

Academia Nacional de Medicina de Uruguay
Jornada Científica: La Medicina del Futuro
13 y 14 de diciembre de 2023

- I. INTRODUCCIÓN
José P. Arcos, *Montevideo*
- II. CIENCIAS BÁSICAS
 - 1. Tratamiento de enfermedades de base genética con oligonucleótidos.
Adrián Robert Krainer, *Cold Spring Harbor*
 - 2. Nuevos desembarcos del laboratorio en clínica
Francisco R. M. Laurindo, *Sao Paulo*
 - 3. Bioimpresión con células humanas de estructuras anatómicas
Adrián Díaz Nocera, *Córdoba*
 - 4. Desarrollo de fármacos en Uruguay
Carlos Batthyány, *Montevideo*
 - 5. Inteligencia artificial en la medicina del futuro
Pablo Muse, *Montevideo*
Hamlet Suárez, *Montevideo*
Federico Lecumberry, *Montevideo*
- III. MEDICINA CLÍNICA E IMAGENOLOGÍA
 - 1. El tratamiento futuro de los trastornos neurodegenerativos
Irene Litvan, *San Diego*
 - 2. El futuro de la imagenología integrada
Diana Paez, *Viena*
- IV. MEDICINA INVASIVA Y CIRUGÍA
 - 1. Cardiocirugía no invasiva y robótica
Juan Crestanillo, *Rochester*
 - 2. Endoscopía digestiva y telemedicina
José Marín, *Madrid*
 - 3. ¿Qué se puede esperar en la cirugía del futuro?
Mariano Giménez, *Buenos Aires*
- V. BIENESTAR MÉDICO
 - 1. Bienestar médico y el futuro de la práctica médica.
Al'ai Alvarez, *Stanford*

I. INTRODUCCIÓN

Jose P. Arcos

La Academia Nacional de Medicina de Uruguay ha percibido que se desarrolla a paso acelerado un cambio de época en la medicina, por lo que hemos tratado de asomarnos a ese futuro convocando a una jornada científica, que se desarrolló en diciembre de 2023. Participaron médicos uruguayos y destacados médicos extranjeros que investigan y ejercen en centros de creación del conocimiento en ciencias médicas.

Reflexionar sobre el futuro de la medicina muchas veces no está entre las prioridades de los médicos, agobiados por su tarea asistencial, ni de los gestores de los sistemas de asistencia sanitaria, preocupados por las urgencias financieras, ni tampoco de las autoridades, condicionadas por las estructuras de gobierno. Mientras tanto, el tiempo sigue su curso y los procesos se aceleran en determinados momentos, haciendo que los cambios nos sorprendan y nos encuentren desprevenidos. Anticipar el futuro y reaccionar a tiempo, actuando para prevenir desajustes o simplemente para no perder el ritmo al que avanza el conocimiento, es una tarea ardua. La tendencia a disculparse luego de los desastres, aduciendo la fatalidad de los hechos, no debería ser la actitud de la comunidad médica. Mas aún, es una cuestión de la bioética, que debería normatizar acerca de las responsabilidades de no hacer planes de evaluación de riesgos, y de no activar a tiempo las medidas para evaluar y mitigar los daños. La reciente pandemia nos ha dado flagrantes ejemplos de los efectos que una zoonosis pobremente pronosticada, ha tenido sobre la salud de la humanidad.

La Academia Nacional de Medicina de Uruguay, que es un ámbito institucional, independiente en sus decisiones, y cuyo objetivo primordial es estimular el conocimiento y la investigación en todos los campos de las ciencias médicas, puede tomar esta tarea vinculada al devenir de la medicina. La revolución científico-tecnológica de las últimas décadas del siglo XX tuvo una inmensa repercusión en la medicina. La biotecnología produjo una eclosión de descubrimientos no conocida en la historia de la medicina.

En la última década hemos visto el nacimiento y el desarrollo de lo que algunos teóricos han llamado la revolución del conocimiento o la cuarta revolución. La ciencia de datos, la interconectividad global y la genómica aplicada eran disciplinas poco estudiadas por la medicina. Las fronteras entre la física, la tecnología digital y la biología son cada vez más difusas. Más allá de si se trata de una simple evolución o una verdadera revolución en la ciencia, alguno de estos procesos transformará a la medicina.

Ciencia de datos

La ciencia de datos es una nueva disciplina que se incorpora a la medicina como otras ciencias básicas lo han hecho. El progreso es tal, en inteligencia artificial y aprendizaje automático y profundo, que se han formulado analogías: la mayoría de los algoritmos actuales, basados en computadores, son sistemas expertos que se comportan como un estudiante de medicina. Toma principios generales de la patología que estudió y los aplica a sus nuevos pacientes. Es el clásico proceso deductivo de aprendizaje. Por el contrario, los sistemas informáticos que además aprenden automáticamente, actuarán

como un residente de medicina en formación, que aprende a ejercer a partir de los datos de sus pacientes, completando el proceso inductivo de aprendizaje. Con una significativa diferencia, la gran cantidad de datos digitalizados de pacientes, permite a las computadoras manejar números enormes de predictores complejos. Esta capacidad, que es superior a la de cualquier humano aprendiendo y razonando, era inimaginable hasta hace poco tiempo.

La formulación de pronósticos mejorará drásticamente. Las evidencias que ya existen en la predicción de cáncer metastásico son un ejemplo. Las imágenes digitalizadas, podrán alimentar fácilmente a los algoritmos con conjuntos masivos de datos que, combinados con avances en visión por computadora, conducirán rápidamente a mejorar el rendimiento y la exactitud de los diagnósticos.

Actualmente nuestra precisión diagnóstica es baja y la falta de intervenciones para reducir los errores de diagnóstico es a veces alarmante. Los algoritmos generarán sin esfuerzo y con rapidez los diagnósticos diferenciales, sugerirán la paraclínica y reducirán su uso excesivo.

El aprendizaje automático se convertirá en una herramienta indispensable, su papel seguirá creciendo, y la medicina clínica se verá desafiada a crecer conjuntamente. Estos temas se trataron en nuestra Jornada, en sesiones dedicadas la aplicación de la inteligencia artificial y a la imagenología integrada.

Medicina de Precisión

La iniciativa de la medicina de precisión, es un esfuerzo de investigación, diseñado inicialmente para un mayor conocimiento del cáncer, rápidamente se extenderá para estudiar un gran rango de enfermedades. Está íntimamente ligado a la revolución en la genética humana. Nos encontramos apenas a 20 años de la publicación de los resultados de la “lectura” del Proyecto Genoma Humano, y en el comienzo del proyecto de la “escritura”, o sea la síntesis y la edición del genoma humano. Podremos predecir mejor el riesgo de enfermedad, y conocer cómo la genética, el ambiente y estilo de vida de la influyen en su prevención.

Muchos diagnósticos que se basan hoy en datos clínicos o de biomarcadores, pasarán a formularse una vez determinados los genes responsables de la enfermedad. Las posibilidades de tratamientos con fármacos dirigidos con precisión a las células con características genéticas anormales, respetando a las células normales del organismo, han abierto un campo farmacológico y terapéutico insospechado para un importante número de especialidades médicas. Se ha generado también un intenso debate en el que se consideran sus implicancias éticas, legales y sociales.

Tecnología médica y centros de referencia

La tecnología médica estará indisolublemente ligada a la revolución del conocimiento, como lo hizo durante la revolución tecno-científica. La aplicación de la robótica, la cirugía no invasiva y la telemedicina constituyen las formas de tratamiento quirúrgicos del futuro.

No será posible acompañar este devenir de la medicina manteniéndonos aislados y limitados por los límites geográficos y políticos. La creación de centros de referencia, de acuerdo a las capacidades de cada país, es el único camino sensato que puede conducirnos al éxito en la implantación de estas técnicas de alto costo instrumental y alta especialización médica. Se requerirán centros de diagnóstico y tratamiento de

elevado nivel de especialización, tanto en materia de recursos humanos como materiales, así como de experiencia acumulada. Demandarán recursos que, en atención a la ecuación costo-efectividad, precisarán de la concentración de un número mínimo de casos a tratar.

Las formas de trabajo médico sufrirán profundos cambios, por lo que se requerirán esfuerzos para acompañarlos, así como nuevas estructuras en la enseñanza de la medicina. Anticiparnos a los cambios en la relación médico-paciente, preservando su valor insustituible, contribuirá a que esta transformación beneficie la salud de nuestra población.

Las páginas que siguen son un resumen de la “Jornada: Medicina del Futuro”, del 13 y 14 de diciembre de 2023, realizada en la Sala de Presidencia de la República, Montevideo.

II. CIENCIAS BÁSICAS

1. Tratamiento de enfermedades de base genética con oligonucleótidos.

Adrian Robert Krainer, PhD, bioquímico y genetista molecular en la Fundación St. Giles en el Cold Spring Harbor Laboratory, New York, EEUU, ha contribuido significativamente al estudio del “splicing” del ARN y al desarrollo de terapias innovadoras. Desde su labor como profesor en la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, Krainer ha profundizado en la biología molecular, particularmente en el proceso de corte y empalme del ARN, conocido como splicing.

El descubrimiento del splicing

En 1977, se descubrió el splicing del ARN, un proceso que revolucionó la comprensión del dogma central de la biología molecular. Este dogma estableció que la información genética fluye del ADN al ARN mensajero (ARNm) y luego a las proteínas. Sin embargo, se reveló que los genes están compuestos por segmentos codificantes (exones) intercalados con segmentos no codificantes (intrones). Durante la transcripción, el ARN precursor se forma en el núcleo, pero no es funcional hasta que los intrones son eliminados y los exones se empalman en el orden correcto. Este mecanismo involucra una compleja maquinaria molecular llamada espliceosoma, compuesta por múltiples proteínas y ARN.

Más adelante, se descubrió el splicing alternativo, un proceso que permite la generación de diferentes ARNm a partir de un mismo gen, aumentando la diversidad proteica. Este fenómeno está regulado por elementos potenciadores y silenciadores de splicing, secuencias específicas que interactúan con proteínas reguladoras para influir en la inclusión o exclusión de exones.

Oligonucleótidos antisentido y su aplicación terapéutica

Krainer también ha trabajado en el diseño y aplicación de oligonucleótidos antisentido (ASOs, por sus siglas en inglés), pequeñas moléculas de ácidos nucleicos que pueden modificar el splicing. Los ASOs son altamente específicos y pueden unirse a secuencias complementarias del ARN para influir en su procesamiento. Modificaciones químicas en

los ASOs mejoran su estabilidad, reducen su degradación y minimizan las respuestas inmunitarias, lo que los convierte en herramientas eficaces para aplicaciones terapéuticas.

Avances en el tratamiento de la atrofia muscular espinal (AME)

La AME es una enfermedad neurológica hereditaria que afecta a las motoneuronas, causando debilidad muscular progresiva. Es causada por mutaciones en el gen SMN1, responsable de producir la proteína SMN. Aunque los pacientes con AME carecen de una copia funcional de SMN1, poseen copias del gen SMN2, que produce una forma ineficiente de la proteína debido a un patrón defectuoso de splicing del exón 7.

El trabajo de Krainer se centró en corregir este defecto. Su equipo descubrió que el cambio de una base en el exón 7 del ARN de SMN2 afecta la unión de proteínas activadoras de splicing, favoreciendo la exclusión del exón 7. Al diseñar ASOs que bloquean sitios de unión de represores, lograron aumentar la inclusión del exón 7 en SMN2, restaurando parcialmente la producción de la proteína SMN.

Desarrollo de Nusinersen

En colaboración con la industria farmacéutica, Krainer desarrolló el ASO conocido como *Nusinersen*. Este fármaco se administra por vía intratecal, permitiendo su llegada directa al sistema nervioso central. En modelos animales, se demostró que *Nusinersen* es altamente efectivo, aumentando significativamente la expresión de la proteína SMN y mejorando la supervivencia y la función motora de ratones con AME.

Los estudios clínicos en humanos confirmaron la seguridad y eficacia de *Nusinersen*. Los ensayos de fase 3 mostraron mejoras sustanciales en la función motora y la supervivencia de pacientes con AME tipo 1, la forma más grave de la enfermedad. Como resultado, en 2016, la FDA aprobó *Nusinersen* como el primer tratamiento para la AME, marcando un hito en la medicina de precisión.

Impacto y perspectivas futuras

El trabajo de Krainer no solo ha transformado la comprensión del splicing del ARN, sino que también ha demostrado cómo la investigación básica puede conducir a innovaciones terapéuticas con impacto clínico significativo. Su enfoque en la AME ha sentado las bases para el desarrollo de terapias similares para otras enfermedades genéticas causadas por defectos en el splicing.

El éxito de *Nusinersen* ilustra el potencial de los ASOs en la medicina moderna. Estos avances continúan inspirando investigaciones sobre nuevas estrategias terapéuticas para trastornos genéticos, ampliando las posibilidades de tratamiento personalizado y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

2. Nuevos desembarcos del laboratorio en clínica.

Francisco R. M. Laurindo, MD, PhD, director del Laboratorio de Biología Vascular del Instituto del Corazón, Universidad de São Paulo, Brasil, abordó la importancia de las ciencias básicas en el desarrollo de tratamientos clínicos, destacando cómo la investigación es clave para la innovación médica. Las ciencias básicas permiten comprender los mecanismos de las enfermedades y desarrollar soluciones terapéuticas efectivas, lo que impulsa el progreso en la atención sanitaria. Las disciplinas como la

epidemiología, la ciencia de los datos, la biología de sistemas y la fisiología juegan un papel fundamental en la identificación de objetivos terapéuticos. Estos conocimientos permiten desarrollar estudios clínicos y, eventualmente, nuevas terapias y procedimientos que pueden ser implementados en la práctica médica.

