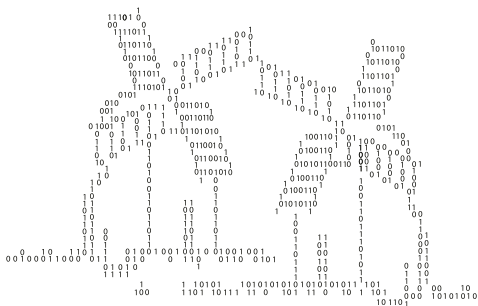


# MIRE VUESTRA MERCED NO SON GIGANTES, SINO GEMELOS DIGITALES



Elena María Navarro Martínez



Ediciones de la Universidad  
de Castilla-La Mancha







**MIRE VUESTRA MERCED  
NO SON GIGANTES,  
SINO GEMELOS DIGITALES**



Universidad de  
Castilla-La Mancha

Acceda al texto completo online en el siguiente enlace:



**Elena María Navarro Martínez**

**MIRE VUESTRA MERCED  
NO SON GIGANTES,  
SINO GEMELOS DIGITALES**

Lección inaugural del solemne acto de apertura del Curso Académico  
2025/2026 de la Universidad de Castilla-La Mancha

Parainfo Universitario

Albacete, septiembre de 2025



Ediciones de la Universidad  
de Castilla-La Mancha

Cuenca, 2025

UBH (Thema)

© de los textos: su autora, 2025.

© de las figuras: sus autores, 2025.

© de la edición: Universidad de Castilla-La Mancha, 2025.

Edita: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Colección Ediciones Institucionales, núm. 152.

Diseño de la sobrecubierta: CIDI - UCLM.

I.S.B.N.: 978-84-9044-542-6 (Ed. impresa)

I.S.B.N.: 978-84-9044-544-0 (Ed. electrónica)

I.S.S.N.: 3045-4581 (Ediciones Institucionales)

D.O.I.: [https://doi.org/10.18239/ins\\_2025\\_152.00](https://doi.org/10.18239/ins_2025_152.00)

D.L.: CU 161-2025

Imprime: Gráficas Izquierdo.

Impreso en España (U.E.) - *Printed in Spain (U.E.)*.

Este libro está publicado en Acceso Abierto (ruta diamante) en el Repositorio Institucional RUIdeRA, handle: <https://hdl.handle.net/10578/44157>



Esta obra se encuentra bajo una licencia internacional Creative Commons CC BY 4.0. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra no incluida en la licencia Creative Commons CC BY 4.0 solo puede ser realizada con la autorización expresa de los titulares, salvo excepción prevista por la ley. Puede Ud. acceder al texto completo de la licencia en este enlace: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

## Índice

¿Qué es un Gemelo Digital?	11
Gemelos Digitales e Internet de las Cosas	14
Gemelos Digitales e Inteligencia Artificial	17
Gemelos Digitales y Realidad Virtual	22
Gemelos Digitales Federados	25
Conclusiones	27



# Mire vuestra merced no son gigantes, sino Gemelos Digitales

**Elena María Navarro Martínez**

*Catedrática de Ingeniería Informática*

*Escuela Superior de Ingeniería Informática de Albacete*

Castilla-La Mancha, tierra de Quijotes y Sanchos, tierra de soñadores y sabios. Soñadores que imaginaron una Universidad que traería cambios positivos a esta región, y sabios que supieron convertir ese sueño en una realidad. Esos sueños y esa sabiduría permitieron que este año 2025 se celebre el cuarenta aniversario del comienzo de los estudios de la Universidad de Castilla-La Mancha<sup>1</sup>, un 4 de octubre de 1995 siendo rector don Isidro Ramos.

La Universidad de Castilla-La Mancha no solo ha permitido que nuestros jóvenes no hayan tenido que abandonar la región para poder formarse, sino que también ha facilitado el desarrollo económico, cultural y social de la misma. Según un estudio de la CRUE<sup>2</sup>, la sociedad obtiene 4,3 euros de retorno por cada euro que la administración pública invierte en su financiación.

