este caso es clara, la complejidad de los gemelos digitales depende directamente de las características requeridas para la aplicación

Figura 08 » Dimensiones dominantes del gemelo digital. Fuente: IoT Analytics

Figura 09 » Tipos de gemelo digital. Fuente: Siemens

en cuestión, teniendo en cuenta el número y las fuentes de datos, el ámbito de aplicación, las tecnologías que intervienen, el grado de digitalización/automatización del proceso, la madurez digital de la empresa, los resultados y la precisión esperada, o el tipo de gemelo digital requerido, cómo se puede observar en la (figura 09).



EL HILO DIGITAL EN EL GEMELO DIGITAL

Un hilo digital se puede definir cómo una fuente de la veracidad de los datos que genera coherencia, colaboración y alineación de todas las funciones, gracias a la sincronización de datos en tiempo real de la información de entrada y salida, conectando digitalmente todas las tareas y procesos de los ciclos de vida completos del producto y la producción. Los hilos digitales proporcionan procesos digitalizados y revolucionan la forma de desarrollar, producir y optimizar los productos.

Dentro de un gemelo digital, el hilo digital es una parte esencial puesto que permite tomar los datos del elemento físico real y generar una representación digital de estos ayudando a conectar el ciclo de vida completo de productos o procesos a lo largo de todas sus fases.

Estas fases incluyen el diseño del producto, construcción, monitorización del rendimiento, análisis de la calidad, tes-

Tabla 02 » Etapas esenciales del hilo digital

teo de los requerimientos y validación de su funcionamiento y gestión del producto final.

En la (tabla 02), se detallan algunas de las etapas esenciales del hilo digital y sus características en un gemelo digital:

¿CUÁLES SON LAS GRANDES VENTAJAS DEL **GEMELO DIGITAL? ¿Y LOS INCONVENIENTES?**

La implementación de un gemelo digital de los productos, procesos y la operación de los sistemas, permite a las empresas predecir virtualmente que va a suceder en el entorno físico, detectando problemas o anomalías de comportamiento con antelación, permitiendo dar una respuesta rápida y segura.

Pero como en todos los procesos, existen ciertos inconvenientes que puede presentar esta tecnología cuando se integra en un sistema. En la (tabla 03) y (tabla 04), se detallan las principales ventajas e inconvenientes del uso e implementación de la citada tecnología:

ЕТАРА	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	
Etapa 1: El proceso de desarrollo de los productos	Es el primer punto del hilo digital, puesto que dependiendo de la complejidad de los productos implicará la participación de varias disciplinas. En este punto se debe evaluar la integración completa de todos los aspectos del producto desde la definición de la arquitectura, diseño y optimización de sistemas.	
Etapa 2: La simulación	Es un aspecto clave, con el enfoque puesto en lograr una ingeniería predictiva. Para poder obtenerlo, se realizarán diferentes simulaciones cómo son, la simulación multifísica, la simulación de las características críticas, la evolución de los modelos garantizando su sincronización con el producto y el sistema y, la aplicación analítica y exploración de diseño.	
Etapa 3: Gestión de los procesos productivos.	Desde las primeras fases de desarrollo y diseño, se debe aportar una única fuente de información a los equipos de campo que permitan que la producción se puede ejecutar habilitando iniciativas de "Design to Manufacturing" y dentro de la cultura Lean.	
Etapa 4: Puesta en marcha virtual.	Tras la implementación y definición de los procesos productivos y la simulación en los diferentes niveles, es esencial no romper la continuidad digital. La capacidad de hacer una puesta en marcha en un entorno de ingeniería con los elementos de control y supervisión que estarán en la planta de forma física, permite optimizar los comportamientos, minimizar los errores, acortar los tiempos de inactividad, reducir los tiempos de puesta en marcha, etc.	
Etapa 5: Integración dentro del sistema empresarial.	La gestión de la información y la interconectividad entre los distintos elementos que conforman el sistema, es un elemento clave. El "Closed Loop Manufacturing" también conocido como el "Triángulo de Oro" interconecta el PLM (Product Lifecycle Management), ERP (Entreprise Resource Planing) y MOM/MES (Manufacturing Operations Management / Manufacturing Execution System) para establecer un hilo digital continuo desde el mundo virtual al real.	