La investigación médica puede estar impulsada por la curiosidad o por una misión específica. Las agencias de financiación a menudo debaten si es mejor permitir que los investigadores elijan libremente sus líneas de estudio o dirigir sus esfuerzos hacia áreas de interés prioritario. La pandemia de COVID-19 es un claro ejemplo de investigación orientada a una misión: fue necesario desarrollar vacunas y tratamientos de manera rápida y eficaz. Sin embargo, la investigación basada en la curiosidad también es esencial, ya que permite explorar nuevas alternativas y comprender mejor los mecanismos subyacentes de las enfermedades.

Un ejemplo de la relevancia de la ciencia impulsada por la curiosidad es el descubrimiento de los inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), utilizados en el tratamiento de la hipertensión y la insuficiencia cardíaca. Este hallazgo se originó a partir del estudio del investigador brasileño Sergio Ferreira de un veneno de serpiente, lo que demuestra cómo la investigación básica puede conducir a avances médicos revolucionarios. Otros ejemplos incluyen el descubrimiento de los rayos X y los avances en neurociencia, que han permitido mapear los circuitos cerebrales con gran precisión.

Tecnología y medicina del futuro.

El futuro de la medicina está íntimamente ligado a los avances tecnológicos y científicos, los cuales han permitido descubrimientos significativos en áreas como la neurociencia. Este campo, históricamente alejado de otras ciencias, está siendo revolucionado por herramientas como la genómica y las tecnologías ómicas, las cuales mejoran la predicción de enfermedades y permiten un diagnóstico más preciso. Uno de los enfoques más prometedores en la medicina moderna es el uso de biomarcadores en combinación con tecnologías avanzadas para evaluar riesgos clínicos. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que la combinación de biomarcadores genéticos y ómicos puede mejorar significativamente la predicción del riesgo vascular en enfermedades cardíacas. Esto ha llevado a un cambio en la forma en que se diagnostican y previenen estas enfermedades, permitiendo tratamientos más personalizados y efectivos.

No obstante, este proceso no es lineal ni simple; de hecho, se menciona al "valle de la muerte", un término utilizado en la industria farmacéutica para describir el punto crítico donde muchas ideas innovadoras fracasan antes de llegar a la aplicación clínica. Sin embargo, a pesar de estos avances, persiste un problema fundamental: aún no sabemos lo suficiente sobre muchas patologías y su tratamiento.

Bioética y tecnologías innovadoras en la medicina.

Las nuevas tecnologías han transformado la medicina, pero también han traído consigo dilemas éticos y problemas prácticos. Por ejemplo, la proliferación de tecnologías de diagnóstico avanzadas ha generado una sobre-intervención médica, aumentando costos innecesarios y confundiendo a médicos y pacientes sobre qué procedimientos son realmente necesarios. La fascinación por la tecnología puede llevar a una dependencia excesiva de herramientas diagnósticas en lugar de mejorar el juicio clínico y la toma de decisiones fundamentadas.

Los pacientes, por su parte, esperan que los avances tecnológicos se apliquen inmediatamente a su tratamiento, sin considerar los posibles riesgos. Esto plantea dilemas éticos sobre hasta qué punto la medicina debe extender la vida de los pacientes mayores cuando la calidad de vida no está garantizada. La educación médica debe incluir formación en bioética y en el uso racional de la tecnología para que los médicos puedan abordar estos desafíos de manera responsable.

Aunque la inteligencia artificial y la robótica ofrecen herramientas poderosas para mejorar el diagnóstico y el tratamiento, el verdadero progreso radica en comprender los procesos biológicos subyacentes. Es fundamental incentivar la curiosidad científica y fomentar una investigación que trascienda las guías clínicas establecidas, con el objetivo de mejorar continuamente la atención a los pacientes.

Estudio de los mecanismos

Un punto crucial es la necesidad de una mentalidad mecanicista en la medicina del futuro. La creciente complejidad del conocimiento médico requiere una comprensión profunda de los procesos biológicos y moleculares. Aunque la tecnología desempeña un papel fundamental, no puede sustituir el pensamiento crítico ni la comprensión detallada de los mecanismos fisiopatológicos. La medicina moderna se basa cada vez más en datos y modelos moleculares, lo que hace indispensable que los profesionales de la salud tengan un conocimiento sólido en estas áreas.

El ciclo de investigación en medicina es continuo: se identifican problemas clínicos, se desarrollan estudios en ciencias básicas, se realizan pruebas clínicas y, finalmente, se implementan nuevas terapias en la población. Sin embargo, este proceso también genera nuevas preguntas y desafíos, lo que perpetúa el ciclo de investigación. Es por esto que la investigación traslacional, que conecta la ciencia básica con la práctica clínica, es tan relevante.

En el Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos, se enfatiza la importancia de comprender los mecanismos fisiopatológicos de las enfermedades. Sus tres objetivos principales están relacionados con la investigación en salud y enfermedad, sin enfocarse en patologías específicas:

Meta 1: mejorar la comprensión de las bases moleculares y fisiológicas de la salud y la enfermedad, y usar ese conocimiento para desarrollar abordajes diagnósticos, preventivos y terapéuticos de las enfermedades

Meta 2: entender los mecanismos clínicos de las enfermedades.

Meta 3: mejorar la comprensión de los procesos involucrados en la traslación de la investigación a la práctica clínica.

Este enfoque refuerza la idea de que la ciencia básica es la clave para avanzar en la medicina, ya que, sin un conocimiento profundo de los mecanismos de la enfermedad, es imposible desarrollar tratamientos eficaces. Un problema recurrente en la transición de la ciencia básica a la práctica clínica es la aplicación prematura de tratamientos experimentales. Un ejemplo claro de esto es el uso de células madre en terapias clínicas antes de contar con evidencia suficiente sobre su seguridad y eficacia. En muchos casos, estas terapias fueron aplicadas sin estudios preclínicos rigurosos, lo que resultó en resultados no concluyentes o incluso perjudiciales para los pacientes. Para evitar estos

errores, es fundamental que las terapias pasen por estudios controlados y basados en evidencia antes de su implementación clínica.

Otro aspecto clave de la medicina moderna es la necesidad de un enfoque cuantitativo en la investigación biomédica. Muchas veces, los médicos están acostumbrados a razonar de manera cualitativa, pero comprender los mecanismos de las enfermedades requiere una base cuantitativa sólida. Por ejemplo, cuando se estudian proteínas de señalización celular, es importante considerar la concentración a la que actúan los medicamentos en comparación con los niveles fisiológicos de las moléculas involucradas. Si un fármaco se administra en concentraciones muy superiores a las de su diana molecular, puede generar efectos secundarios no deseados y alterar otros procesos biológicos.

En este sentido, los mecanismos biológicos no pueden dividirse simplemente en buenos o malos; su efecto depende del contexto en el que se encuentran. Un ejemplo claro de esto es el estrés oxidativo y la señalización redox. Tradicionalmente, se pensaba que el estrés oxidativo era perjudicial y que los antioxidantes podían proteger contra sus efectos dañinos. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que, en ciertos contextos, los antioxidantes pueden tener efectos adversos, como acelerar la progresión del cáncer o interferir en procesos celulares esenciales.

Un caso notable es el de la vitamina E, que en algunos estudios ha demostrado aumentar la progresión del cáncer de pulmón en modelos animales. Aunque estos efectos aún no están completamente caracterizados en humanos, el uso indiscriminado de antioxidantes podría tener consecuencias imprevistas. Esto subraya la importancia de un enfoque mecanicista en la investigación médica: en lugar de asumir que ciertos compuestos siempre tienen efectos beneficiosos, es crucial estudiar en qué contextos específicos pueden ser perjudiciales y buscar estrategias más dirigidas para modular sus efectos.

En respuesta a estas complejidades, los investigadores han desarrollado estrategias más precisas para abordar problemas como el estrés oxidativo. Un enfoque prometedor es la inhibición selectiva de las fuentes de especies reactivas de oxígeno (ROS) en lugar de su eliminación indiscriminada. Investigaciones recientes han identificado complejos proteicos específicos responsables de la producción patológica de ROS y han desarrollado inhibidores dirigidos contra estas enzimas, evitando así efectos no deseados en otras funciones celulares.

Un área de creciente interés en este campo es la señalización celular y la transducción de señales, donde los investigadores estudian cómo las células interpretan y responden a estímulos del entorno. Comprender estos procesos es fundamental para desarrollar nuevos fármacos y terapias dirigidas. Por ejemplo, algunos fármacos en desarrollo buscan modular la actividad de proteínas específicas involucradas en la progresión del cáncer, reduciendo así el crecimiento tumoral sin afectar otras funciones celulares esenciales.

Razonamiento científico

Sin embargo, estos avances también nos enfrentan a un problema fundamental en la ciencia: la forma en que razonamos y estructuramos nuestro conocimiento. A medida que desarrollamos herramientas más sofisticadas para analizar enfermedades, corremos el

riesgo de centrarnos exclusivamente en los datos obtenidos sin cuestionar los principios subyacentes que guían nuestra investigación. Como mencionó el físico teórico Werner Heisenberg, lo que observamos no es la naturaleza en sí misma, sino la respuesta de la naturaleza a nuestro método de cuestionamiento. Esto significa que la verdad científica no es absoluta, sino que está condicionada por la forma en que diseñamos nuestros estudios y las preguntas que hacemos.

Esta perspectiva tiene implicaciones importantes para la investigación biomédica. La excelencia en este campo no debe limitarse a la descripción de fenómenos, sino que debe centrarse en la búsqueda de mecanismos subyacentes. La capacidad de investigar a través de distintos niveles sistemáticos de regulación, desde el nivel molecular hasta el organismo completo, es clave para comprender verdaderamente las enfermedades. Esto requiere una educación médica que fomente el pensamiento mecanicista y el análisis crítico de los datos.

Complejidad biológica y necesidad de educación avanzada

La evolución de la medicina en el contexto de los avances mecanicistas y tecnológicos requiere un replanteamiento en la formación y educación de los futuros profesionales. Para enfrentar los desafíos actuales y futuros, es crucial remodelar la educación médica con un enfoque más estructurado en la complejidad biológica, el bienestar de los investigadores y médicos en formación, y la integración de nuevas tecnologías en la práctica clínica.

La educación médica debe evolucionar para preparar a los profesionales de la salud en este nuevo paradigma. Los estudiantes de medicina deben recibir formación en pensamiento crítico, análisis de datos y fundamentos de biología molecular y bioquímica. Solo así podrán integrar los avances científicos en su práctica clínica y contribuir al desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

Uno de los principales retos en la educación médica actual es la creciente complejidad de la biología y la medicina. Por ejemplo, la Enciclopedia de Genes y Genomas de Kyoto evidencia lo intrincado del mapa metabólico celular, la señalización y otras áreas clave de la biología.

Las tecnologías ómicas, la inteligencia artificial aplicada a la medicina y la integración de datos clínicos requieren una base de conocimiento que permita a los médicos interpretar y aplicar correctamente la información disponible. Sin una formación adecuada, los profesionales corren el riesgo de ser abrumados por la cantidad de información y no poder traducirla en mejores estrategias de diagnóstico y tratamiento.

La educación científica es clave para prevenir problemas derivados del exceso de tecnología y mejorar la capacidad de los médicos para interpretar la evidencia de manera objetiva. El proceso de formación en metodología científica para estudiantes de medicina incluye dos cursos: uno al final del tercer año y otro al finalizar el sexto, seguido de un año de pasantía. En la primera etapa, los estudiantes adquieren conocimientos sobre estadística, efectos metodológicos y revisión de estudios, aprendiendo a interpretar datos y realizar inferencias estadísticas. También se abordan cuestiones biométricas fundamentales y el análisis crítico de la literatura científica. Esta formación temprana fortalece una mentalidad científica, ayudando a evitar problemas derivados del uso excesivo de la tecnología.

En el nivel avanzado, hacia el sexto año, el contenido se vuelve más complejo, incluyendo introducción a la investigación y redacción científica. A través de ejercicios prácticos, redacción de ensayos y debates éticos, los estudiantes desarrollan habilidades para el pensamiento crítico y la toma de decisiones basadas en evidencia.

Este enfoque no solo mejora las habilidades de los médicos en formación, sino que también permite a los profesionales tomar mejores decisiones, aplicar el pensamiento científico a su práctica y contribuir al desarrollo del conocimiento médico. Aunque existen iniciativas similares en otras universidades, muchas no cuentan con la misma estructura sistemática, lo que resalta la importancia de evaluar los resultados de estos programas.

Estrategias educativas innovadoras

Para mejorar la formación médica, es fundamental adoptar estrategias educativas innovadoras. Un ejemplo es el programa de doctorado directo en Los Ángeles, que permite a los estudiantes obtener su título en 3 a 3,5 años, con la opción de interrumpir la formación por hasta 12 meses para capacitación adicional. Este programa busca apoyar a estudiantes con alto potencial académico en diversas áreas del conocimiento, desde medicina clínica hasta investigación de laboratorio.