---

<sup>1</sup> <https://www.uclm.es/-/media/Files/GabineteComunicacion/85004001LANZA.ashx>

<sup>2</sup> <https://www.crue.org/2019/12/informe-sue-ivie-2019/>

Además, la Universidad de Castilla-La Mancha ha traído a nuestra región un aspecto diferenciador que se convierte en motor del cambio: la *investigación*. Encontramos en nuestra universidad investigadores e investigadoras en múltiples disciplinas como agronomía, biotecnología o economía. Hoy quiero adentrarme en una de ellas: la ingeniería informática.

La informática ha facilitado que nuestra sociedad esté en continua evolución empujada por el desarrollo tecnológico que promueve. Casi 100 años han transcurrido desde la construcción del considerado primer ordenador de la historia, el Z1<sup>3</sup>. La década de 1930, un contexto histórico en el que la sociedad vivía en la incertidumbre y la inestabilidad económica y política fue, sin embargo, el caldo de cultivo ideal para el desarrollo tecnológico. Dicho contexto favoreció que el ingeniero alemán Konrad Zuse construyera una máquina capaz de automatizar el proceso de cálculo con un objetivo: optimizar y automatizar procesos. Visto con las gafas del siglo XXI, la capacidad del Z1 era muy limitada, cualquier *smartphone* actual tiene una potencia de cálculo millones de veces superior. Solo hay que pensar que el Z1 podría tardar años en procesar un minuto de vídeo en calidad estándar. Y eso sin contar que no podría ni siquiera mostrar el contenido. Sin embargo, esa máquina permitió hacer realidad aquel sueño que tuvieron Charles Babbage

---

<sup>3</sup> [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/z1-primer-ordenador-historia\\_22129](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/z1-primer-ordenador-historia_22129)

y Ada Lovelace un siglo antes cuando imaginaron la máquina analítica.

Hoy, casi cien años después, nos encontramos de nuevo en un contexto de incertidumbre, en el que nuestra sociedad demanda soluciones que le permitan mejorar la calidad de vida de las personas, soluciones que les permitan afrontar los desafíos tanto actuales como futuros. Existen, de nuevo, las condiciones para potenciar dicha innovación. Hoy, más que nunca, es necesaria una tecnología que permita recopilar datos del mundo real, analizarlos y transformarlos en información significativa que luego se aplique en el mundo real. Es necesaria una tecnología que permita simular decisiones en políticas públicas, en ética o en sostenibilidad, una tecnología que permita experimentar el mañana desde hoy. Hoy les invito a ser Quijotes y Sanchos. Hoy les invito a descubrir una tecnología que no solo representa el futuro, sino que lo anticipa: los *Gemelos Digitales*.

### **¿Qué es un Gemelo Digital?**

Los Gemelos Digitales (*Digital Twins*) están captando enormemente la atención de las comunidades de investigación y de la industria debido a su gran potencial para el desarrollo de sistemas tan desafiantes como las ciudades inteligentes, la telesalud, los vehículos aeroespaciales o la gestión energética.

La importancia de los Gemelos Digitales en nuestro presente y futuro inmediato ha sido reconocida por diferentes estudios. Según Fortune Business Insights<sup>4</sup>, el mercado global de Gemelos Digitales se estimó en 21.140 millones de dólares en 2025, y se espera que alcance los 149.800 millones de dólares en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 47,9%. Además, el desarrollo de Gemelos Digitales está impactando prácticamente en todos los sectores económicos, ayudando al diseño de productos, a la optimización de procesos, etcétera. Su importancia también ha sido reconocida a nivel nacional, dado que se ha incluido el modelado y diseño de Gemelos Digitales entre las 23 líneas estratégicas de I+D+i identificadas como prioritarias por la Agencia Estatal de Investigación.