VENTAJAS		
Mejora en las etapas de diseño y desarrollo de los productos y/o servicios, permitiendo optimizarlos desde las etapas de investigación.	Aceptación de pruebas FAT en entornos virtuales, permitiendo analizar por parte del cliente final si el sistema cumple con sus requisitos de funcionalidad.	
Supervisión de los sistemas de producción en funcionamiento que permiten maximizar la eficiencia y una optimización continua del proceso productivo.	Aumento del rendimiento en los procesos productivos.	
Testeo virtual, permitiendo analizar si los productos cumplen las especificaciones requeridas, optimizando la solución propuesta antes de su integración física.	Sostenibilidad, permitiendo analizar en las últimas etapas del fin del ciclo de vida del producto, las necesidades de reciclaje u otros tratamientos necesarios.	
Identificación de posibles fallos e ineficiencias y detectar zonas de mejora.	Minimizar costes en el proceso de producción de nuevos productos.	
Predecir cuándo será necesario realizar tareas de mantenimiento preventivo.	Reducción del tiempo de comercialización del producto.	
Reducción del tiempo en los ciclos de desarrollo, tiempos muertos y de inactividad.	Formación de los operadores en entornos virtuales gracias a los modelos generados.	
Análisis de diferentes parámetros dentro de la cadena de suministro.	Oportunidades de ofrecer servicios digitales.	
En sistemas de producción complejos, permite realizar testeos sin necesidad de un paro de producción.	Información en tiempo real disponible a lo largo de toda la cadena de valor para los stakeholders.	
Mejora de la calidad en todas las etapas del proceso, permitiendo detectar cualquier defecto de calidad incluso antes de la producción. Concepto de calidad total.	Disminución de la presión en las personas responsables de puesta en marcha ya que se realizarán previamente los testeos y validaciones en un entorno virtual.	

Tabla 03 » Ventajas del gemelo digital

INCONVENIENTES			
Alta complejidad al sensorizar una planta debido a que suelen convivir tecnologías y técnicas obsoletas con algunas otras innovadoras.	Falta de homogeneización en los entornos industriales.		
Algunos sectores o empresas NO pueden en ciertas ocasiones acometer una inversión económica tan importante.	Debido a la complejidad de las soluciones, se requiere personal altamente cualificado y muy especializado.		
Analizar y delimitar la responsabilidad financiera y penal de los agentes implicados en el caso de que existan errores en el Gemelo Digital.	Al ser una tecnología en desarrollo, hay una carencia de estandarización.		
La gestión de la gran cantidad de datos en tiempo real que se necesitan para un gemelo digital.	Cómo se realiza la transferencia del Know-How de las empresas implicadas.		

Tabla 04 » Inconvenientes del gemelo digital

Se puede observar que las ventajas que aporta esta tecnología son más numerosas que los inconvenientes, unido a la creciente demanda de la digitalización y la irrupción de nuevas tecnologías cómo el *Industrial Internet of Things* (IIoT), hacen del gemelo digital una herramienta clave para las industrias digitales, ya que permite impulsar el desarrollo y la normalización de las arquitecturas, creando nuevos casos de uso y modelos de negocio.

Cómo se puede observar en el ejemplo de la Figura 09, la integración de diferentes tecnologías disruptivas, permiten trabajar con la información en tiempo real haciendo un despliegue masivo de la información, mejora la estandarización de las aplicaciones industriales y gracias al tra-

tamiento de los datos a pie de línea, potencia la flexibilidad en el desarrollo de los procesos industriales.

¿EN QUÉ APLICACIONES SE PUEDE INCLUIR UN GEMELO DIGITAL?

El mercado de soluciones comerciales de gemelo digital es muy variado, puesto que hay diferentes empresas con un enfoque muy diferente sobre el concepto. La mayoría de las empresas que comercializan este tipo de tecnología, lo vinculan con soluciones de diseño o cómo parte de plataformas IoT.



