
GEMELOS DIGITALES EN LA SALUD Y MEDICINA

MÓDULO TyHM

María Valentina Frery
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

valefrery24@gmail.com

Juan Francisco Giugno
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

juanfranciscogiugno@gmail.com

Justina Mattiazzi
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

justina.mattiazzi@gmail.com

Martina Sarmiento
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

martusar02@gmail.com

María Emilia podesta
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

marepodesta24@gmail.com

Josefina Collazzo
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional De Cuyo

josecollazzo2609@gmail.com

Año 2024

Abstract

Enter the text of your abstract here.

Keywords Medicina · Gemelos · Digitales · Salud

1 Introducción

Los gemelos digitales de procesos permiten a las organizaciones visualizar, simular y analizar procesos en tiempo real, lo que facilita una mejor toma de decisiones y la optimización del rendimiento. En medicina, los gemelos digitales pueden usarse para modelar sistemas biológicos y predecir la eficacia de tratamientos. También pueden ser útiles en la planificación de cirugías y en la formación de profesionales médicos mediante simulaciones realistas. Los gemelos digitales, réplicas virtuales detalladas de pacientes, órganos o sistemas médicos, están revolucionando la atención médica. Permiten simular ensayos clínicos de forma segura y eficiente, capacitar a profesionales con entornos realistas, realizar diagnósticos personalizados y optimizar las operaciones hospitalarias. Esta tecnología innovadora tiene el potencial de transformar la medicina, mejorando la salud y el bienestar de todos. Son modelos virtuales que representan el funcionamiento de órganos o sistemas del cuerpo humano, utilizando datos médicos y biométricos. Permiten simular y analizar cómo podría responder un órgano o sistema a diferentes tratamientos o condiciones, sin necesidad de intervenciones físicas en el paciente.

1.1 Qué es un Gemelo Digital

Un gemelo digital es una representación digital precisa de un objeto, sistema o proceso físico. Esta representación se actualiza constantemente a través de datos en tiempo real provenientes de sensores, lo que permite un monitoreo continuo y la simulación de diferentes escenarios para optimizar el rendimiento y prever problemas. En medicina, un gemelo digital es una réplica virtual de un paciente, un órgano o un sistema biológico que se actualiza en tiempo real con datos de diversas fuentes, como registros médicos electrónicos, dispositivos de monitoreo y resultados de pruebas diagnósticas. Este modelo virtual permite realizar simulaciones y predicciones sobre el estado de salud y la respuesta a tratamientos específicos.

1.2 Evolución

- 1) Conceptualización Inicial: La idea de los gemelos digitales fue inicialmente propuesta por Michael Grieves en 2002, como parte del ciclo de vida del producto en la manufactura.
- 2) Desarrollo Tecnológico: Con el avance de tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial (IA) y el aumento de la capacidad computacional, los gemelos digitales han evolucionado de simples modelos de simulación a complejos sistemas integrados.
- 3) Adopción en la Industria: Empresas en sectores como manufactura, energía, salud, transporte y construcción han comenzado a implementar gemelos digitales para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos.

1.3 Aplicaciones

- 1) Manufactura: Monitoreo y optimización de procesos de producción, mantenimiento predictivo de maquinaria, y diseño y simulación de nuevos productos.
- 2) Energía: Gestión de redes eléctricas, optimización de la producción de energía, y mantenimiento de infraestructuras críticas.
- 3) Salud: Personalización de tratamientos, simulaciones de procedimientos médicos, y monitoreo de dispositivos médicos.
- 4) Transporte: Gestión de flotas, optimización de rutas, y mantenimiento predictivo de vehículos.
- 5) Construcción y Smart Cities: Gestión de edificios inteligentes, planificación urbana, y monitoreo de infraestructuras.

1.4 Información que contienen:

- Datos demográficos del paciente (edad, sexo)
- Modelos dinámicos de órganos o sistemas corporales
- Historiales médicos
- Imágenes diagnósticas (resonancias magnéticas, tomografías computarizadas, ultrasonidos)
- Datos genéticos

- Información proveniente de dispositivos móviles, relojes
- Inteligentes y pulseras de actividad
- Parámetros fisiológicos

1.5 Beneficios:

- Personalización de tratamientos: Diseñar planes de tratamiento a medida que se ajusten a las necesidades y características únicas de cada paciente.
- Preparación para procedimientos quirúrgicos: Ofrecer una réplica virtual exacta del área quirúrgica para que los cirujanos puedan planificar y practicar la intervención con anticipación.
- Investigación y desarrollo farmacéutico: Evaluar más rápida y seguramente la eficacia y los posibles efectos secundarios de los medicamentos antes de pasar a ensayos clínicos con humanos.
- Monitoreo y manejo continuo de la salud: Actualizar constantemente y predecir la progresión de la enfermedad, permitiendo ajustes oportunos en el tratamiento.
- Prevención de enfermedades: Predecir la aparición de enfermedades antes de manifestarse, ofreciendo una ventana de oportunidad para intervenciones preventivas y cambios en el estilo de vida.