*Figura 1. Gemelo Físico y Gemelo Digital.*

<sup>4</sup> [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=261349036&gclid=CjwKCAjwvuLDBhAOEiwAPtF0Vnq12tpzI4w11vJMNtHLovP3CrE8xcKuHpqPNJGqT6frjpTyAZAZ4RoC22sQAvD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html?gad_source=1&gad_campaignid=261349036&gclid=CjwKCAjwvuLDBhAOEiwAPtF0Vnq12tpzI4w11vJMNtHLovP3CrE8xcKuHpqPNJGqT6frjpTyAZAZ4RoC22sQAvD_BwE)

Pero ¿qué es un Gemelo Digital? El concepto Gemelo Digital fue acuñado originalmente por Grieves y Vicker en 2003<sup>5</sup>, quienes identificaron tres elementos principales (Figura 1): i) un *Gemelo Físico* que puede ser un objeto físico, un proceso o un sistema, ii) un Gemelo Digital que es una representación digital de ese Gemelo Físico y iii) un enlace entre ambos para el flujo bidireccional de datos con el fin de lograr la convergencia del mundo real y el virtual, esto es, la sincronización constante de Gemelo Físico y Gemelo Digital.

Podríamos pensar en ese Gemelo Digital como un espejo digital capaz de reflejar la imagen de ese Gemelo Físico. El modelo definido por Grieves y Vicker identificaba simplemente estos elementos sin describir cómo deberían interactuar ni qué tecnologías se deberían utilizar para lograrlo. De hecho, su potencial no empezó a conseguirse hasta la década de 2010, gracias al auge de diferentes tecnologías que comentaremos a continuación.

---

<sup>5</sup> Grieves, M., Vickers, J.: Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. pp. 85–113 Springer International Publishing, Cham (2017).

## Gemelos Digitales e Internet de las Cosas

Una de dichas tecnologías, fue el desarrollo de la *Internet de las Cosas*, normalmente denominada Internet of Things o *IoT*<sup>6</sup>. Gracias a esta tecnología, los objetos físicos pueden no solo sentir información acerca de ellos mismos o de su entorno, sino que pueden comunicar dicha información para resolver problemas de la vida real. Es gracias a esta tecnología como conseguimos sincronizar los mundos físico y cibernético, de modo que cuando ocurre algo en el mundo físico, el Gemelo Digital no solo se actualiza para reflejar la nueva información, sino que también le permite actuar sobre dicho entorno real para poder modificarlo según las necesidades. Así, los elementos esenciales de la Internet de las Cosas son los sensores y actuadores (Figura 2).

Un *sensor IoT* es un dispositivo electrónico que permite medir cambios en el estado de un objeto o del entorno y enviar dicha información para su procesamiento. Existen diversos sensores en el mercado que permiten medir diferentes variables como temperatura, luz, velocidad, sonido, etcétera.

---

<sup>6</sup> Goel, S. S., Goel, A., Kumar, M., & Moltó, G. (2021). A review of Internet of Things: qualifying technologies and boundless horizon. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 7(1), 23-33.

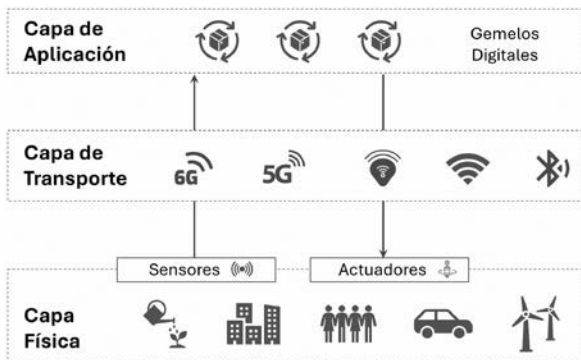


Figura 2. Arquitectura de Sistemas IoT.

Un *actuador* es un dispositivo que permite controlar un objeto físico ante una señal emitida por un sistema de control, en nuestro caso, un Gemelo Digital. Usualmente, convierten la señal de control recibida en un movimiento mecánico que actúa sobre un objeto físico. Podemos encontrar multitud de actuadores, como, por ejemplo, hidráulicos, eléctricos, mecánicos, etcétera.

Además, la utilización de toda la infraestructura IoT permite conseguir tanto conectividad local, utilizando tecnologías como ZigBee, Bluetooth, o Wi-Fi, como conectividad global utilizando tecnología 5G o, más recientemente, 6G. Podemos así, gracias a dicha conectividad, comunicar la información proporcionada por los sensores al Gemelo Digital y, a su vez, transmitir las ordenes de control de dicho Gemelo Digital a su Gemelo Físico.