Los fabricantes de soluciones suelen ofrecer diferentes opciones, en ciertas ocasiones se enfocan únicamente en las primeras fases del ciclo de vida (desarrollo y diseño), en otros casos se centran en fases más avanzas cómo la operación, mantenimiento, optimización, otros fabricantes en soluciones basadas en plataformas IoT para un concepto más analítico y en último lugar los que cubren el ciclo en su totalidad. Algunas de las empresas referentes en este tipo de tecnología son: General Electric (EEUU), IBM (EEUU), PTC (EEUU), Microsoft (EEUU), Siemens (Alemania), ANSYS (EEUU), SAP (Alemania), Oracle (EEUU), Robert Bosch (Alemania) y SWIM.AI (EEUU), entre otras.

A pesar de que los gemelos digitales por sus características y ventajas tienen una gran cabida en multitud de **aplicaciones** e industrias, su uso no está garantizado o justificado para los productos o procesos, por diferentes factores cómo la baja complejidad, la inversión necesaria, personal necesario, etc.

Existen tres usos principales para los gemelos digitales que permiten a las empresas tomar las decisiones antes de implementar físicamente productos, servicios o procesos que están desarrollando.

- **» DTP** (Digital Twin Prototype): Creación de productos digitales antes de fabricar los físicos.
- » DIT (Digital Twin Instance): Para hacer pruebas de uso del producto en un entorno digital en lugar de real.
- » DTA (Digital Twin Aggregate): El objetivo es recopilar información del uso anterior y hacer predicciones.

Hay ciertas aplicaciones en los que el uso de los modelos digitales es esencial, cómo, por ejemplo, en el caso de edificios o estructuras de obra civil de estructura muy compleja o sujetas a ciertas normas muy exigentes, maquinarias con una mecánica muy compleja, equipos de potencia o procesos de fabricación.

Figura 10 » Gemelo digital con IIoT de una línea de producción. (Fuente: Siemens)

En cuanto a sectores, su ámbito de aplicación es muy diverso, pero en algunos tiene mayor cabida, cómo se muestra en los ejemplos siguientes:

1. » Industria manufacturera. Desde el punto de vista de las industrias a las que se dirigen, la industria de fabricación es la más importante puesto que al estar destinado el gemelo digital a representar el ciclo de vida completo de un producto, es una herramienta

idónea para poder optimizar la cadena de valor creando procesos de fabricación más flexibles que permitan fabricar productos individualizados, mejorar la cadena de suministro, prevenir fallos de las máquinas, aumento de la seguridad, optimización energética del proceso, mejora del rendimiento, entre otras muchas cosas.

- 2. » Industria automotriz. En la fabricación de vehículos, el gemelo digital es una solución idónea tanto para piezas individuales, como para vehículos completos y líneas de producción y fábricas.
- 3. » Industria aeroespacial. Permite en cada etapa del ciclo de vida acceder a la información relevante de los diseños de ingeniería y el proceso de fabricación, con lo que se puede mejorar el proceso, aumentar la seguridad, mejorar el rendimiento y minimizar los errores.

Otros sectores dónde el gemelo digital tiene una presencia importante en los procesos de fabricación son: la industria de alimentación y bebidas, transporte, logística, química, componentes electrónicos y semiconductores o sector naval. Al ser una solución tan versátil, el gemelo digital tiene cabida fuera de los procesos de fabricación, en:

- **4.** » **Sector energético.** Para equipos de generación energética dónde destaca para el ámbito del mantenimiento o, por ejemplo, para establecer el modelo eléctrico que permita realizar un análisis y optimización del diseño de red.
- **5.** » **Sector sanitario.** Tanto para el nivel de administración y gestión de un hospital, cómo para la salud de los pacientes y los flujos de trabajo de los sanitarios. El uso de sensores inteligentes permite monitorear a los pacientes y alertar en caso de necesidad al personal indicado para una acción inmediata.
- **6.** » Infraestructuras inteligentes y Smart Cities. Las aplicaciones más habituales en este sector van desde el control de tráfico, hasta la planificación urbana donde se observan datos espaciales 3D y 4D en tiempo real.