Otro ejemplo es el curso de metodología científica para estudiantes de medicina en Uruguay, que ha sido implementado con éxito en la última década. Este programa expone a los estudiantes a la estadística biomédica, métodos de investigación y redacción científica, con el objetivo de desarrollar una mentalidad científica y mejorar su capacidad para interpretar estudios clínicos y aplicar la evidencia en la práctica médica.

Evaluación de resultados educativos

La educación médica enfrenta el desafío de medir su impacto. Muchas iniciativas excelentes no logran cuantificar sus resultados, lo que dificulta su mejora y sostenibilidad a largo plazo. Por ello, se destaca la importancia de diseñar estrategias para evaluar y medir los efectos de la educación en los estudiantes y su aplicación en la práctica médica.

Además, la ciencia de la implementación es un área clave en la educación médica. Saber cómo transformar el conocimiento en acción es crucial para mejorar la práctica clínica. Por ejemplo, durante la pandemia de COVID-19, se demostró que, aunque se sabía que las vacunas eran efectivas, muchas personas no las aceptaron. La investigación en implementación puede ayudar a desarrollar estrategias para mejorar la adherencia a tratamientos y la aplicación de nuevas tecnologías médicas.

Integración de ciencias sociales y humanidades en la educación médica

La medicina no solo se basa en la biología y la tecnología, sino también en factores humanos, sociales y culturales. La integración de disciplinas como la sociología, la antropología y la ciencia de datos en la educación médica puede mejorar la comprensión de los determinantes sociales de la salud y ayudar a los médicos a abordar problemas desde una perspectiva más amplia.

Las ciencias sociales pueden aportar valiosos conocimientos sobre cómo las personas toman decisiones de salud, cómo las desigualdades afectan el acceso a la atención médica y cómo las políticas de salud pueden ser más efectivas. La educación médica debe

fomentar una formación interdisciplinaria que prepare a los profesionales para enfrentar estos desafíos con una visión más holística.

Finalmente, la integración de las ciencias sociales en la educación médica permitirá a los profesionales abordar la medicina desde una perspectiva más completa, considerando los factores biológicos, tecnológicos y humanos. Con una educación orientada a la ciencia y basada en evidencia, la medicina puede avanzar de manera ética y efectiva para mejorar la atención de los pacientes en el futuro

Bienestar de los investigadores y médicos en formación

Otro desafío importante es el bienestar de los residentes y posdoctorados, quienes enfrentan una gran presión mental, ambiental y social. Se encuentran en una etapa crítica de sus vidas y carreras, lo que afecta su rendimiento y salud mental. Si queremos que sean buenos profesionales y que algunos de ellos sigan una carrera académica, es fundamental abordar sus problemas y mejorar su calidad de vida durante la formación.

El agotamiento y el estrés pueden reducir la capacidad de los médicos para tomar decisiones acertadas, afectando la seguridad del paciente y la calidad del tratamiento. Por ello, es crucial implementar programas de apoyo psicológico, mentoría y balance entre vida personal y laboral. La educación médica debe evolucionar para incluir estrategias de manejo del estrés, resiliencia y bienestar general.

En conclusión, aún queda mucho por mejorar en la educación médica. Es necesario fortalecer la difusión de la cultura científica, fomentar una mentalidad mecanicista para la excelencia en la práctica médica y centrarse en la implementación efectiva del conocimiento. La ciencia de la educación y la implementación serán clave para enfrentar los retos del futuro y garantizar que los avances médicos se traduzcan en beneficios reales para la sociedad.

Características de la medicina del futuro

La medicina moderna, en este contexto, se puede definir por cuatro características clave: predictiva, personalizada, multidisciplinaria y basada en mecanismos.

- *Medicina predictiva:* Gracias a los avances en genómica y biomarcadores, es posible anticipar la progresión de enfermedades y diseñar estrategias de prevención antes de que los síntomas se manifiesten. Por ejemplo, la identificación de variantes genéticas asociadas a enfermedades cardiovasculares permite a los médicos tomar medidas preventivas en pacientes de alto riesgo.
- *Medicina personalizada:* La farmacogenética permite adaptar los tratamientos a las características genéticas de cada paciente, optimizando su eficacia y minimizando efectos adversos. En el futuro, este enfoque podría extenderse a muchas otras áreas de la medicina, desde la oncología hasta la psiquiatría.
- *Medicina multidisciplinaria:* La investigación biomédica y la práctica clínica requieren la colaboración de expertos en diversas áreas, desde bioquímicos y genetistas hasta ingenieros en inteligencia artificial. Esta integración de conocimientos permite desarrollar enfoques más efectivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.
- *Medicina basada en mecanismos:* En lugar de centrarse únicamente en la observación de síntomas y respuestas a tratamientos, la medicina moderna debe

profundizar en los mecanismos subyacentes de las enfermedades. Esto implica estudiar cómo interactúan los distintos niveles de regulación biológica y diseñar terapias que aborden directamente las causas de las patologías.

En conclusión, el futuro de la medicina depende de la combinación de investigación básica, tecnología avanzada y una educación orientada al razonamiento mecanicista. La búsqueda de mecanismos subyacentes en las enfermedades es esencial para desarrollar nuevas terapias y mejorar la atención sanitaria. A medida que la medicina avanza, es crucial adoptar un enfoque que combine la predicción, la personalización, la multidisciplinariedad y el análisis mecanicista para garantizar que los tratamientos sean cada vez más efectivos y seguros.

3. Bioimpresión con células humanas de estructuras anatómicas

Adrian Díaz Nocera, quien es biotecnólogo, docente en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, y CEO de Life SI, empresa pionera en impresión 3D aplicada a la biotecnología, se refirió a la bioimpresión de tejidos.

La bioimpresión 3D permite generar estructuras tridimensionales con células o materiales biológicos, a diferencia de la impresión 3D convencional que usa plásticos. La clave está en utilizar materiales biocompatibles como colágeno y gelatina, que imitan la matriz extracelular del tejido. Esta tecnología tiene aplicaciones en medicina personalizada, ya que permite crear modelos anatómicos específicos para cada paciente a partir de imágenes médicas.

El proceso incluye la obtención de imágenes médicas, la segmentación digital del tejido de interés, la conversión en un modelo 3D y su impresión. Se pueden generar biomodelos anatómicos para simulación quirúrgica o estructuras celulares impresas con células del paciente. La tecnología busca desarrollar órganos funcionales para trasplantes y mejorar estudios preclínicos mediante modelos tridimensionales que repliquen patologías específicas sin recurrir a modelos animales.

Uno de los principales desafíos es la vascularización del tejido bioimpreso, ya que sin vasos sanguíneos no es viable a largo plazo. Se exploran estrategias como la implantación de estructuras bajo la piel para inducir la formación de vasos o el uso de factores de crecimiento. También se trabaja en la combinación con tecnologías como microfluídica y órganos en chip, que permiten estudiar la respuesta de tejidos a fármacos en condiciones controladas.

En cuanto a la regulación, aún no existen normativas específicas para la bioimpresión en Argentina. Se han formado consorcios entre agencias como el INCUCAI y la ANMAT para regular dispositivos médicos y terapias avanzadas. Mientras la tecnología avanza, se buscan estrategias para asegurar su implementación segura en el ámbito clínico.

El futuro de la bioimpresión 3D incluye la mejora en la resolución de impresión, la escalabilidad de los procesos y la integración con inteligencia artificial para optimizar diseños y pruebas. También se exploran aplicaciones en la fabricación de medicamentos personalizados mediante impresión 3D de fármacos.

En conclusión, la bioimpresión 3D representa una revolución en la ingeniería de tejidos, con aplicaciones en la medicina personalizada y el desarrollo de terapias innovadoras. Aún enfrenta desafíos técnicos y regulatorios, pero su potencial es enorme para el futuro de la salud.

Las nuevas tecnologías avanzan rápidamente, y es fundamental evaluar su impacto en la sociedad. Para ello, realizamos reuniones con comités de ética abiertas al público, con el objetivo de comprender la percepción de la gente y evitar aplicaciones inadecuadas o riesgos potenciales. Uno de los temas recurrentes en estos encuentros es la accesibilidad a la tecnología y sus resultados.

Nuestra empresa se asemeja más a un instituto de investigación que a una compañía tradicional. Basamos nuestro trabajo en tres pilares fundamentales: desarrollo tecnológico, investigación y desarrollo, y capacitación.

En el primer pilar, nos enfocamos en la fabricación de bioimpresoras 3D, nuestro principal producto en el mercado.

En el área de investigación y desarrollo, contamos con laboratorios donde aplicamos esta tecnología, incluyendo una plataforma de predicción de resultados para nuevos medicamentos y un modelo de epidermis humana para el testeo de cosméticos. Si todo avanza según lo planeado, antes de fin de año lanzaremos oficialmente esta iniciativa.

El tercer pilar, la docencia, es algo que nos apasiona. Organizamos seminarios gratuitos dirigidos a institutos de investigación y el ámbito académico en general. Estos encuentros no solo difunden conocimientos, sino que también generan aplicaciones innovadoras de la tecnología. Además, impartimos cursos de bioimpresión 3D, en los que enseñamos desde el diseño básico en 3D hasta la preparación de biomateriales y el uso de la bioimpresora. Próximamente, retomaremos los cursos presenciales, cuyas fechas se publicarán en nuestra página web.

En el ámbito de la medicina, la regulación de las nuevas tecnologías es un tema crucial. Las terapias avanzadas, como la terapia celular, la bioingeniería de tejidos y la terapia génica, han generado debates sobre su categorización y regulación. En algunos países, como en la Unión Europea, estas terapias son consideradas medicamentos y están reguladas como tales. En otros lugares, como Argentina, existe una disputa entre la industria farmacéutica y los bancos de órganos y tejidos respecto a su clasificación y control.

El alto costo de estos tratamientos representa un desafío para los sistemas de salud, especialmente en Latinoamérica. Un ejemplo es el tratamiento con linfocitos CAR-T, que en la industria farmacéutica puede costar hasta 450,000 euros. En España, se ha desarrollado un modelo de producción académica dentro de hospitales, lo que permite reducir significativamente los costos. Este enfoque podría ser replicado en nuestra región. Otro problema es el comercio de terapias no reguladas, como ocurre con las células madre, que en algunos países se venden sin pruebas científicas que respalden su eficacia. Muchas personas gastan grandes sumas en tratamientos sin validación médica, lo que evidencia la necesidad de regulaciones estrictas.

Desde nuestra área de terapia celular y medicina regenerativa, trabajamos para desarrollar este campo en nuestro país. Colaboramos con diversos departamentos académicos y organismos estatales, participamos en programas de investigación y formación, y buscamos establecer normativas claras que permitan un acceso seguro y equitativo a estas

tecnologías. La bioimpresión 3D y la ingeniería de tejidos juegan un papel clave en el futuro de la medicina regenerativa, y nuestro compromiso es seguir investigando y formando profesionales para potenciar su desarrollo.

4. Desarrollo de fármacos en Uruguay

Carlos Batthyány, MD, PhD, director ejecutivo del Instituto Pasteur de Montevideo, Uruguay, expuso sobre los avances biotecnológicos en tratamientos médicos, especialmente en oncología y obesidad. Enfatizó la brecha entre los avances en países desarrollados y su lenta adopción en la región. La conferencia subrayó la importancia de seguir explorando nuevos enfoques en la medicina del futuro, como la combinación de terapias virales, el uso de ARN como biomarcador y el papel de la biopsia líquida en el diagnóstico y monitoreo de enfermedades. Todo esto refuerza la necesidad de invertir en investigación y tecnología para mejorar la salud y la calidad de vida de las personas.

Se centró en el desarrollo de un fármaco para prevenir y tratar la obesidad y sus complicaciones metabólicas y cardiovasculares. El fármaco en cuestión es una modificación del salicilato, precursor de la aspirina, que se utilizó en EE.UU. para tratar la diabetes tipo 2 con resultados prometedores, pero la necesidad de dosis elevadas hizo inviable su uso. El equipo investigador mejoró su acción antiinflamatoria sin inhibir la ciclooxigenasa, aumentando su efectividad a dosis más bajas. Se descubrió que el fármaco no actuaba directamente como antiinflamatorio, sino que inducía la conversión de grasa en calor mediante un nuevo mecanismo en la grasa visceral, lo que resultó en una reducción significativa de peso y mejoras metabólicas.

El estudio clínico del fármaco comenzó en Australia en fase 1, evaluando seguridad y dosis en voluntarios sanos, seguido por ensayos en pacientes con obesidad y sobrepeso. Se buscan biomarcadores de mejoría metabólica, incluyendo glucosa en ayuno y hemoglobina glicosilada. Si los ensayos siguen exitosamente, se espera que el medicamento se convierta en una opción viable en el futuro.

Se destaca el impacto de la obesidad como enfermedad crónica y su rol en problemas cardiovasculares, mencionando la necesidad de tratamientos efectivos. Compara el desarrollo de fármacos para la obesidad con los avances en hipertensión y enfermedades cardiovasculares, resaltando la tardanza en encontrar soluciones farmacológicas eficaces para la obesidad. Los medicamentos actuales, basados en el péptido similar al glucagón, muestran eficacia, pero también efectos secundarios, por lo que se buscan nuevas opciones con diferentes mecanismos de acción.

Otro proyecto relevante es el uso de ARN libre en sangre para diagnóstico precoz de enfermedades. Se estudia cómo aprovechar estos biomarcadores para identificar patologías en etapas tempranas. Un desafío es la inestabilidad del ARN libre en el torrente sanguíneo, pero con avances en biotecnología, se busca superar esta limitación para mejorar el diagnóstico temprano de múltiples enfermedades, incluido el cáncer.