Pensemos por ejemplo en uno de los principales motores económicos de Castilla-La Mancha, la agricultura, y en una de sus mayores preocupaciones, el uso eficiente del agua. Podríamos desarrollar Gemelos Digitales para el control hídrico de una plantación de frutales. Además de otros tipos de sensores, se podrían instalar sensores de presión de turgencia foliar<sup>7</sup> para medir el estado hídrico de los árboles, ya que la presión de turgencia es un buen indicador del estrés hídrico. Esto permitiría al Gemelo Digital detectar la necesidad de agua de cada árbol de la plantación. A su vez, podríamos instalar actuadores que permitieran al Gemelo Digital controlar el sistema de riego para proporcionar el agua necesaria.



*Figura 3. Sensor de presión de turgencia foliar (extraído de <sup>7</sup>).*

---

<sup>7</sup> [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/projects/germany/zim-technology-zim-agroforst-how-much-water-is-best-for-a-tree](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/germany/zim-technology-zim-agroforst-how-much-water-is-best-for-a-tree)

La utilización de la Internet de las Cosas es por tanto fundamental para el desarrollo de Gemelos Digitales, dado que permite la sensorización y comunicación de millones de datos consiguiendo los niveles de calidad de servicio adecuados y esperados en este tipo de soluciones, en términos de cantidad y velocidad de datos a transmitir.

### **Gemelos Digitales e Inteligencia Artificial**

Los Gemelos Digitales ofrecen un paso más allá de las facilidades ofrecidas por la Internet de las Cosas, al facilitar que los datos monitorizados y comunicados por dichos dispositivos IoT sean procesados, analizados y fusionados para proporcionar información que permita realizar mejores análisis y tomar mejores decisiones. Pero para ello, en su diseño y desarrollo aparece otra tecnología que ha revolucionado el panorama actual, la *Inteligencia Artificial*<sup>8</sup> (IA). Ambas son esenciales para construir no solo un espejo digital que refleja el mundo físico, sino para permitir que dicho espejo tenga un comportamiento inteligente, es decir, que *piense, prediga y tome decisiones*. Esta tecnología juega un papel crucial en el procesamiento y aprovechamiento de la información recogida por dispositivos *IoT*.

---

<sup>8</sup> Henry, W. P., & Winston, P. H. (2004). Artificial intelligence. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc..

Juntas, la Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial, son fundamentales para desbloquear todo el potencial de los Gemelos Digitales.

De entre las diferentes áreas de la Inteligencia Artificial una de ellas, denominada *Aprendizaje Automático*<sup>9</sup>, es la más utilizada en el desarrollo de Gemelos Digitales, de forma que les permite aprender a realizar una tarea a partir de los datos sin haber sido programados explícitamente para ello. El Aprendizaje Automático comienza recopilando y preparando el mayor conjunto de datos posible. Después, una vez elegido el modelo de aprendizaje adecuado, parte de esos datos se utiliza para entrenar al Gemelo Digital, permitiéndole aprender patrones, y parte para su evaluación, a fin de determinar la calidad del mismo. Una vez entrenado, el Gemelo Digital estaría listo para su utilización con nuevos datos. Así, la utilización de la Inteligencia Artificial, y en especial del Aprendizaje Automático, permite a los Gemelos Digitales proporcionar diferentes capacidades<sup>10</sup>.

En primer lugar, les permite conseguir tanto la *optimización en tiempo real* de procesos de producción y de la operación de objetos físicos, como la *toma de decisiones autónoma*, permitiendo el control de procesos y de operación de forma automatizada.

---

<sup>9</sup> Zhou, Z. H. (2021). Machine learning. Springer nature.

<sup>10</sup> Witten, I. H., & Frank, E. (2002). Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. Acm Sigmod Record, 31(1), 76-77.