1.6 Ensayos clínicos más eficientes y seguros

- Simulación de escenarios: Los gemelos digitales permiten simular ensayos clínicos en entornos virtuales, reduciendo la necesidad de pruebas en humanos y acelerando el desarrollo de nuevos fármacos y tratamientos.
- Análisis predictivo: Al analizar datos en tiempo real de pacientes virtuales, los investigadores pueden identificar posibles riesgos y efectos secundarios, mejorando la seguridad y la eficacia de los ensayos.

1.6.1 Capacitación médica de vanguardia:

- Entornos de práctica realistas: Los estudiantes de medicina y profesionales de la salud pueden practicar procedimientos complejos en gemelos digitales de pacientes virtuales, adquiriendo experiencia sin riesgos para pacientes reales.
- Visualización anatómica mejorada: Los gemelos digitales ofrecen modelos 3D interactivos de anatomía humana, permitiendo una comprensión más profunda del cuerpo humano y mejorando la precisión de los diagnósticos.

1.7 Situación Problema

Lo que se quiere mejorar con la utilización de los gemelos digitales en la medicina es tratar de disminuir al máximo los errores de los médicos y el personal encargado del paciente. De esta forma, a su vez, mejoramos la eficiencia y el tiempo de ejecución. Por otra parte, se puede capacitar a los médicos y/o estudiantes con el fin de que lleguen mucho más preparados. Al poder realizar esto, a partir de esta herramienta, se ahorran recursos ya que no se necesitarán de personas que los capaciten sino solo de esta herramienta.

1.8 Estado del Arte

El concepto de gemelos digitales (Digital Twins) ha ganado una significativa atención en diversas industrias debido a su potencial para transformar la forma en que se gestionan, optimizan y mantienen los sistemas y procesos físicos. Se presenta un estado del arte de los gemelos digitales, abarcando su definición, evolución, aplicaciones, tecnologías involucradas y desafíos actuales. El uso de gemelos digitales en el ámbito médico ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años, impulsado por avances en tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y la biotecnología. Estos avances permiten la creación de representaciones digitales precisas de pacientes, órganos y sistemas biológicos completos, lo que abre nuevas posibilidades para la personalización de tratamientos, la simulación de intervenciones y el monitoreo continuo de la salud.

1.9 Aplicaciones en la Salud

1) Medicina Personalizada:

- Simulación de Tratamientos: Los gemelos digitales permiten simular diferentes opciones de tratamiento y predecir sus efectos antes de aplicarlos en el paciente real.
- Optimización de Dosis: Pueden ayudar a determinar la dosis óptima de medicamentos, minimizando efectos secundarios y mejorando la eficacia.

2) Monitoreo Continuo:

- Dispositivos Médicos Conectados: Integración con dispositivos como marcapasos, bombas de insulina y monitores de glucosa para un seguimiento en tiempo real.
- Telemedicina: Uso de gemelos digitales para monitorear remotamente la salud de los pacientes y realizar ajustes en los tratamientos a distancia.

3) Simulación de Cirugías y Procedimientos:

- Planificación Quirúrgica: Simulación de procedimientos quirúrgicos complejos para planificar cada paso y anticipar posibles complicaciones.
- Formación Médica: Uso de gemelos digitales para entrenar a cirujanos y otros profesionales de la salud en un entorno virtual seguro.

4) Investigación y Desarrollo:

- Desarrollo de Nuevos Medicamentos: Simulación de interacciones entre medicamentos y organismos humanos para acelerar la investigación y reducir la necesidad de ensayos clínicos extensivos.
- Estudios Clínicos Virtuales: Realización de estudios clínicos en gemelos digitales para evaluar la eficacia y seguridad de nuevos tratamientos.

5) Gestión de Enfermedades Crónicas:

- Diabetes, Enfermedades Cardíacas, y Más: Monitoreo y gestión de enfermedades crónicas mediante la integración de datos de estilo de vida, biomarcadores y genómica.

1.10 Tecnologías Involucradas

- Internet de las Cosas (IoT): Sensores y dispositivos conectados que proporcionan datos en tiempo real sobre el estado y el desempeño de los sistemas físicos.
- Big Data y Analítica Avanzada: Procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos para extraer insights útiles.
- Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático: Modelos predictivos y algoritmos de optimización para simular y mejorar el rendimiento de los gemelos digitales.
- Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR): Visualización y simulación de gemelos digitales en entornos inmersivos para mejorar la toma de decisiones y la formación.
- Cloud Computing: Almacenamiento y procesamiento de datos a gran escala, facilitando el acceso y la gestión de los gemelos digitales desde cualquier lugar.