En el año 2001, el uso de ARN libre como biomarcador para el diagnóstico de infartos de miocardio fracasó debido a su rápida degradación en ausencia de membranas protectoras. Sin embargo, Juan Pablo Tosar, en Uruguay, tenía la visión de utilizar una simple muestra de sangre para diagnosticar precozmente el cáncer y otras enfermedades mediante el

análisis de estas moléculas inestables. Para ello, desarrolló una tecnología innovadora basada en dos observaciones clave: la mayoría de los ARN extracelulares en la sangre estaban fragmentados y no podían ser secuenciados directamente, y la cantidad de ARN circulante en la sangre era sorprendentemente alta.

Tosar y su equipo descubrieron que estos ARN fragmentados eran en realidad estables y los denominaron "ARN protegidos" (RNA shielded). Posteriormente, lograron reparar en el laboratorio estos fragmentos, permitiendo la lectura completa del mensaje genético. Este avance se asemeja a reconstruir una página hoja rota para poder leer el texto completo. Esta tecnología fue recientemente publicada en la prestigiosa revista *Nature Protocols* y patentada en Estados Unidos. El método desarrollado permite reparar ARN dañados y utilizarlos para la detección de enfermedades.

Comparado con las biopsias líquidas basadas en ADN, esta técnica ofrece ventajas significativas. Mientras que el ADN requiere la secuenciación de millones de pares de bases para detectar mutaciones específicas, el ARN refleja el perfil metabólico y celular de cada tejido en tiempo real. Por ejemplo, las células tumorales secretan ARN con un patrón único, distinto al de células normales, lo que permite una detección más precisa y temprana de enfermedades. Este descubrimiento ha posicionado a Tosar en el ámbito internacional de la investigación en ARN, un campo donde se encuentran científicos de primer nivel, incluyendo los creadores de las vacunas de ARN mensajero. Su trabajo demuestra que desde Uruguay es posible alcanzar logros científicos de gran impacto global. Cuando presentó sus hallazgos en un pequeño grupo de trabajo, la primera reacción de un investigador de Johns Hopkins fue preguntar si ya había patentado su descubrimiento. Esto resalta la relevancia de su trabajo y el impacto que podría tener. Además, la aplicación de inteligencia artificial permitirá analizar grandes volúmenes de datos y mejorar la detección y clasificación de enfermedades.

Otro proyecto importante en el Instituto Pasteur involucra el desarrollo de virus oncolíticos para el tratamiento del cáncer. Estos virus tienen la capacidad de atacar células tumorales sin afectar células normales. Mediante ingeniería genética, se pueden modificar para mejorar su especificidad y reducir efectos adversos. En pruebas in vitro y en animales, los virus muestran eficacia en la destrucción de células cancerosas sin toxicidad significativa en células sanas. Un punto clave es la seguridad de estos virus en estudios preclínicos, destacando su ventaja regulatoria por ser virus de ARN en lugar de ADN, evitando modificaciones permanentes en el genoma del paciente. Se menciona la diferencia con tratamientos aprobados en EE.UU. y China que utilizan virus de ADN, los cuales enfrentan mayores restricciones regulatorias.

Un ejemplo de virus oncolítico aprobado para uso clínico es la vacuna T-VEC, derivada del virus del herpes, utilizada en el tratamiento del melanoma. Estos virus pueden potenciar la quimioterapia, la radioterapia y la inmunoterapia, activando el sistema inmune contra las células tumorales. Aunque en general son bien tolerados, pueden existir respuestas antivirales naturales que reduzcan su efectividad, lo que ha llevado a la búsqueda de virus con menor riesgo de neutralización por el sistema inmune.

En cuanto a la biopsia líquida, aunque se ha intentado desarrollar durante más de 30 años, solo recientemente se ha logrado su implementación eficaz gracias a los avances

tecnológicos. Inicialmente, se intentó aislar células tumorales circulantes, pero sin éxito. Luego, con la posibilidad de analizar ADN plasmático en sangre, se pudo detectar mutaciones y personalizar tratamientos para pacientes oncológicos.

En el campo de la hematología, la biopsia líquida está cobrando importancia, particularmente en linfomas del sistema nervioso central, donde se dificulta el acceso a biopsias convencionales. Ensayos clínicos en curso buscan evaluar su utilidad en la predicción de sobrevida en pacientes con linfomas difusos de células grandes B, utilizando análisis de ADN y ARN. Esta tecnología podría ofrecer una alternativa más accesible y económica en comparación con métodos actuales.

Este tipo de investigaciones no solo tienen aplicaciones oncológicas, sino que podrían extenderse a enfermedades neurodegenerativas. Existen iniciativas en Uruguay que buscan integrar compañías de base científico-tecnológica con financiamiento privado, lo cual representa un cambio de paradigma. Aunque a menudo se teme que el capital privado condicione la ciencia, en la práctica ha resultado ser un impulsor positivo, complementando el trabajo académico y permitiendo la consolidación de avances tecnológicos.

Además de la biología molecular, en la conferencia se hizo referencia al “Harvard Study of Adult Development”, un proyecto iniciado en 1938, que ha seguido la vida de cientos de personas durante décadas para determinar qué factores contribuyen a una vida saludable y plena. Este estudio concluyó que la calidad de las relaciones humanas es el predictor más importante de salud y felicidad en la vejez, incluso más que la genética o la clase social. Las relaciones fuertes no solo aumentan la satisfacción en la vida, sino que también retrasan el deterioro mental y físico. Inicialmente solo incluyó varones, pero luego se amplió para incorporar mujeres y personas de diferentes grupos socioeconómicos. Con el tiempo, se demostró que las relaciones humanas saludables y el apoyo social tienen un impacto significativo en la longevidad y la calidad de vida. Este hallazgo ha sido confirmado por otros estudios y ha influido en la manera en que entendemos la importancia del bienestar emocional.

Otro aspecto relevante en la medicina del futuro es la relación médico-paciente. A pesar de los avances tecnológicos, la empatía y el trato humano siguen siendo elementos fundamentales. Estudios recientes han mostrado que la inteligencia artificial puede ofrecer respuestas médicas percibidas como más satisfactorias que las de los médicos humanos, debido a su tono amable y empático. Sin embargo, el rol del profesional de la salud sigue siendo irremplazable en términos de conexión emocional y apoyo a los pacientes.

Finalmente, se resalta la importancia de la colaboración entre instituciones científicas y empresas para impulsar la innovación en biotecnología en la región. Se menciona un fondo de inversión de 25 millones de dólares para transformar proyectos científicos en empresas con impacto global. Se enfatiza que pequeñas modificaciones en la inversión y gobernanza pueden generar grandes avances en la ciencia y la salud.

El mensaje central de su charla fue la necesidad de aplicar la ciencia de alta calidad en la mejora de la vida humana, promoviendo la innovación, el desarrollo tecnológico y la internacionalización de la investigación biomédica. La integración entre la academia y la

industria es clave para posicionar a Uruguay en la vanguardia de la biotecnología y la medicina del futuro. Uruguay enfrenta el desafío de formar profesionales que no solo dominen la tecnología, sino que también cultiven la empatía y el respeto en la práctica médica. Desde la educación universitaria, es crucial inculcar estos valores, pues el paciente no solo busca respuestas clínicas, sino también un trato digno y humano. Finalmente, la medicina del futuro no debe basarse únicamente en predicciones tecnológicas, sino en la capacidad de integrar el conocimiento con el factor humano para ofrecer una atención de calidad y accesible a todos.

6. Inteligencia artificial en la medicina del futuro

Pablo Muse, Ingeniero, PhD, docente de la Facultad de Ingeniería, Ude laR, Montevideo Uruguay, presentó el uso de la Inteligencia Artificial (IA) en medicina.

La IA es un campo multidisciplinario que trata de crear máquinas capaces de realizar tareas que normalmente requieren de la inteligencia humana, como percibir, razonar y actuar. Un punto clave es la capacidad de aprender de las experiencias, similar a los seres vivos. La IA está integrada por sistemas que incluyen circuitos electrónicos y programas informáticos muy sofisticados, los cuales se benefician de la gran capacidad de almacenamiento, velocidad de cálculo y habilidades para aprender de grandes cantidades de datos.

Dentro de la IA, el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) es un subcampo que se enfoca en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender sin ser programadas explícitamente. El aprendizaje profundo (Deep Learning) es una rama más avanzada del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales profundas para manejar tareas complejas y aprender de grandes volúmenes de datos.

Se presentan tres tipos de aprendizaje automático:

- *Aprendizaje Supervisado*: Se basa en el uso de datos etiquetados, donde cada entrada tiene una salida conocida, como en la clasificación de imágenes o en la regresión de datos (predecir valores numéricos). Un desafío importante en este tipo de aprendizaje es la capacidad de generalizar correctamente para datos que nunca se han visto antes.
- *Aprendizaje No Supervisado*: Se utiliza cuando los datos no están etiquetados, y el objetivo es descubrir patrones o estructuras en los datos. Un ejemplo clásico es el agrupamiento, en el que se buscan grupos de datos similares sin etiquetas predefinidas.
- *Modelos Generativos*: Son aquellos que aprenden la distribución de probabilidad de los datos y permiten generar muestras sintéticas que son similares a los datos reales, lo que es útil especialmente cuando los datos reales son escasos.

El aprendizaje generativo se ha vuelto especialmente relevante en la creación de imágenes realistas, como en el caso de sistemas como DALL-E o Stable Diffusion, que pueden generar imágenes de alta calidad basadas en descripciones textuales.

Se trazó un recorrido histórico de la IA, desde las primeras teorías propuestas en la década de 1940 hasta los avances actuales. Destaca cómo la investigación se ha basado en principios de biología, cibernética y otros campos para desarrollar modelos de neuronas artificiales. A lo largo de las décadas, los avances en el procesamiento de datos y la

potencia de cálculo (como los procesadores gráficos GPU) han permitido que los modelos de IA sean cada vez más complejos y efectivos.

En particular, se menciona el desarrollo de redes neuronales convolucionales (CNN), que han revolucionado el campo de la visión por computadora, permitiendo a las máquinas reconocer y clasificar imágenes con una precisión impresionante. Estos avances se han visto impulsados por la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y la mejora en los algoritmos, que han permitido entrenar modelos con muchas más capas de procesamiento.

La IA, especialmente mediante el aprendizaje profundo, ha comenzado a transformar la práctica médica, desde la detección de enfermedades mediante imágenes médicas hasta la mejora de los diagnósticos. Los algoritmos de clasificación y regresión se utilizan para interpretar datos de pacientes, como imágenes de resonancias magnéticas o radiografías, lo que permite detectar patrones y anomalías que podrían pasar desapercibidos por los médicos. Los modelos generativos también pueden contribuir al diseño de nuevos tratamientos o en la simulación de escenarios clínicos complejos.

La IA es una herramienta poderosa que está comenzando a jugar un papel crucial en la medicina moderna. La combinación de grandes cantidades de datos, avances en la potencia de cálculo y el desarrollo de modelos matemáticos avanzados ha permitido que la IA realice tareas complejas que antes solo podían ser realizadas por humanos. La interacción entre la inteligencia artificial y la medicina promete mejorar la precisión de los diagnósticos y transformar la forma en que se practican los tratamientos médicos.

La red neuronal en el procesamiento de imágenes sigue una estructura jerárquica de análisis. A medida que las imágenes pasan por las capas, lo primero que se detectan son los bordes. Luego, las redes neuronales identifican patrones más complejos, como formas o estructuras. Finalmente, en las capas más profundas, la red es capaz de identificar objetos específicos, transformando las imágenes en una representación abstracta que se vuelve "linealmente separable". Esto significa que la red puede separar clases de imágenes que antes estaban muy mezcladas en el espacio original.

Este proceso de aprendizaje es lo que permite que las redes neuronales, a través de sus múltiples capas, sean capaces de identificar con precisión objetos o características complejas, como lo ilustra el ejemplo de reconocer un automóvil en una imagen. Este principio básico de las redes neuronales también se aplica en áreas como la medicina, particularmente en el análisis de imágenes médicas.

Un ejemplo de la aplicación de aprendizaje automático en el campo médico es el uso de redes neuronales para diagnosticar patologías a partir de imágenes, como las de dermatología. En 2011, un equipo de trabajo interdisciplinario en Uruguay desarrolló un sistema de visión computarizada que ayudaba a clasificar lesiones cutáneas utilizando imágenes de dermatoscopia. El sistema segmenta la lesión, analiza sus características y las clasifica en tres categorías: maligna, benigna o dudosa. Esto se logra entrenando redes neuronales con un conjunto de imágenes etiquetadas y el sistema puede asistir a los médicos en la toma de decisiones, sin reemplazarlos, sino complementando su diagnóstico.

Otro campo relevante es la neurología, donde se ha incrementado la investigación sobre la inestabilidad postural, especialmente en adultos mayores. Las caídas son una causa significativa de morbilidad, y la capacidad para predecir y prevenir caídas es crucial. En un proyecto en Uruguay, se diseñó un sensor de tres ejes para evaluar la estabilidad de las personas. El sensor recopila datos en tiempo real y los analiza mediante algoritmos,

transformando estos datos en imágenes que representan la potencia de las señales en distintas frecuencias. A través de este análisis, es posible identificar patrones que indican inestabilidad y diferenciar a personas en riesgo de caídas. Para mejorar la precisión del sistema, es necesario contar con una gran cantidad de datos, lo que resalta la importancia de la recopilación masiva de información, o Big Data.