Por ejemplo, el Gemelo Digital de una plantación de frutales podría, considerando el estado de turgencia del arbolado, la información meteorológica, de suelo, etcétera, optimizar el nivel de agua necesaria para el riego. En su aplicación a procesos industriales, por ejemplo, en una de las fábricas de cuchillería existentes en nuestra ciudad de Albacete, permitiría conocer el rendimiento del proceso de fabricación a fin de detectar posibles ineficiencias como el uso de energía o la velocidad de las máquinas utilizadas en la fabricación a fin de maximizar la eficiencia de la producción.

En segundo lugar, podemos destacar el *mantenimiento predictivo*. Los Gemelos Digitales, gracias al Aprendizaje Automático, pueden analizar una gran cantidad de datos, tanto obtenidos en tiempo real como históricos, que les permiten predecir fallos en los objetos físicos antes de que estos ocurran. La utilización de algoritmos de Aprendizaje Automático permite a los Gemelos Digitales aprender qué ocurrió en el pasado a fin de predecir qué puede ocurrir en el futuro. Esta capacidad de mantenimiento predictivo es clave en uno de los sectores en expansión en Castilla-La Mancha: las energías renovables. Castilla-La Mancha es la comunidad autónoma que ha autorizado más potencia para la construcción de proyectos de energías renovables en la primera mitad del año 2025, un total de 559,7 megawa-

tios (MW)<sup>11</sup>. Además, la región alberga el parque eólico GECAMA, el más grandes de España, con una capacidad de 329,2 MW. Un aspecto clave en la operativa de dichos parques eólicos es determinar en qué momento realizar la tarea de mantenimiento del aerogenerador. Parar el aerogenerador sin que el mantenimiento sea necesario ocasiona una pérdida de ingresos, dado que provoca una pérdida de producción de energía. Sin embargo, no realizar el mantenimiento a tiempo puede ocasionar tanto pérdida de ingresos como costes de reparación. La utilización de Gemelos Digitales, por tanto, permite reducir el tiempo de parada, bajar los costes de mantenimiento y mejorar la fiabilidad del aerogenerador.

En tercer lugar, encontramos la *simulación mejorada*. Una de las características más demandadas de los Gemelos Digitales es su capacidad para simular escenarios complejos. Evaluar “qué pasaría si tomáramos una decisión”, permitiendo evaluar el impacto que podría tener dicha decisión sin afectar al mundo físico. Además de en la Agricultura o en la Industria, uno de los sectores en los que se están utilizando los Gemelos Digitales para simulación es en la investigación científica. Una de las áreas en las que se ha planteado su utilización se encuentra en la investigación biomédica, concretamente en la intersección

---

<sup>11</sup> <https://www.encastillalamancha.es/medio-ambiente-cat/castilla-la-mancha-lidera-la-creacion-de-proyectos-de-energia-renovable-en-espana/>

entre neurociencia y nanomedicina, y en su utilización como herramienta para el diseño de terapias, fármacos, etcétera. Por ejemplo, se podría explorar el desarrollo de Gemelos Digitales del cerebro humano para diseñar y optimizar terapias dirigidas a enfermedades neurodegenerativas. Imaginemos un escenario: la necesidad de diseñar medicamentos para el tratamiento del Alzheimer. A partir de las imágenes cerebrales, como resonancia magnética funcional (fMRI) y tomografía por emisión de positrones (PET), junto con registros de actividad eléctrica (EEG) y análisis de multitud de pacientes, se podría construir un Gemelo Digital del cerebro humano que reproduce tanto la estructura como el comportamiento funcional del sistema nervioso central. Este Gemelo Digital permitiría simular, con gran precisión, la administración de nanopartículas terapéuticas diseñadas para atravesar la barrera hematoencefálica y liberar fármacos en regiones específicas del cerebro. Utilizando el Gemelo Digital, los investigadores podrían observar cómo estas nanopartículas se distribuyen, interactúan con los tejidos y liberan su carga, reduciendo así los ensayos con animales. Gracias a los Gemelos Digitales, es posible realizar miles de simulaciones en paralelo, evaluando distintos escenarios clínicos, dosis y combinaciones terapéuticas. Su utilización permite no solo acelerar el desarrollo de nuevas terapias, sino que también

reduce significativamente los costes y los riesgos asociados a la experimentación tradicional.

