

Gemelos digitales: transformando la investigación clínica

Los gemelos digitales son representaciones virtuales, dinámicas de objetos o sistemas físicos o biológicos, que están emergiendo como una fuerza transformadora en la investigación clínica. Estos modelos, actualizados en tiempo real con datos precisos, permiten simular y analizar el comportamiento de sistemas biológicos complejos abriendo nuevas vías para comprender y tratar enfermedades.

Un gemelo digital se compone de tres elementos fundamentales: el objeto físico real, su réplica virtual en un entorno digital y el flujo bidireccional de datos que sincroniza ambos. Esta conexión constante permite monitorear, simular y analizar el desempeño del objeto físico con una precisión sin precedentes.

Pueden concebirse aplicaciones de gemelos digitales en las más diversas áreas. De nuestro particular interés, es su uso en la investigación clínica, que abarca: ensayos clínicos virtuales, modelado de enfermedades complejas, diseño y desarrollo de dispositivos médicos, etc.. Si bien todavía su uso no se ha extendido, no falta mucho para que esto ocurra y, simplemente, no podrá concebirse la investigación clínica sin su empleo.

Los gemelos digitales permitirán simular ensayos clínicos en poblaciones virtuales reduciendo la dependencia de pruebas en humanos y acelerando el desarrollo de nuevos medicamentos. Además, facilitarán las pruebas de diferentes protocolos y dosis de medicamentos identificando las estrategias de administración/dosificación más efectivas y seguras. Serán útiles para el estudio de enfermedades raras o de baja frecuencia o para realizar ensayos sobre poblaciones de difícil acceso. Los gemelos digitales podrán ser usados para comprender la patogénesis y la evolución de enfermedades complejas en los niveles molecular y celular, predecir la respuesta al tratamiento personalizando la terapia e identificar biomarcadores que permitan mejorar el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad. También, serán útiles para optimizar el diseño y desarrollo de dispositivos médicos y personalizarlos según las características individuales del paciente.

En relación con los aspectos bioquímicos de la investigación clínica, los gemelos digitales también ofrecen herramientas poderosas para profundizar en este campo, permitiendo el modelado de vías metabólicas individuales, la simulación de procesos bioquímicos, el análisis y la interpretación de los flujos de metabolitos y la regulación enzimática. Todas estas cuestiones son clave para comprender cómo las variaciones genéticas, las condiciones ambientales o los fármacos afectan el metabolismo de cada individuo.

Al integrar datos genómicos, proteómicos y metabolómicos de un paciente, se podrán crear gemelos digitales que representen el metabolismo individual de ese paciente en particular, apuntando directamente a la medicina personalizada. Esto permitirá predecir la respuesta de cada individuo a diferentes dietas, fármacos o intervenciones optimizando la terapia y previniendo efectos adversos.

Los gemelos digitales permitirán modelar la progresión de enfermedades metabólicas como la diabetes, la obesidad o las enfermedades hepáticas. Esto facilitará la identificación de los mecanismos bioquímicos subyacentes a estas enfermedades y el desarrollo de nuevas estrategias de intervención. Al simular cómo responden los pacientes individuales a diferentes tratamientos, los gemelos digitales podrán ayudar a desarrollar terapias más eficaces y personalizadas.

Es crucial validar experimentalmente los modelos de gemelos digitales para garantizar su fiabilidad y precisión. Además, se deberán establecer marcos éticos

y legales sólidos para proteger la privacidad de los datos del paciente.

La investigación bioquímica clínica con gemelos digitales requerirá la colaboración entre bioquímicos, bioinformáticos, ingenieros y clínicos. También, cada una de las especialidades de la medicina deberá abordar las cuestiones informáticas necesarias para optimizar el uso de las tecnologías emergentes.

La integración de gemelos digitales a la investigación clínica redefinirá el rol del investigador transformando sus responsabilidades. El investigador se centrará en el análisis e interpretación de grandes volúmenes de datos simulados, participará en el diseño y validación de modelos virtuales precisos, supervisará y validará los resultados de ensayos clínicos virtuales, utilizará gemelos digitales para personalizar tratamientos según las características del paciente, trabajará en equipos multidisciplinarios para integrar conocimientos diversos y, finalmente, participará en la evaluación de las implicancias éticas y regulatorias.

La implementación de gemelos digitales en la investigación clínica claramente vendrá acompañada de problemas éticos y legales y, probablemente, haya que desarrollar una legislación particular que se anexará al bagaje existente sobre inteligencia artificial. Por otra parte, al tratarse de un “gemelo”, hay mucha información de pacientes individuales que está en juego (y en riesgo), y esto atenta contra el principio de autonomía. Además, todavía hay que demostrar que su uso redundará en un real beneficio para los pacientes y no causa daño. Finalmente, la falta de acceso podría generar inequidades.

También es cierto que el uso de gemelos digitales constituirá una forma segura de evaluar tratamientos o intervenciones que implicarían un riesgo o no podrían realizarse en sujetos humanos. Por ejemplo, podría someterse al gemelo digital a una dosis tóxica de un medicamento sin ningún riesgo sobre el paciente. Esto permitiría hacer extrapolaciones imposibles de reproducir con sujetos reales.

En un principio, la incorporación de gemelos digitales podría representar un costo adicional, pero pronto las ventajas serían notorias, al reducirse de manera significativa tanto los costos como las complejidades de realizar ensayos clínicos de campo con personas de carne y hueso.

Los gemelos digitales representan una revolución en la investigación clínica, ya que aceleran el descubrimiento científico y personalizan la medicina. Su implementación exitosa requerirá una colaboración interdisciplinaria y una atención rigurosa a las consideraciones éticas y regulatorias. En el futuro, habrá muchos debates y contrapuntos, y más dudas que certezas, pero lo cierto es que esto ya es una realidad y, como investigadores clínicos, deberemos adaptarnos para seguir adelante.

Dr. Julian Verona^{id}

Universidad de Buenos Aires (UBA)

Miembro del Comité Editorial ByPC

Miembro de la IFCC TF-E



Esta obra está bajo la licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. Permite compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) y adaptar (remezclar, transformar y crear, a partir del material, otra obra) siempre que se cite la autoría y la fuente original de su publicación (revista, editorial y URL de la obra), no sean utilizados para fines comerciales y que se respeten los mismos términos de la licencia.