Además de la medicina clínica, el aprendizaje automático y las redes neuronales se aplican en otras áreas como la microscopía y la biología. Por ejemplo, en investigaciones sobre esclerosis lateral amiotrófica y otras enfermedades neurodegenerativas, las redes neuronales se utilizan para analizar imágenes de fluorescencia y estudiar las redes mitocondriales en monocitos sanguíneos. Dado que los datos son limitados, los investigadores han recurrido a métodos de aumento de datos mediante la generación de imágenes sintéticas, lo que ayuda a entrenar los modelos de clasificación.

En otras áreas médicas, como la infertilidad masculina, también se utilizan sistemas de aprendizaje automático para analizar videos de espermatozoides y clasificar su motilidad, un factor clave en la fertilización. Los sistemas de clustering sin supervisión permiten agrupar los espermatozoides en categorías basadas en su movimiento, lo que ayuda a evaluar su capacidad de fertilización.

Finalmente, la visión por computadora también se aplica en áreas no médicas como la agricultura. Por ejemplo, en la industria cárnica, se utilizan imágenes de ultrasonido para medir la calidad de la carne, específicamente la cantidad de grasa intramuscular. La segmentación de imágenes y la medición de estos parámetros pueden ayudar a mejorar la calidad del producto y decidir en qué mercados se puede comercializar.

En resumen, el uso de redes neuronales y aprendizaje automático ha permitido grandes avances en el análisis y diagnóstico médico, así como en otras disciplinas. A medida que se recopilan más datos y se desarrollan mejores algoritmos, estas tecnologías se están convirtiendo en herramientas esenciales para la toma de decisiones y el desarrollo de soluciones en campos tan diversos como la salud, la agricultura y la biología.

El Académico **Hamlet Suárez**, Otoneurólogo, Montevideo, Uruguay, expuso sobre la aplicación del aprendizaje automático en la medicina.

En los últimos años, el aprendizaje automático ha experimentado un crecimiento exponencial en las ciencias médicas. PubMed muestra un aumento significativo en los estudios relacionados con Machine Learning y Deep Learning, con aproximadamente 12,000 publicaciones en 2019. Los campos con mayor desarrollo incluyen la patología, la radiología y la cirugía. Además, la FDA ha aprobado 23 dispositivos médicos que incorporan aprendizaje automático, predominantemente en radiología, seguidos por aplicaciones en neurología y cardiología. Grandes empresas como General Electric y Philips han liderado este desarrollo.

En Uruguay, se han desarrollado diversas aplicaciones de aprendizaje automático en el campo médico. Un enfoque particular ha sido la neurología, especialmente en la evaluación de la inestabilidad y las caídas en adultos mayores. Con el aumento de la expectativa de vida, las caídas se han convertido en un problema significativo, con graves consecuencias en la calidad de vida y altos costos en salud. En países con registros adecuados, se estima que un millón de personas mueren anualmente por caídas, con costos que alcanzan los 50 mil millones de dólares en sistemas de salud como Medicare. En España, entre 2011 y 2020, los accidentes por caídas en poblaciones mayores se triplicaron.

El problema de la inestabilidad es multifactorial, ya que puede deberse a alteraciones en los receptores visuales, vestibulares, propioceptivos o en la ejecución motora. Para abordar este problema, en Uruguay se han desarrollado sensores de tres ejes que se colocan en la cintura para registrar el movimiento. Estos sensores generan datos crudos que luego se analizan con transformaciones matemáticas como la transformada de wavelet, lo que permite convertirlos en imágenes representativas de la potencia de la señal en diferentes frecuencias. Esto permite identificar patrones de inestabilidad en la marcha y en giros.

Además, se han comparado estas técnicas con test clínicos tradicionales para evaluar la inestabilidad en ambientes controlados y en la vida diaria. Uno de los desafíos en Uruguay es la disponibilidad de datos suficientes para entrenar modelos robustos, lo que ha llevado a colaboraciones con otros grupos de investigación. Se han tomado muestras de adultos mayores con deterioro vestibular significativo y se han comparado con un grupo control. Utilizando redes neuronales, se logró diferenciar entre personas con antecedentes de caídas y aquellas sin signos de inestabilidad.

Un hallazgo clave fue que las diferencias más significativas entre ambos grupos se encontraron en los ejes de giro, lo cual es consistente con la hipótesis de que la reprogramación sensorial en adultos mayores afecta su capacidad para girar. A pesar de estos avances, se requiere mayor cantidad de datos para mejorar la robustez del modelo y su aplicabilidad clínica. Este trabajo representa un paso importante en la aplicación del aprendizaje automático en neurología y en la prevención de caídas en poblaciones vulnerables.

El Ingeniero **Federico Lecumberry**, PhD, docente del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, UdelaR, Montevideo, Uruguay, presentó algunos ejemplos de aplicaciones multidisciplinarias desarrolladas en colaboración con diversas instituciones en Uruguay y el exterior.

En 2011, se realizó un estudio en conjunto con dermatólogos del Hospital de Clínicas para desarrollar un sistema basado en visión artificial que permitiera clasificar lesiones cutáneas. Se utilizaron técnicas de segmentación de imágenes y extracción de características basadas en reglas médicas, como la regla ABCDE para la detección de melanomas. Se entrenaron modelos de aprendizaje automático con 611 imágenes etiquetadas por expertos, logrando una precisión cercana al 97%. Si bien estos sistemas no sustituyen a los especialistas, pueden servir como herramientas de apoyo para el diagnóstico temprano.

La IA ha sido utilizada para mejorar el análisis de imágenes microscópicas en el estudio de enfermedades neurodegenerativas, como la esclerosis lateral amiotrófica. En colaboración con la Facultad de Medicina y el Instituto Pasteur, se desarrolló un sistema de generación de imágenes sintéticas para mejorar el entrenamiento de modelos de segmentación de redes mitocondriales en monocitos sanguíneos. Esta técnica permitió aumentar la cantidad de datos disponibles para la investigación, optimizando la clasificación y análisis de estas estructuras celulares.

Otra aplicación relevante en medicina es el análisis de videos de espermatozoides para evaluar su motilidad en estudios de fertilidad masculina. En este caso, se emplearon técnicas de agrupamiento y aprendizaje profundo no supervisado para clasificar diferentes patrones de movimiento. Se identificaron trayectorias espermáticas y se establecieron

correlaciones con su capacidad de fertilización, lo que permite mejorar los diagnósticos y tratamientos en el ámbito de la reproducción asistida.

El uso de IA en la producción animal ha permitido mejorar la evaluación de la calidad cárnica mediante el análisis de imágenes de ultrasonido. En colaboración con el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), se desarrollaron modelos para estimar la cantidad de grasa intramuscular y subcutánea, proporcionando información clave para la toma de decisiones en la industria cárnica. Además, se exploró el uso de modelos de aprendizaje profundo para la predicción de fenotipos a partir de datos genómicos, lo que podría aplicarse a la medicina en la identificación de riesgos poligénicos en enfermedades humanas.

En el ámbito del descubrimiento de fármacos, se ha utilizado IA para predecir estructuras de proteínas mediante modelos como AlphaFold. Este sistema desarrollado por DeepMind ha revolucionado la biología estructural al proporcionar predicciones precisas de la conformación tridimensional de proteínas a partir de su secuencia de aminoácidos. Estas herramientas permiten acelerar la investigación en enfermedades y el desarrollo de nuevos medicamentos.

Uno de los principales desafíos en la aplicación de IA en medicina es la calidad y representatividad de los datos utilizados para entrenar los modelos. Se han identificado sesgos en los conjuntos de datos que pueden afectar la precisión de los sistemas en diferentes poblaciones. Por ejemplo, en estudios genéticos, la mayoría de las bases de datos provienen de poblaciones europeas, lo que puede reducir la eficacia de los modelos en otros grupos étnicos.

Además, la privacidad y seguridad de los datos médicos son aspectos cruciales a considerar. La implementación de normativas estrictas y el uso de técnicas como el aprendizaje federado pueden ayudar a mitigar estos riesgos y garantizar el uso ético de la IA en medicina.

Uruguay cuenta con más de 25 años de experiencia en el desarrollo de aplicaciones de IA en medicina y otras disciplinas. La colaboración interdisciplinaria ha sido clave para el éxito de estos proyectos, permitiendo avances en el análisis de imágenes médicas, genómica, biología estructural y producción animal. A medida que la tecnología continúa evolucionando, se espera que la IA juegue un papel cada vez más importante en la medicina, mejorando la precisión diagnóstica, optimizando tratamientos y facilitando la toma de decisiones en el ámbito de la salud.

III. MEDICINA CLÍNICA E IMAGENOLÓGÍA

1. El tratamiento futuro de los trastornos neurodegenerativos

Irene Litvan, MD, es directora del Centro de Parkinson y otros Trastornos del Movimiento, en la Universidad de California, San Diego, EEUU. En su exposición, abordó los desafíos y soluciones en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, centrándose en el parkinsonismo y la demencia.

Destacó los principales desafíos para diagnosticar estas enfermedades como la falta de biomarcadores específicos. En el caso del Alzheimer, existen biomarcadores establecidos, pero en otros trastornos neurodegenerativos, los diagnósticos suelen ser tardíos y a veces

incorrectos. Esto representa un problema crítico, especialmente en enfermedades de rápida evolución.

El desconocimiento de los mecanismos subyacentes a estas enfermedades y sin una comprensión clara de estos procesos, es difícil desarrollar tratamientos efectivos. Además, no existen medidas objetivas ampliamente utilizadas para evaluar la progresión de la enfermedad. La mayoría de los estudios aún emplean escalas clínicas tradicionales, lo que limita la precisión de los diagnósticos y la evaluación de terapias.

Otro problema importante es el diseño de los estudios clínicos. Tradicionalmente, los ensayos han sido paralelos y aleatorizados, pero se requieren enfoques más modernos. Además, muchos pacientes abandonan los estudios antes de su finalización, y la diversidad en las poblaciones estudiadas es limitada, predominando la participación de personas blancas, lo que impide una representación equitativa de la población afectada.

Entre las soluciones propuestas por la Dra. Litvan se encuentra el uso de biomarcadores validados y el análisis genético para mejorar el diagnóstico temprano. Identificar a los pacientes en fases prodrómicas, antes de la manifestación completa de los síntomas, permitiría intervenir de manera más efectiva. También enfatizó la necesidad de incorporar innovaciones en biología molecular y ciencias básicas para identificar los mecanismos patológicos clave y desarrollar nuevas estrategias terapéuticas. Para evaluar la progresión de la enfermedad, es fundamental emplear marcadores objetivos en lugar de depender únicamente de escalas clínicas subjetivas. Además, propuso modernizar los diseños de los estudios clínicos para mejorar su eficiencia y representatividad. También destacó la importancia de comprender por qué algunos pacientes abandonan los estudios y de utilizar herramientas más precisas para monitorear su evolución.

Un ejemplo de los desafíos diagnósticos en neurología es la parálisis supranuclear progresiva (PSP), una enfermedad neurodegenerativa agresiva. Tradicionalmente, la PSP se diagnosticaba en base a la caída frecuente de los pacientes y la aparición de problemas oculomotores, lo que definía la forma clásica conocida como síndrome de Richardson. Sin embargo, con el tiempo se han identificado múltiples variantes de la enfermedad. Algunas formas de PSP pueden parecerse al Parkinson en sus primeras etapas, presentando síntomas motores similares antes de evolucionar hacia la sintomatología clásica de PSP. Otras variantes pueden manifestarse con episodios de congelamiento de la marcha, alteraciones del lenguaje o incluso con características de demencia frontotemporal. La diversidad de presentaciones hace que el diagnóstico sea complicado y muchas veces tardío.

En 2017, la Dra. Litvan y su equipo propusieron nuevos criterios clínicos para clasificar mejor estas variantes de PSP y facilitar su diagnóstico temprano. Sin embargo, estos criterios también presentan limitaciones y errores, lo que evidencia la necesidad de seguir perfeccionando las herramientas diagnósticas. Los estudios de validación han demostrado que los criterios clínicos para la forma clásica de PSP son bastante precisos, pero para otras variantes la precisión diagnóstica sigue siendo baja. Por ejemplo, al analizar pacientes diagnosticados con PSP en estudios clínicos, se ha encontrado que un número significativo de ellos en realidad tienen otras enfermedades neurodegenerativas, como la degeneración corticobasal. Además, la progresión de la enfermedad varía entre las diferentes formas de PSP. Los pacientes con la variante parkinsoniana tienden a evolucionar más lentamente en comparación con aquellos con la forma clásica de Richardson. Esto es crucial en los ensayos clínicos, ya que mezclar diferentes subtipos de

la enfermedad puede distorsionar los resultados y dificultar la identificación de tratamientos efectivos.

Uno de los primeros signos diferenciadores en la PSP es la alteración de los movimientos sacádicos, que son movimientos rápidos entre dos estímulos visuales. En los pacientes con PSP, estos movimientos son significativamente más lentos y están deteriorados en la dirección vertical, mientras que en la dirección horizontal suelen estar preservados. Este hallazgo es crucial para la detección temprana de la enfermedad.