Además, al estar basado en datos individuales, los Gemelos Digitales permiten avanzar hacia una *medicina verdaderamente personalizada*, adaptada a las características únicas de cada paciente. Así, podrían simular cómo podrían afectar diferentes variables, como por ejemplo la velocidad de liberación del fármaco, a fin de identificar cuál es el tratamiento más adecuado dependiendo de las características de cada paciente.

Tal y como podemos apreciar, la utilización de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de los Gemelos Digitales es lo que permite dotar a estos del potencial y de las características diferenciales.

## **Gemelos Digitales y Realidad Virtual**

Tal y como hemos comentado antes, los Gemelos Digitales permiten la representación del comportamiento de objetos físicos, de sistemas e incluso de procesos del mundo real, y están constantemente actualizados gracias a los sensores *IoT*. Desde sus inicios se identificó la necesidad de proporcionarles alternativas que permitieran la visualización y la comprensión de la información que gestionan, especialmente por los expertos del dominio.

Los últimos avances tanto en *Realidad Virtual* como en *Realidad Aumentada*<sup>12</sup>, han permitido plantear su utilización como una forma no solo de visualizar, con alto nivel de realismo, la información y el comportamiento ofrecido por los Gemelos Digitales, sino también de poder interactuar con ellos de una forma inmersiva y similar a la que realizaríamos en un entorno real, si estuviéramos frente al Gemelo Físico representado por el Gemelo Digital.

Uno de los usos más avanzados de la Realidad Virtual y los Gemelos Digitales se encuentra en su utilización en medicina, concretamente, en operaciones quirúrgicas a distancia permitiendo que cirujanos expertos puedan operar a pacientes en remoto utilizando un robot quirúrgico<sup>13</sup>. En este contexto, gracias a la Realidad Virtual se ofrece al cirujano una visualización virtual no solo del entorno quirúrgico, incluyendo el instrumental, sino también de la anatomía del paciente a operar. Esa imagen virtual de la anatomía del paciente permitiría la visualización de la información y el comportamiento proporcionados por el Gemelo Digital del paciente construido a partir tanto de datos personalizados, como tomografías o resonancias, que permitirían generar un modelo tridimensional interactivo del órgano o sistema a intervenir. A su vez también

---

<sup>12</sup> Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2002). Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6), 34-47.

<sup>13</sup> <https://www.nature.com/articles/s41746-024-01413-0>

se podrían utilizar datos de otros pacientes y de resultados de operaciones previas para mejorar la capacidad de simulación del Gemelo Digital.

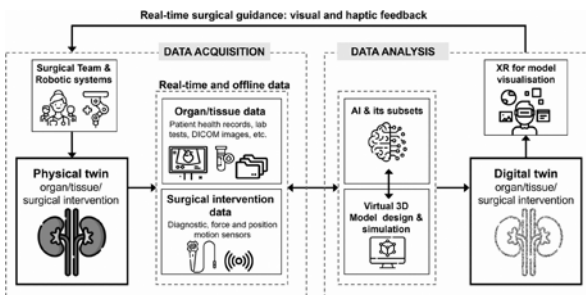


Figura 4. Cirugía asistida por Gemelos Digitales (extraída de 13).

Así, mediante la integración de sensores en el quirófano, el Gemelo Digital se mantendría actualizado constantemente sobre el avance de la operación, proporcionando así una asistencia inteligente al cirujano. Podría, por ejemplo, predecir cómo reaccionaría un tejido ante una incisión o sugerir ajustes en la trayectoria de un instrumento quirúrgico, mejorando así la seguridad del paciente y reduciendo el margen de error.

Además, podrían ser utilizados para realizar una planificación preoperatoria personalizada. El Gemelo Digital podría ser utilizado para simular diferentes estrategias quirúrgicas, a fin de prever posibles complicaciones y entrenar al equipo médico

en un entorno virtual idéntico al del quirófano real frente al paciente real.

Finalmente, en el ámbito de la formación médica, los Gemelos Digitales permitirían a estudiantes y residentes practicar procedimientos complejos en entornos virtuales altamente realistas, sin poner en riesgo vidas humanas. Esto aceleraría la curva de aprendizaje y elevaría los estándares de competencia clínica.