IMPACTO EN CIFRAS DEL GEMELO DIGITAL

La tecnología basada en gemelos digitales a pesar de que ser una opción muy utilizada en diferentes industrias, está teniendo un crecimiento muy significativo y tendrá un futuro muy alentador. Según diversos análisis de mercado realizados por "*Markets and Markets*", en 2020 se estimaba el valor de mercado de los gemelos digitales en torno a los 3.100 millones de USD, duplicando esa cifra en el año 2022 (unos 6.900 millones de USD).

El informe de junio de 2022 "Digital Twin Industry by Enterprise, Application (Predictive Maintenance, Business optimization), Industry (Aerospace, Automotive & Transportation, Healthcare, Infrastructure, Energy & Utilities) and Geography – Global Forecast to 2027", se espera que crezca el mercado de gemelos digitales hasta los 73.500 millones de USD en 2027, y con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 60,6 % de 2022 a 2027 (Markets & Markets, 2022).

Ciertas consultoras de renombre, cómo Deloitte o KPGM, destacaban en sus informes del año 2017 "Industry 4.0 and the Digital Twin" (Deloitte, 2017) y "Beyond the hype of i4.0" (KMPG, 2017), respectivamente, la importancia de la integración de los gemelos digitales dentro de los procesos y la transformación que van a generar en estos. Otro dato relevante es el que recogía un artículo publicado por la consultora IDC, dónde se indicaba que ya en el año 2018, se obtuvieron mejoras por encima del 30% en los procesos más críticos que contaban con esta tecnología.

CONCLUSIÓN

Los fabricas tradicionales tiene el reto de digitalizar sus procesos de producción para adaptarse a los nuevos requisitos del mercado y a las exigencias de los clientes. El gemelo digital cada vez es una herramienta más accesible para cualquier empresa, pero es necesario evaluar previamente si tiene sentido implementar este tipo de solución evaluando la complejidad del proceso, la inversión necesaria y los recursos disponibles.

Entre los retos del futuro a los que se enfrentan las organizaciones más tradicionales, se encuentra la digitalización de los procesos, mejorar la capacitación y cualificación técnica e implementar un sistema de ciberseguridad industrial para proteger todos los niveles de la planta.

A modo de reflexión final, ¿Se puede afirmar que el gemelo digital es actualmente una solución madura? Aparentemente se podía afirmar que sí, por el recorrido que la simulación ha tenido en los últimos años. Pero analizando mejor

la pregunta, el gemelo digital es una solución que trabaja con un flujo de información constante que realimenta la solución con datos en tiempo real que están estrechamente ligados a otras tecnologías innovadoras de gestión de la información, cómo el IoT, Big Data & Analytics, Inteligencia Artificial, Machine Learning, Cloud Computing, entre otras.

Teniendo en cuenta el cambio que se está llevando a cabo en los modelos operativos existentes en la actualidad y el desarrollo constante de nuevas capacidades y habilidades de las tecnologías más innovadoras, se prevé que todavía hay mucho margen de mejora tanto en el gemelo digital cómo en el resto de las soluciones disruptivas de la Industria 4.0.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.W.S. (2020.), ¿Qué es la tecnología de los gemelos digitales? https://aws.amazon.com/es/what-is/digital-twin/

Aguilar, L. J. (2017). Industria 4.0: La cuarta revolución industrial. Madrid: Marcombo. Allen, B. D. (2021). Digital Twins and Living Models at Nasa en Digital Twin Summit.

Virginia, United, States: Lagley Research Center Hampton.

Analytics, I. (2020). How the world's 250 Digital Twins compare? Same, same but

different . https://iot-analytics.com/how-the-worlds-250-digital-twins-compare/
Automation, Rockwell. (2019). Hilo digital: Liberando su potencia digital. https://www.rockwellautomation.com/es-es/capabilities/digital-thread.html

Consortium, Industrial Internet (2020.). Digital twins for Industrial Applications. https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf.