En el caso de la enfermedad de Parkinson, inicialmente se creyó que su origen radicaba en la degeneración de neuronas de la sustancia negra del mesencéfalo, con la consecuente pérdida de dopamina en el cerebro. Posteriormente, se identificaron los cuerpos de Lewy, agregados de alfa-sinucleína, como una característica patológica distintiva. Estudios recientes sugieren que el Parkinson podría iniciarse en el colon y en la mucosa olfatoria antes de manifestarse clínicamente, lo que explicaría síntomas como el estreñimiento y la hiposmia. Además, existe una denervación cardíaca y alteraciones del sueño que pueden preceder a la aparición de síntomas motores por más de una década.

Las enfermedades neurodegenerativas comparten un mecanismo común basado en la acumulación anómala de proteínas. En el caso del Parkinson y la atrofia multisistémica, la proteína implicada es la alfa-sinucleína, mientras que en la PSP y la DCB es la proteína tau. En la enfermedad de Alzheimer, la acumulación de amiloide y tau desempeña un papel clave. La microscopía crioelectrónica ha permitido visualizar diferencias estructurales en estas proteínas según la enfermedad, lo que podría facilitar tratamientos personalizados dirigidos a los distintos agregados proteicos. Uno de los avances recientes más significativos es la identificación de biomarcadores en el líquido cefalorraquídeo (LCR) y en la piel, como la amplificación de fibrillas de alfa-sinucleína, lo que permite un diagnóstico más preciso incluso en fases prodrómicas de la enfermedad de Parkinson. En un estudio liderado por la Fundación Michael J. Fox, se encontró que el 88% de los pacientes con Parkinson tenían agregados de alfa-sinucleína en el LCR, mientras que en pacientes con síntomas prodrómicos la tasa fue del 86%. En aquellos con anosmia, la presencia de esta proteína alcanzó el 97%, mientras que en individuos con olfato normal fue del 63%. Estos hallazgos son cruciales, ya que permiten la identificación temprana de la enfermedad y abren la posibilidad de iniciar tratamientos antes de la pérdida neuronal irreversible. Además, se ha observado que no todos los pacientes con enfermedad de Parkinson presentan una acumulación significativa de alfa-sinucleína, lo que sugiere la existencia de diferentes subtipos de la enfermedad con mecanismos patogénicos diversos.

La enfermedad de Alzheimer ha sido pionera en la validación de biomarcadores para su diagnóstico. Se ha establecido que la combinación de marcadores de amiloide y tau en el LCR permite una detección fiable incluso en fases iniciales. Si ambos marcadores son negativos, el paciente no desarrollará Alzheimer, mientras que si son positivos, aunque solo se presente un deterioro cognitivo leve, es muy probable que la enfermedad progrese. Los neurofilamentos de cadena ligera (NfL) se han propuesto como biomarcadores de progresión en diversas enfermedades neurodegenerativas, incluyendo la PSP y el Parkinson. Sin embargo, se requiere el desarrollo de más biomarcadores que

permitan predecir la respuesta a los tratamientos y diferenciar entre enfermedades que pueden coexistir, como el Alzheimer y la PSP.

Uno de los factores de riesgo genéticos más estudiados en la PSP es el haplotipo H1, que está presente en aproximadamente el 60% de la población general, pero en casi todos los pacientes con PSP. Aunque este haplotipo no es suficiente para causar la enfermedad, su presencia sugiere una predisposición genética. Se han identificado otros genes implicados, algunos de los cuales también están asociados con la DCB, lo que refuerza la hipótesis de que existen mecanismos comunes entre estas enfermedades.

El impacto del ambiente en la neurodegeneración también ha sido ampliamente estudiado. Se ha demostrado que la exposición a pesticidas puede inhibir la función mitocondrial, causando estrés oxidativo y favoreciendo la agregación proteica, un mecanismo que se ha relacionado con la enfermedad de Parkinson. Además, la inflamación crónica podría desempeñar un papel clave en la progresión de estas enfermedades, aunque no está claro si es una causa primaria o una consecuencia del daño neuronal.

En cuanto al tratamiento, los avances en la biología molecular han permitido el desarrollo de estrategias innovadoras, como el uso de oligonucleótidos antisentido, que han demostrado ser eficaces en enfermedades genéticas como la atrofia muscular espinal. Actualmente, se están investigando terapias basadas en la modulación de la proteína tau para tratar la PSP y la DCB, aunque hasta el momento no han mostrado una eficacia contundente en ensayos clínicos.

Otro enfoque terapéutico es la reprogramación celular. En estudios con modelos animales, se ha logrado transformar astrocitos en neuronas funcionales mediante la inhibición de ciertas enzimas. Si bien estos hallazgos son prometedores, aún es necesario validar su eficacia en modelos más avanzados antes de trasladarlos a la clínica.

El diseño de ensayos clínicos también está evolucionando. Se ha implementado el uso de plataformas de estudios clínicos adaptativos, como las utilizadas en la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), que permiten evaluar múltiples tratamientos simultáneamente y modificar el estudio en función de los resultados intermedios. Este enfoque reduce la necesidad de grupos de control con placebo y aumenta la probabilidad de identificar tratamientos efectivos.

El avance de la inteligencia artificial en la investigación biomédica está revolucionando la forma en que se analizan los datos clínicos y de laboratorio. Mediante algoritmos de aprendizaje automático, se han identificado patrones en grandes volúmenes de datos que permiten predecir el riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas y personalizar los tratamientos. Además, se han desarrollado modelos tridimensionales y organoides cerebrales que permiten estudiar con mayor precisión los mecanismos patológicos y evaluar nuevos tratamientos.

Por otro lado, la medicina del futuro, basada en el uso de biomarcadores, genética e imágenes moleculares, genera grandes expectativas, pero también confusión. La cantidad de datos obtenidos hace que el panorama sea difícil de interpretar, ya que distintas manifestaciones de un mismo síndrome pueden tener orígenes genéticos diversos y biomarcadores distintos. Además, estas enfermedades no solo afectan al sistema nervioso

central, sino que pueden tener componentes periféricos e inmunológicos, lo que añade aún más complejidad.

La inteligencia artificial y los avances en biología molecular prometen mejorar el diagnóstico y clasificación de estas enfermedades. Sin embargo, el desarrollo de terapias eficaces sigue siendo un desafío, ya que los defectos moleculares que desencadenan estas patologías suelen activar sistemas compensatorios en el organismo, lo que dificulta su prevención y tratamiento.

El estudio en modelos animales, como ratas y ratones, ha permitido generar hipótesis y predicciones aplicables a la clínica. Sin embargo, existe un debate sobre la traslación directa de estos resultados a humanos. Mientras algunos investigadores consideran que estos modelos son útiles para comprender mecanismos generales, otros advierten que no se deben extrapolar los hallazgos de manera abrupta sin respetar las fases de experimentación.

Uno de los enfoques terapéuticos más prometedores es la promoción de la neurogénesis mediante modificaciones genéticas. Se ha observado que la presencia de células jóvenes puede prevenir los efectos tóxicos de proteínas anormales asociadas a la neurodegeneración. Esto sugiere que el mantenimiento de células neuronales jóvenes y funcionales, con mitocondrias saludables y baja acumulación de radicales libres, podría ser clave en el tratamiento de estas enfermedades. Además, se está explorando el uso de terapias senolíticas para eliminar células envejecidas que contribuyen a la inflamación y neurodegeneración. Aunque esta estrategia es aún experimental, muchos grupos de investigación están evaluando su viabilidad en diversas patologías.

En cuanto a los tratamientos farmacológicos, se destacan los oligonucleótidos antisentido, que pueden modular la expresión génica y evitar la producción de proteínas tóxicas. También se investiga el uso de pequeñas moléculas inhibidoras y anticuerpos dirigidos contra proteínas anormales. Un enfoque interesante sería combinar múltiples terapias en un "cóctel" de fármacos, similar a lo que se hace con la tuberculosis, abordando distintos mecanismos como inflamación, estrés oxidativo y toxicidad proteica.

En conclusión, aunque la complejidad de las enfermedades neurodegenerativas sigue siendo un reto, los avances en biología molecular, inteligencia artificial y terapias experimentales ofrecen un panorama esperanzador. Se espera que en la próxima década surjan tratamientos efectivos que transformen el pronóstico de estos trastornos.

2. El futuro de la imagenología integrada.

Diana Páez, Médico Nuclear Sección de Medicina Nuclear e Imágenes Diagnósticas Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria, abordó el impacto de las tecnologías emergentes en la medicina, enfocándose en la integración de imágenes médicas y su papel crucial en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, especialmente en el contexto de la medicina nuclear. Destaca la importancia de las imágenes médicas integradas, un campo que fusiona la innovación tecnológica en imágenes, con la terapia médica. Esta integración ha transformado la medicina al permitir

una visualización detallada del cuerpo humano, lo que facilita una medicina más personalizada.

Desde el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Roentgen en 1895, las imágenes médicas han evolucionado significativamente, mejorando la resolución y la precisión en el diagnóstico. A lo largo de las décadas, se han desarrollado modalidades como la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la medicina nuclear, entre otras, que permiten una evaluación más completa de las condiciones de salud. Las imágenes anatómicas, que proporcionan una excelente resolución espacial, y las imágenes funcionales, que permiten la detección de procesos moleculares a través de radiofármacos, son fundamentales en este avance.

La combinación de imágenes anatómicas y funcionales, mediante tecnologías como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada (CT), ha sido clave en el desarrollo de imágenes híbridas. Estas combinaciones mejoran la capacidad de detección de lesiones y permiten un diagnóstico más temprano y preciso. Los avances en la medicina molecular, como el uso de sondas moleculares y radiofármacos, permiten la visualización, caracterización y cuantificación de procesos biológicos a nivel celular y molecular, lo que abre nuevas puertas para la medicina personalizada. Los desarrollos en la imagenología no se limitan a los avances técnicos, sino que también requieren un enfoque interdisciplinario, que abarca la biología, la química, la informática y la física médica, entre otros campos. Además, resalta que los profesionales médicos deben estar capacitados en el uso de estas tecnologías, ya que su aplicación requiere conocimientos especializados en la interpretación de imágenes complejas.

El uso de imágenes médicas también ha sido crucial en el campo de la oncología, con la introducción de diversos radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer. En este sentido, el diagnóstico molecular, mediante la administración de trazadores específicos, ha revolucionado el tratamiento de enfermedades como los tumores neuroendocrinos y el cáncer de próstata. Los avances en la medicina nuclear permiten no solo la detección de enfermedades, sino también el tratamiento dirigido a áreas específicas mediante radiofármacos, mejorando la precisión y reduciendo los efectos secundarios.

Una de las tendencias más importantes en la medicina moderna es la medicina personalizada o de precisión, que se basa en adaptar el tratamiento a las características específicas de cada paciente. Esto es posible gracias a los avances en farmacogenética, proteómica y biomarcadores. En medicina nuclear, esto implica utilizar radiofármacos para respaldar decisiones terapéuticas y hacer un seguimiento de la efectividad de los tratamientos, lo que optimiza los resultados para cada paciente.

Desde que el Dr. Saúl Hertz administró la primera terapia con Yodo-131 a un paciente con hipertiroidismo, en 1941, la medicina nuclear ha evolucionado significativamente. Aunque sus aplicaciones no son nuevas, el término "diagnóstico" es relativamente reciente. El número de publicaciones científicas sobre terapéutica en medicina nuclear ha crecido de manera exponencial, pasando de unas pocas decenas en el año 2000 a más de 20,000 en 2022.

El concepto de diagnóstico en medicina nuclear se basa en la identificación de un grupo de pacientes que expresan un blanco específico en su organismo. Dicho blanco puede ser detectado mediante imagen molecular y posteriormente tratado con la misma molécula marcada con un radioisótopo terapéutico. Este ciclo permite la monitorización de la eficacia del tratamiento y la evaluación de la necesidad de nuevas intervenciones.

Las aplicaciones más conocidas del diagnóstico incluyen los tumores neuroendocrinos, en los que el receptor de somatostatina actúa como blanco terapéutico. En estos casos, los trazadores utilizados para el diagnóstico son el Galio-68 o el Cobre-64, mientras que el tratamiento se realiza con Lutecio-177 o Tritio-90. Otro ejemplo clásico es el uso del Yodo-123 en el diagnóstico de tumores neuroendocrinos, mientras que la terapia se realiza con Yodo-131 y el seguimiento nuevamente con Yodo-123. Una aplicación terapéutica en expansión es el manejo del cáncer de próstata, donde el blanco es una proteína transmembrana conocida como PSMA. Para su diagnóstico, se pueden utilizar Tecnecio-99 en estudios SPECT, o Flúor-18 y Galio-68 en estudios PET. El tratamiento se realiza con Lutecio-177 o Actinio-225.

El desarrollo de la medicina nuclear continúa expandiéndose hacia otras patologías, con aplicaciones en cáncer medular de tiroides, cáncer de ovario, riñón, gliomas, cáncer de páncreas, pulmón, mesotelioma y sarcomas, entre otros. Nuevos ligandos están siendo desarrollados, incluyendo: receptores de quimiocinas, proteínas de choque térmico, marcadores de apoptosis y proteínas de activación de fibroblastos. También se están explorando nuevos radioisótopos, como Circonio y Cobre, para mejorar la disponibilidad y reducir costos. Un ejemplo es la sustitución del Galio-68 por Flúor-18, que es más accesible y económico.