1.10.1 Tecnologías utilizadas en la Salud

- Big Data y Analítica Avanzada: Procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos de salud para construir y actualizar gemelos digitales.
- Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático: Algoritmos que aprenden y predicen comportamientos y respuestas de salud basados en datos históricos y en tiempo real.
- Internet de las Cosas (IoT): Dispositivos conectados que proporcionan datos continuos sobre el estado de salud de los pacientes.
- Imágenes Médicas Avanzadas: Tecnologías como la resonancia magnética, tomografía computarizada y ultrasonido para crear modelos detallados de órganos y sistemas.
- Cloud Computing: Almacenamiento y procesamiento en la nube para manejar los vastos volúmenes de datos generados y permitir el acceso desde cualquier lugar.

1.11 Desafíos

- 1) Integración de Datos: Unificar datos provenientes de diversas fuentes y sistemas es complejo y requiere estándares y protocolos comunes.
- 2) Seguridad y Privacidad: Proteger la integridad de los datos y garantizar la privacidad es fundamental, especialmente en sectores críticos como la salud y la energía.
- 3) Costos y Recursos: La implementación de gemelos digitales puede ser costosa y requerir recursos significativos en términos de infraestructura y personal especializado.
- 4) Escalabilidad: Gestionar y mantener gemelos digitales a gran escala presenta desafíos técnicos y operativos.
- 5) Exactitud y Fiabilidad: Asegurar que los gemelos digitales reflejen con precisión el estado y el comportamiento de sus contrapartes físicas es crucial para su efectividad.

1.11.1 Desafíos y Consideraciones en ámbito médico

- 1) Privacidad y Seguridad de Datos: Garantizar la protección de los datos de los pacientes y cumplir con regulaciones como el GDPR y HIPAA.
- 2) Integración de Datos: Unificar datos de múltiples fuentes heterogéneas (registros médicos, dispositivos de monitoreo, etc.) es complejo.
- 3) Exactitud y Confiabilidad: Asegurar que los gemelos digitales reflejen con precisión la fisiología y el comportamiento del paciente real.
- 4) Costo y Recursos: Desarrollo e implementación de gemelos digitales pueden ser costosos y requerir infraestructura avanzada.
- 5) Adopción y Formación: Necesidad de formación continua para los profesionales de la salud en el uso de estas nuevas tecnologías.

1.12 Futuro y tendencias

- 1) Convergencia de Tecnologías: La integración de IA, IoT, Blockchain y otras tecnologías emergentes potenciará aún más las capacidades de los gemelos digitales.
- 2) Expansión a Nuevos Sectores: Se espera una adopción creciente en sectores como la agricultura, el retail y la educación.
- 3) Desarrollo de Estándares: La creación de estándares globales facilitará la interoperabilidad y la integración de los gemelos digitales.
- 4) Gemelos Digitales Cognitivos: Evolución hacia sistemas que no solo simulan, sino que también pueden aprender y adaptarse de manera autónoma.

1.12.1 Futuro y tendencias en la Salud

- 1) Desarrollo de Gemelos Digitales Multiescala: Integración de datos a diferentes niveles (molecular, celular, de órganos y sistemas completos) para una representación más completa.
- 2) Aumento de la Personalización: Avances en genómica y proteómica que permiten una personalización aún mayor de los gemelos digitales.
- 3) Colaboración Internacional: Compartir datos y modelos entre instituciones de salud a nivel global para mejorar la precisión y las capacidades de los gemelos digitales.
- 4) Regulación y Estandarización: Desarrollo de estándares y regulaciones específicas para el uso de gemelos digitales en medicina.

En resumen, los gemelos digitales representan una evolución significativa en la gestión y optimización de sistemas físicos, con aplicaciones vastas y en constante crecimiento. La combinación de tecnologías avanzadas y la continua innovación prometen un futuro donde los gemelos digitales jugarán un papel crucial en la transformación digital de múltiples industrias. Los gemelos digitales en el ámbito médico están transformando la manera en que se diagnostica, trata y gestiona la salud de los pacientes. A medida que las tecnologías continúan avanzando, es probable que veamos una adopción aún mayor y más innovaciones que mejoren la precisión, eficacia y personalización de la atención médica.

1.13 Hipótesis o pregunta de investigación

¿Cómo volver mas eficiente la medicina a parrir del uso de gemelos digitales?