Consortium, Industrial Internet & Industrie 4.0, Plattform. (2020). The digital twin and Asset Administration Shell Concepts and Application in the Industrial Internet and Industrie 4.0. https://www.plattform-i40.de/Pl40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Digital-Twin-and-Asset-Administration-Shell-Concepts.pdf

Council, M. L. (2019. **Digital Twins.** https://www.manufacturingleadershipcouncil.com/digital-twins-11039/

Deloitte. (2017). Industry 4.0 and the digital twin. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf

Forschungsunion, A. (2013). **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.** Final report of the Industrie 4.0 Working Group – Acatech – National Academy of Science and Engineering. https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/

Gartner. (2018). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018.

Gartner. (2017). Prepare for the Impact of Digital Twins. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins

Gelernter, D. (1991). Mirror worlds or the day software puts the universe in a shoebox: how it will happen and what it will mean. New York: Oxford University Press.

I.B.M. (2017). ¿Qué es un gemelo digital? https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-a-digital-twin

Industrie 4.0, Plattform. (2022). **Details of the Asset Administration Shell** – Part 1: The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0. https://www.plattform-i40.de/Pl40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V3.html

K.P.M.G.~(2017).~Beyond the hype of i4.0.~https://home.kpmg/xxx/en/home/insights/2017/05/beyond-the-hype-separating-ambition-from-reality.html

Malakuti, S. (2019). The digital twin: An Enabler for New Business Models. Automation 2019 conference.

Markets, & Markets. (2022). **Digital Twin Market by Enterprise, Application** (Predictive Maintenance, Business optimization), Industry (Aerospace, Automotive & Transportation, Healthcare, Infrastructure, Energy & Utilities) and Geography – Global Forecast to 2027. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html

MGrieves, & JVickers. (2016). **Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems** (Vol. p). (F.–J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves, Eds.) Switzerland: Springer.

Microsoft. (2021). Convergencia de lo físico y lo digital con los gemelos digitales, la realidad mixta y las aplicaciones de metaverso. https://azure.microsoft.com/es-es/blog/converging-the-physical-and-digital-with-digital-twins-mixed-reality-and-metaverse-apps/

Montero, E. R. (2020). **Industria 4.0: Conceptos, tecnologías habilitadoras y retos.**Madrid: Ediciones Pirámide.

Plattform Industrie 4.0 (2019). The Asset Administration Shell: Implementing digital twins for use in Industrie 4.0. https://www.plattform-i40.de/

P.T.C. (2020). Hilo digital: impulso de la conexión de toda la empresa. https://www.ptc.com/es/industry-insights/digital-thread

Pozo, S. (2021). **Blockchain**. UEM STEAM essentials. http://hdl.handle.net/11268/11251 Santos, L. (2021). **Ciberseguridad e infraestructuras críticas**. UEM STEAM essentials. http://hdl.handle.net/11268/11252

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/.

 $Siemens, A. G. (2017). \label{limits} \textbf{Gemelo Digital}. \ https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/digital-twin/24465$

Siemens, A. G. (2021). The Role of the Digital Thread and Digital Twin in Digital Transformation. https://blogs.sw.siemens.com/xcelerator/2021/04/29/the-role-of-the-digital-thread-and-digital-twin-in-digital-transformation/

Sols, A. (2020). Industria 4.0: La cuarta revolución industrial. UEM STEAM essentials. http://hdl.handle.net/11268/11100

Germany Trade & Invest. (2019). Smart Factory – The factory of Automated Manufacturing. https://www.gtai.de/en/invest/industries/healthcare/smart-factory-104628

BIOGRAFÍA

Daniel García Martínez, es Ingeniero Industrial, posee un Máster en Ingeniería de Organización, Dirección de Proyectos y Empresa, un Máster MBA y está finalizando el Doctorado en Ingeniería de Instrumentación Industrial Aplicada al Transporte Inteligente y Energía Sostenible. Desde el año 2016, compagina su cargo cómo Global Manager en Siemens con el de docente del departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Europea de Madrid. Actualmente es el Director del Máster Universitario en Industria 4.0: Transformación y estrategia Digital en modalidad presencial y online e imparte varias asignaturas en grado y máster en el ámbito de la automática, ingeniería de control, logística, automatización industrial y digitalización.