Sin embargo, para que la terapéutica sea una realidad generalizada, es crucial acelerar la traslación de la investigación a la práctica clínica. Existen agentes prometedores, como la bombesina y las integrinas, que llevan décadas en desarrollo sin llegar al uso clínico masivo. Además, es fundamental ampliar la disponibilidad de trazadores aprobados, reducir costos y agilizar procesos de aprobación regulatoria.

El futuro de la medicina nuclear y las imágenes médicas integradas se ve ligado al uso de inteligencia artificial (IA). Si bien el término "inteligencia artificial" está de moda, su desarrollo no es reciente. En el ámbito médico, especialmente en imágenes diagnósticas, se han utilizado sistemas expertos durante años. Sin embargo, el crecimiento de la IA en la última década ha sido exponencial. Por ejemplo, en el año 2000 se registraban solo unas decenas de publicaciones científicas sobre IA en medicina, mientras que en 2022 superaban las 13,000. Este auge está impulsado por el avance del aprendizaje automático (machine learning) y el aprendizaje profundo (deep learning), que permiten el desarrollo de redes neuronales artificiales capaces de procesar imágenes, sonidos y videos de manera autónoma.

La inteligencia artificial (IA) es la capacidad de una máquina o sistema informático de realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la comprensión del lenguaje, el reconocimiento de patrones y la toma de decisiones. Su objetivo es crear sistemas que imiten funciones cognitivas humanas para ejecutar tareas de manera autónoma o con mínima intervención humana. La IA está desempeñando un papel crucial en el análisis de imágenes médicas, permitiendo diagnósticos más rápidos y precisos.

mediante algoritmos de aprendizaje automático. La IA se aplica principalmente en la radiología, la patología y la oncología, ayudando a los médicos en la toma de decisiones clínicas al ofrecerles acceso rápido a la información relevante para cada paciente. El análisis de imágenes médicas mediante IA incluye tareas como la segmentación y clasificación de imágenes, lo que facilita el diagnóstico de condiciones como el cáncer. Además, la IA está mejorando la capacidad de los sistemas médicos para interpretar grandes volúmenes de datos, lo que permite detectar patrones más complejos y predecir la evolución de enfermedades de manera más precisa. Sin embargo, la implementación de la IA en la práctica clínica requiere de profesionales capacitados que puedan integrar esta tecnología en su trabajo diario y asegurar que se utilice de manera efectiva y segura.

La IA está transformando la atención médica en múltiples áreas:

1. Toma de decisiones clínicas: algoritmos que ayudan a los médicos a tomar decisiones sobre tratamientos, medicamentos y salud mental al brindar acceso rápido a información relevante.
2. Análisis de imágenes: especialidades como la radiología, patología y oncología han integrado la IA para el diagnóstico, segmentación y clasificación de imágenes médicas.
3. Detección de enfermedades: la IA se utiliza en la identificación de cánceres como el de mama, próstata y pulmón, facilitando la detección temprana mediante biomarcadores y análisis de imágenes médicas.
4. Optimización de la eficiencia médica: los estudios de imágenes médicas generan grandes volúmenes de datos; la IA permite procesarlos rápidamente y detectar patrones relevantes, reduciendo la carga de trabajo de los profesionales de la salud y mejorando la precisión diagnóstica.
5. Terapia personalizada: en medicina nuclear, la IA contribuye al desarrollo de terapias dirigidas a blancos moleculares, como los tratamientos para tumores neuroendocrinos y cáncer de próstata mediante radionúclidos alfa y beta.

A pesar de sus ventajas, la Inteligencia Artificial (IA) en medicina presenta desafíos importantes. Por ejemplo, si bien existen aplicaciones aprobadas por organismos como la FDA o la OMS, muchas herramientas comerciales aún requieren validación clínica rigurosa. Algunos estudios han señalado que la IA no siempre mejora la precisión diagnóstica. Por ello, los nuevos algoritmos de diagnóstico asistido por computadora deben ser interactivos y altamente precisos, permitiendo una colaboración efectiva con los profesionales de la salud.

Otro aspecto fundamental es el diseño de interfaces de usuario que faciliten la interacción entre médicos e IA. La recopilación adecuada de datos es clave para mejorar la toma de decisiones clínicas basadas en Inteligencia Artificial. En cuanto a los desafíos legales y éticos, algunos puntos críticos incluyen el consentimiento del paciente, ya que integrar datos personales en bases de IA plantea preocupaciones sobre privacidad y seguridad. La IA puede cometer errores diagnósticos sin que haya una figura clara responsable de sus decisiones. Recientemente, la Unión Europea estableció su primera reglamentación sobre IA aplicada a la medicina, un paso necesario para definir los marcos legales de su implementación.

En la medicina del futuro, la IA permitirá un enfoque más preciso y personalizado del tratamiento, especialmente en terapias dirigidas a blancos moleculares. Un área con gran potencial es la medicina nuclear, donde ya existen terapias personalizadas para patologías como los tumores neuroendocrinos y el cáncer de próstata.

Sin embargo, persisten desafíos importantes, como los altos costos de estas terapias. Actualmente, en países como Uruguay, el acceso a estos tratamientos depende en gran parte del financiamiento privado o de recursos legales excepcionales, lo que impide una cobertura universal. Para que estas terapias sean accesibles a toda la población, es necesario avanzar en estrategias de financiación y regulación que permitan su integración en los sistemas de salud pública. Nos encontramos en una era transformadora de la atención médica, donde la IA promete mejorar el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de enfermedades. La clave para su implementación exitosa radica en la combinación de la experiencia médica con la tecnología, asegurando que su uso sea seguro, eficiente y accesible para toda la población.

En resumen, la conferencia de la doctora Diana Páez expone los avances y desafíos en el campo de las imágenes médicas integradas, que se encuentran en la intersección de la tecnología, el diagnóstico y la terapia. La convergencia de estas disciplinas ha permitido grandes avances en la medicina personalizada y de precisión, con un enfoque particular en la medicina nuclear. La integración de la IA y la continua innovación en tecnologías de imágenes promete mejorar aún más la atención médica, haciendo que el diagnóstico y el tratamiento sean más rápidos, precisos y accesibles para todos.

El diagnóstico y la terapéutica en medicina nuclear han evolucionado notablemente, con avances que han permitido diagnósticos más precisos y tratamientos personalizados. La incorporación de la Inteligencia Artificial en la interpretación de imágenes médicas está revolucionando la forma en que los médicos toman decisiones, permitiendo un análisis más rápido y preciso de los datos.

No obstante, aún quedan desafíos por superar en términos de validación clínica, regulación, accesibilidad y ética. A medida que la tecnología avanza, es fundamental que médicos, investigadores y legisladores trabajen juntos para garantizar que estos avances beneficien a la mayor cantidad de pacientes posible.

En este camino hacia el futuro de la medicina, la combinación de innovación tecnológica, inteligencia artificial y medicina nuclear promete transformar la atención médica en un sistema más preciso, accesible y eficiente.

IV. MEDICINA INVASIVA Y CIRUGÍA

1. Cardiocirugía no invasiva y robótica

La conferencia de **Juan Crestanello MD**, Profesor de Cirugía y director del Departamento de Cirugía Cardiovascular de la Clínica Mayo, Rochester, EEUU, se centró en la cirugía cardíaca mínimamente invasiva y robótica, resaltando sus ventajas y desafíos. Explicó que el objetivo de estas técnicas es realizar los mismos procedimientos que la cirugía abierta, pero con incisiones más pequeñas, utilizando instrumentos especializados y cámaras de alta resolución. Esto reduce el trauma quirúrgico, acelera la recuperación y disminuye la

morbilidad y mortalidad operatoria. Sin embargo, señaló que es crucial no comprometer la calidad de la operación ni los resultados a largo plazo en favor de una recuperación más rápida.

La cirugía cardíaca robótica y mínimamente invasiva ha experimentado avances significativos en los últimos años, pero sigue siendo una técnica de acceso limitado debido a su alta complejidad y curva de aprendizaje prolongada. En este simposio, se analizaron los principales beneficios y limitaciones de estos procedimientos, así como el papel de la inteligencia artificial y los costos en su implementación a gran escala.

Entre los procedimientos cardíacos que pueden realizarse con cirugía mínimamente invasiva mencionó la revascularización coronaria, la cirugía de la válvula mitral, aórtica y tricuspídea, la cirugía de la aorta ascendente y del arco aórtico, la extirpación de tumores cardíacos benignos y la ablación de fibrilación auricular. No obstante, enfatizó que los procedimientos combinados siguen siendo difíciles de realizar con estas técnicas.

La cirugía mínimamente invasiva en la válvula mitral es una de las más consolidadas. En su presentación, el Dr. Crestanello mostró un caso de insuficiencia mitral severa tratada con cirugía robótica. Explicó que la intervención consistió en una resección triangular de la válvula posterior, la reconstrucción con suturas especiales, el refuerzo del anillo valvular con una banda de anuloplastia y la evaluación intraoperatoria de la competencia de la válvula. La Clínica Mayo ha realizado más de 10,000 reparaciones valvulares mitrales desde 1973, incluyendo 1,384 cirugías robóticas desde el inicio de su programa en 2008.

En la cirugía robótica, el equipo quirúrgico consta de dos cirujanos: uno opera desde la consola, mientras que el otro asiste junto al paciente. Las incisiones en el tórax incluyen un puerto para la cámara, un puerto de trabajo para instrumentos y suturas, y una cánula percutánea para el drenaje venoso. Además, se utiliza canulación femoral para circulación extracorpórea. Un estudio retrospectivo de 843 reparaciones mitrales robóticas en la Clínica Mayo (2008-2019) mostró una mortalidad operatoria del 0.4%, una estadía hospitalaria promedio de 3 días y una sobrevida libre de insuficiencia mitral significativa mayor al 92% a 10 años.

Comparando la cirugía robótica con la abierta, se observó que la primera tiene menor mortalidad, menor estadía hospitalaria, menor tasa de reingreso y menores complicaciones postoperatorias como fibrilación auricular, eventos cerebrovasculares e insuficiencia renal. También se registró un menor dolor postoperatorio y una reincorporación laboral más rápida. Sin embargo, se advirtió sobre una curva de aprendizaje prolongada para los cirujanos, aunque con el tiempo se ha logrado una reducción en la duración de los procedimientos.

En cuanto a la cirugía de la válvula aórtica, mencionó que puede realizarse mediante una miniesternotomía o una toracotomía anterior derecha. Estas técnicas permiten realizar reemplazos valvulares, cirugía de la raíz aórtica con preservación valvular, y procedimientos en la aorta ascendente y el arco aórtico. Aunque los tiempos quirúrgicos y de circulación extracorpórea son mayores, las tasas de complicaciones como accidente cerebrovascular, insuficiencia renal e infarto de miocardio son similares a las de la cirugía

abierta. Además, la recuperación hospitalaria es más rápida y la calidad de vida postoperatoria es mejor.

Recientemente, la Clínica Mayo ha comenzado a realizar reemplazos valvulares aórticos con cirugía robótica. Se mostró un video de una operación en la que se administró cardioplejia, se realizó la excisión de la válvula enferma y se implantó una prótesis con suturas seguras. Sin embargo, la experiencia en este campo aún es limitada, con solo 5 o 6 casos realizados en la institución. El Dr. Badhwar de la Universidad de West Virginia es pionero en este tipo de cirugía en EE.UU., habiendo reportado una serie de 50 pacientes sin mortalidad operatoria, aunque con tiempos quirúrgicos prolongados.

Se planteó la pregunta de si la cirugía robótica y mínimamente invasiva puede competir con el TAVI (implante percutáneo de válvula aórtica). El TAVI es un procedimiento menos invasivo, realizado con anestesia local y con alta hospitalaria en 24 horas. Sin embargo, estudios recientes sugieren que las válvulas quirúrgicas tienen mejor sobrevida, menor deterioro estructural y menor necesidad de reintervención en comparación con las TAVI, especialmente en pacientes de bajo e intermedio riesgo.

Otro campo abordado fue la resección de tumores cardíacos benignos mediante cirugía robótica. Se mostró un video de la extirpación de un mixoma auricular, en el que se resecó su base de fijación en el septo interauricular y se reparó con un parche. La técnica permite una resección segura y precisa con recuperación más rápida para el paciente.

Uno de los procedimientos más comunes en cirugía robótica es la revascularización coronaria mínimamente invasiva mediante toracotomía izquierda. Aunque los resultados son prometedores, con una sobrevida a largo plazo y una baja tasa de reintervención, la mayoría de los pacientes solo reciben un bypass, lo que genera una revascularización incompleta en muchos casos.

La revascularización coronaria mínimamente invasiva es uno de los mayores desafíos. Se describieron distintos enfoques, desde la anastomosis de la arteria mamaria a la descendente anterior a través de una mini-toracotomía, hasta procedimientos más complejos como el bypass coronario robótico totalmente endoscópico. A medida que aumenta la complejidad, también aumentan los requerimientos técnicos y la curva de aprendizaje. En el bypass coronario híbrido, se combina una anastomosis quirúrgica de la mamaria con intervenciones percutáneas en otras arterias coronarias, buscando optimizar los beneficios de ambos enfoques.

La cirugía endoscópica robótica se puede realizar tanto con el corazón latiendo, utilizando estabilizadores robóticos, como con el corazón detenido mediante el uso de balón endoáortico, una técnica empleada también en cirugía mitral. No obstante, la revascularización sigue siendo limitada, con un promedio de 1.6 bypasses por paciente. A pesar de esto, los beneficios en términos de menor tiempo de hospitalización y recuperación más rápida la hacen una opción atractiva.