1.14 Casos de estudio

1. Simulación y Planificación Quirúrgica: Hospital de la Universidad de Miami

- Descripción del Proyecto: El Hospital de la Universidad de Miami implementó gemelos digitales para la planificación de cirugías complejas. Utilizando imágenes de resonancia magnética (MRI) y tomografía computarizada (CT), crearon modelos 3D de órganos y estructuras anatómicas de los pacientes.
- Resultados:
 - Reducción de Tiempo Quirúrgico: La planificación precisa permitió reducir el tiempo en quirófano.
 - Mejora en Resultados Clínicos: Los cirujanos pudieron anticipar complicaciones y planificar abordajes más seguros.
 - Entrenamiento y Educación: Los gemelos digitales se utilizaron para formar a cirujanos residentes, mejorando su habilidad y confianza en procedimientos complejos.

2. Mantenimiento Predictivo de Equipos Médicos: GE Healthcare

- Descripción del Proyecto: GE Healthcare desarrolló gemelos digitales para sus máquinas de resonancia magnética y otros equipos médicos críticos. Los sensores integrados en las máquinas transmiten datos en tiempo real para crear un modelo digital que permite predecir fallos y realizar mantenimiento preventivo.
- Resultados:
 - Reducción de Tiempos de Inactividad: Los fallos se identificaron y corrigieron antes de que ocurrieran, minimizando el tiempo de inactividad.
 - Costos de Mantenimiento Reducidos: La eficiencia en el mantenimiento predictivo resultó en una reducción significativa de costos.
 - Mejor Desempeño de los Equipos: Los equipos operaron de manera más eficiente y confiable.

3. Gestión de Diabetes: Roche Diabetes Care

- Descripción del Proyecto: Roche Diabetes Care desarrolló un gemelo digital para pacientes con diabetes, integrando datos de monitores de glucosa continuos, bombas de insulina y otros dispositivos de monitoreo personal. Este gemelo digital permite un seguimiento en tiempo real y la optimización de la terapia con insulina.
- Resultados:
 - Control Mejorado de la Glucosa: Los pacientes lograron un mejor control de sus niveles de glucosa en sangre mediante ajustes personalizados en tiempo real.
 - Reducción de Episodios Hipoglucémicos: Menos episodios de hipoglucemia debido a un monitoreo continuo y ajustes precisos.
 - Satisfacción del Paciente: Los pacientes reportaron una mayor satisfacción con su tratamiento debido a la personalización y la reducción de complicaciones.

4. Oncología Personalizada: Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos (NCI)

- Descripción del Proyecto: El NCI implementó gemelos digitales para pacientes con cáncer, combinando datos genómicos, proteómicos y de imágenes médicas para simular el comportamiento del tumor y predecir la respuesta a diferentes tratamientos.
- Resultados:
 - Tratamientos Personalizados: Los oncólogos pudieron diseñar planes de tratamiento personalizados basados en las simulaciones del gemelo digital.
 - Mejoras en la Eficacia del Tratamiento: Las simulaciones ayudaron a identificar los tratamientos más efectivos, mejorando las tasas de éxito.
 - Reducción de Efectos Secundarios: Personalizar los tratamientos redujo la incidencia de efectos secundarios adversos.

5. Rehabilitación y Terapia Física: Hospital for Special Surgery (HSS), Nueva York

- Descripción del Proyecto: El HSS desarrolló gemelos digitales de pacientes que se someten a cirugías ortopédicas para planificar y monitorear programas de rehabilitación personalizados. Utilizando

datos de sensores de movimiento y otros dispositivos portátiles, los gemelos digitales permitieron un seguimiento preciso de la recuperación del paciente.

- Resultados:
 - Rehabilitación Optimizada: Programas de rehabilitación personalizados que se ajustaron dinámicamente según el progreso del paciente.
 - Recuperación Acelerada: Los pacientes experimentaron una recuperación más rápida y efectiva.
 - Menor Tasa de Recaídas: La monitorización continua permitió detectar y corregir problemas antes de que se convirtieran en recaídas serias.

1.15 Interpretación de resultados y conclusiones

En base a los resultados presentados en los casos de estudio se puede concluir que los gemelos digitales están transformando la medicina al permitir simulaciones precisas, tratamientos personalizados y una gestión más eficiente de equipos y procesos. Estos casos de estudio demuestran su potencial para mejorar significativamente los resultados clínicos, reducir costos y aumentar la satisfacción del paciente. A medida que la tecnología avanza, es probable que los gemelos digitales se conviertan en una herramienta estándar en muchas áreas de la medicina.

2 Bibliografía

https://fundacionff.com/filosofia_inteligencia_artificial/gemelos_digitales

<https://www.forbesargentina.com/innovacion/esta-startup-tecnologia-salud-desarrolla-gemelos-digitales-c>

<https://norlean.com/es/inteligencia-artificial-sanidad/>

<https://www.siemens-healthineers.com/ar/press-room/press-releases/pr-20190613001.html>

<https://www.expomedhub.com/nota/innovacion/los-gemelos-digitales-de-los-organos-humanos>

<https://scptfe.com/gemelos-digitales-aplicados-a-la-biomedicina/>