### **Gemelos Digitales Federados**

Uno de los aspectos más complejos de los Gemelos Digitales reside en cómo abordar su desarrollo. Solo pensemos lo que implicaría el desarrollo de Gemelos Digitales para conseguir las llamadas *ciudades inteligentes*, o *Smart Cities*. Sería necesario un Gemelo Digital que permitiera optimizar el tráfico, realizar simulaciones para planificar el desarrollo urbano, identificar cuál es el mejor momento para realizar las tareas de mantenimiento, etcétera. ¿Podemos imaginar cuán complejo podría ser el desarrollo de un Gemelo Digital que soportara todas estas necesidades?



Figura 5. Gemelos Digitales Federados.

La propuesta de técnicas, metodologías y herramientas que permitan abordar un desarrollo de tal complejidad es una de las cuestiones abiertas en la comunidad científica<sup>14</sup>. Una de las aproximaciones es seguir una estrategia muy conocida en informática: *divide y vencerás*. Así, en lugar de abordar el desarrollo de un Gemelo Digital tan complejo, esta aproximación persigue desarrollar diferentes Gemelos Digitales Autónomos capaces de comunicarse, colaborar y coordinarse con otros Gemelos Digitales en el espacio virtual a fin de mejorar las predicciones, optimizar procesos, adaptarse de manera más efectiva a entornos dinámicos, etcétera. Se trata de que dichos Gemelos Digitales Autónomos trabajen como

<sup>14</sup> Macías, A., Navarro, E., Cuesta, C. E., & Zdun, U. (2023). Architecting digital twins using a domain-driven design-based approach. In 2023 IEEE 20th International Conference on Software Architecture (ICSA) (pp. 153-163). IEEE.

*Gemelos Digitales Federados*<sup>15</sup> (Figura 5), es decir, comunidades de Gemelos Digitales Autónomos capaces de compartir información para permitir la generación colectiva de ideas y soluciones, y de combinar recursos y habilidades para lograr objetivos compartidos.

Por ejemplo, en la aplicación de ciudad inteligente, podríamos crear Gemelos Digitales Autónomos para cada uno de los diferentes subsistemas urbanos como el tráfico, la energía y la gestión de residuos, que colaborarían para optimizar conjuntamente los recursos de toda la ciudad. Esto permitiría una adaptación a circunstancias dinámicas como patrones de tráfico fluctuantes o cambios inesperados en la demanda energética. Este enfoque colaborativo mejora la precisión y ofrece una visión global del sistema, ofreciendo herramientas para una mejor toma de decisiones y una gestión más eficiente de los entornos urbanos.

## Conclusiones

Como habrán podido observar, los Gemelos Digitales ofrecen un enorme potencial. Por ello, como les pedí al principio, espero que esta lección

---

<sup>15</sup> Pretel, M. E., Navarro, E., Casamayor, V., & Dustdar, S. (2025). Digital Twins and Artificial Collective Intelligence: Synergies for the Future, *IEEE Internet Computing* 29(1): 75-85.

magistral los haya animado a ser Quijotes. Quijotes que imaginen cómo pueden utilizar los Gemelos Digitales para el desarrollo de nuevos proyectos, de nuevos productos, de nuevas maneras de formar a nuestros estudiantes. Temo, sin embargo, que quizás hayan sentido que están, como diría Don Quijote, ante desaforados gigantes. Por ello, permítanme también que yo sea Sancho y les diga que no son gigantes, sino solo, Gemelos Digitales, y que están en el mejor lugar para verlos como tal. Miren a su alrededor y verán a investigadores e investigadoras formados, preparados y actualmente desarrollando su investigación en cada uno de los aspectos que he mencionado: ingeniería informática, agronomía, biotecnología, medicina, etcétera. Todas ellas personas con la competencia y capacidad para, además, formar a nuestros estudiantes para que ayuden a nuestra región a ser referente, no solo en este tema, sino en cualquiera de los desafíos que quedan por venir.









Universidad de  
Castilla~La Mancha

ISBN 978-84-9044-542-6



9 788490 445426