Sin embargo, esta cirugía es rara en la práctica clínica. En Estados Unidos, en un período de seis años, se realizaron menos de 1200 procedimientos de este tipo, concentrados en un número reducido de cirujanos altamente especializados. La curva de aprendizaje es

significativa, pero a medida que se adquiere experiencia, aumenta la tasa de éxito y disminuyen las complicaciones.

En términos generales, la cirugía coronaria robótica aún está en desarrollo y solo es realizada por especialistas con alta capacitación. Aunque la técnica de anastomosis es similar a la cirugía abierta, la revascularización es incompleta, lo que puede afectar su efectividad en comparación con la cirugía convencional. No obstante, la recuperación más rápida y un riesgo quirúrgico similar o incluso menor la convierten en una alternativa atractiva.

Uno de los mayores desafíos en la evolución de la cirugía robótica ha sido la falta de competencia en el mercado de dispositivos quirúrgicos. Durante años, solo ha existido un único sistema robótico disponible, lo que ha limitado la innovación en esta área. Se espera que en los próximos años surjan nuevas tecnologías que faciliten y optimicen estos procedimientos.

El Futuro de la Cirugía Cardíaca

El concepto de cirugía del futuro está vinculado a dos aspectos clave: mayor precisión quirúrgica y menor invasión. La precisión no solo se refiere a la ejecución técnica del procedimiento, sino también a la selección del tratamiento adecuado para cada paciente. La cirugía robótica ha demostrado ofrecer una mayor precisión en comparación con la cirugía manual. Mientras que el movimiento humano está limitado por la flexo-extensión y la pronosupinación de la mano, los brazos robóticos permiten giros de 360 grados, lo que facilita la ejecución de suturas en cualquier ángulo. Sin embargo, la capacitación y experiencia del cirujano son fundamentales para optimizar estos beneficios.

Uno de los aspectos más destacados en la experiencia de la Clínica Mayo es la reducción en la estancia hospitalaria, con un promedio de solo tres días. Este factor es clave, ya que los pacientes buscan procedimientos menos invasivos que les permitan una recuperación más rápida sin comprometer la seguridad y los resultados a largo plazo.

En este sentido, un metaanálisis reciente comparó la cirugía robótica con la convencional en válvulas mitrales y evidenció que la mayoría de los estudios son retrospectivos, con sesgos de selección y sin ensayos clínicos aleatorizados. Actualmente, no existen ensayos en curso que permitan evaluar esta técnica con mayor rigor, lo que representa un desafío para su consolidación como estándar de tratamiento.

Un caso similar se observó en el reemplazo valvular aórtico percutáneo en comparación con la cirugía convencional. Si bien a corto plazo la calidad de vida fue superior con el procedimiento mínimamente invasivo, a largo plazo los resultados fueron similares a la cirugía convencional. Esto sugiere que, si bien los pacientes pueden beneficiarse de una recuperación más rápida, es necesario evaluar el impacto a largo plazo antes de adoptar estas técnicas de forma generalizada.

Inteligencia Artificial y Cirugía Cardíaca

Uno de los aspectos más relevantes en la evolución de la cirugía del futuro es la incorporación de la inteligencia artificial (IA). Esta tecnología no solo se aplica a la cirugía robótica, sino que tiene un papel clave en la evaluación preoperatoria, la predicción de riesgos y la toma de decisiones clínicas.

Actualmente, existen sistemas de IA capaces de analizar en tiempo real la información obtenida durante la entrevista con el paciente, identificando palabras clave y generando un algoritmo de riesgo sin necesidad de que el médico escriba manualmente la historia clínica. Asimismo, la IA permite mejorar la precisión en la identificación de factores de riesgo quirúrgico y en la planificación del tratamiento individualizado.

Otro uso relevante de la IA en cirugía cardíaca es la optimización de la circulación extracorpórea durante los procedimientos. Al integrar datos fisiológicos en tiempo real, se pueden realizar ajustes precisos en el flujo sanguíneo y la administración de fármacos, optimizando los resultados intraoperatorios.

Sin embargo, es importante aclarar que la cirugía robótica sigue siendo una herramienta de asistencia para el cirujano y no un sistema autónomo. Aunque la IA puede mejorar la toma de decisiones, el papel del cirujano sigue siendo fundamental en la planificación y ejecución del procedimiento.

Uno de los principales desafíos en la implementación de la cirugía robótica es su elevado costo. La inversión en robots quirúrgicos y los instrumentos específicos es alta, lo que ha limitado su adopción masiva. Sin embargo, a medida que la experiencia mejora y la estancia hospitalaria se reduce, los costos tienden a equilibrarse.

Además, el costo social es un factor clave. Si los pacientes pueden reincorporarse a sus actividades normales más rápidamente, el impacto económico general es menor. No obstante, para garantizar un acceso equitativo a estos procedimientos, es necesario desarrollar estrategias que permitan su financiamiento y distribución en centros médicos de distintos niveles.

El desarrollo de nuevos dispositivos y la entrada de nuevos competidores en el mercado robótico podrían reducir los costos y facilitar el acceso a estas tecnologías. Actualmente, el sistema Da Vinci es el único ampliamente utilizado, pero la aparición de nuevas plataformas podría impulsar la innovación y la competencia.

Conclusiones

La cirugía cardíaca robótica y mínimamente invasiva representa el futuro de la cirugía cardiovascular, con beneficios en términos de precisión, menor invasión y mejor experiencia del paciente. Sin embargo, su implementación requiere un enfoque basado en evidencia, asegurando que los avances tecnológicos no comprometan la seguridad y eficacia de los procedimientos.

El uso de la inteligencia artificial en la cirugía cardíaca se está expandiendo, con aplicaciones en la evaluación de riesgos, la optimización intraoperatoria y la planificación preoperatoria. Aunque la IA no reemplazará al cirujano, su integración en la práctica médica puede mejorar significativamente los resultados clínicos.

Finalmente, los costos y la equidad en el acceso siguen siendo un reto importante. A medida que nuevas tecnologías surjan y la competencia en el mercado robótico aumente, es posible que estos procedimientos se vuelvan más accesibles y rentables, permitiendo su adopción en un mayor número de instituciones médicas.

En conclusión, la cirugía cardíaca robótica tiene un gran potencial, pero su consolidación depende del desarrollo tecnológico, la generación de evidencia sólida y la optimización de costos para su implementación a gran escala.

2. Endoscopía digestiva y telemedicina

José Carlos Marín Gabriel, médico y profesor asociado de la Universidad Complutense de Madrid, España, abordó los avances en inteligencia artificial (IA) aplicados a la gastroenterología y a la telemedicina, destacando el impacto de estas tecnologías en la detección y tratamiento de enfermedades digestivas.

Desde la década de 1960, la endoscopia ha evolucionado significativamente, incorporando tecnologías que optimizan la calidad de las exploraciones y la precisión diagnóstica. La IA ha revolucionado la gastroenterología, permitiendo mejorar la detección de patologías mediante endoscopios avanzados equipados con sistemas de aprendizaje profundo.

Fundamentos de la Inteligencia Artificial

La IA se basa en la creación de programas informáticos capaces de realizar tareas que tradicionalmente requieren inteligencia humana. Un subconjunto importante de la IA es el aprendizaje automático (machine learning), que permite a las máquinas aprender de datos y mejorar su desempeño a través de la experiencia. Amazon, por ejemplo, utiliza estos sistemas para ofrecer recomendaciones personalizadas de productos. Existen distintos tipos de aprendizaje en IA. Aprendizaje supervisado: Se entrena la máquina con datos etiquetados. Aprendizaje no supervisado: La máquina identifica patrones sin intervención humana. Aprendizaje semi-supervisado: Combinación de los dos anteriores. Aprendizaje profundo (Deep Learning): Utiliza redes neuronales artificiales para analizar datos complejos, similar al funcionamiento del cerebro humano.

Las redes neuronales artificiales, inspiradas en el cerebro humano, han sido clave en el desarrollo de IA avanzada. Estas estructuras multicapa pueden aprender características complejas de los datos y se utilizan en tareas como el reconocimiento de voz, imagen y traducción automática. Dentro de estas, las redes neuronales convolucionales (CNN) son especialmente efectivas para el análisis de imágenes y patrones visuales, lo que ha sido crucial en la mejora de los diagnósticos médicos.

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Endoscopia

Uno de los avances más notables en la gastroenterología ha sido la aplicación de la IA en la endoscopia. Existen sistemas que pueden evaluar la calidad de la exploración filtrando imágenes de baja calidad y seleccionando los fotogramas más representativos. En diversos estudios, los sistemas de IA han mostrado una alta precisión diagnóstica en la detección de lesiones gastrointestinales, con índices de acierto cercanos al 90%.

En la detección de neoplasias gástricas y esofágicas, los sistemas de IA han logrado niveles de precisión similares a los de los endoscopistas expertos. Un metaanálisis reciente reveló que la IA alcanzó un área bajo la curva ROC del 95% en la detección de cáncer gastrointestinal superior.

El Dr. Marín compartió su experiencia con la IA en el Hospital 12 de octubre y en el Instituto Clínico del Aparato Digestivo. Explicó que, aunque la IA ha demostrado ser eficaz en la mejora de diagnósticos, aún enfrenta desafíos, como el fenómeno de las "alucinaciones" de IA, donde el sistema puede generar información errónea o inventada. Un ejemplo notable fue un caso en el que la IA identificó correctamente la causa de los altos niveles de hierro en un paciente gracias a su capacidad para cruzar datos con información sobre la calidad del agua en su ciudad natal.

Otro punto importante fue el impacto de la IA en la variabilidad interobservador en gastroenterología y anatomía patológica. La IA permite reducir las diferencias en los diagnósticos entre distintos médicos, asegurando una mayor uniformidad y precisión en los resultados. Sin embargo, advirtió que la IA aún necesita supervisión humana para garantizar su precisión en casos más complejos.

Se discutió la democratización del acceso a la IA en medicina. Actualmente, los sistemas avanzados de IA son costosos y no están disponibles en todos los centros médicos, lo que genera desigualdades en el acceso a diagnósticos precisos. Se espera que, con el tiempo, el desarrollo de esta tecnología reduzca costos y permita su implementación generalizada en diferentes niveles del sistema de salud.

También comentó sobre el uso de la IA en endoscopia digestiva alta, donde la detección de lesiones es más difícil en comparación con el colon. Destacó que la IA puede mejorar la calidad de los procedimientos endoscópicos, asegurando una visualización más precisa de áreas clave del sistema digestivo. En este sentido, la IA actúa como un asistente que alerta a los médicos cuando no han inspeccionado adecuadamente ciertas zonas.

Uno de los aspectos más prometedores de la IA es su capacidad para acortar el tiempo de aprendizaje de los nuevos endoscopistas. Mientras que la formación tradicional requiere años de experiencia para desarrollar habilidades de detección precisas, la IA puede ofrecer asistencia en tiempo real y guiar a los profesionales en entrenamiento. Esto es especialmente relevante en regiones donde el acceso a médicos altamente especializados es limitado.

A pesar de sus beneficios, la IA todavía enfrenta limitaciones, especialmente en la caracterización de lesiones invasivas. Aunque los sistemas actuales tienen una alta tasa de acierto, aún existe un pequeño porcentaje de errores. Por ello, el papel del médico sigue siendo fundamental para evaluar y validar los resultados proporcionados por la IA.

La conversación concluyó con reflexiones sobre el futuro de la IA en medicina. Si bien hoy en día su papel se centra en mejorar la detección de lesiones y reducir la variabilidad en los diagnósticos, en el futuro podría desempeñar un papel más integral en la toma de decisiones clínicas. Se espera que la IA siga evolucionando, minimizando errores y facilitando una medicina más equitativa y eficiente.

IA en la Colonoscopia

Los ensayos clínicos han demostrado que la colonoscopia asistida por IA incrementa la tasa de detección de pólipos y adenomas. Un metaanálisis de cinco ensayos aleatorizados indicó que la IA mejoró en un 50% la detección de pólipos en comparación con la colonoscopia convencional, aunque no se encontraron diferencias significativas en la detección de adenomas avanzados. Otro estudio multicéntrico en seis hospitales tampoco mostró diferencias en la detección de neoplasias avanzadas entre el grupo con IA y el grupo de endoscopistas sin IA.

Los sistemas de IA pueden caracterizar lesiones en tiempo real durante la endoscopia. Sin embargo, algunos errores diagnósticos han sido identificados, como la confusión entre adenomas y lesiones hiperplásicas. Esto indica que aún no es viable depender completamente de la IA para decidir estrategias terapéuticas basadas en el diagnóstico óptico.

Los aportes se pueden resumir en:

- Evaluación de calidad de exploraciones: los sistemas de IA filtran imágenes de baja calidad y seleccionan las mejores para documentar el procedimiento.

- Detección de neoplasias: un estudio demostró que la IA diagnosticó correctamente lesiones, con únicamente un falso positivo. En el caso de neoplasias de esófago, estómago y colon, se alcanzó una precisión del 95%.
- Colonoscopia y detección de pólipos: en ensayos clínicos, la IA aumentó en un 50% la detección de pólipos en comparación con la colonoscopia convencional.
- Diagnóstico óptico en tiempo real: la IA puede diferenciar entre lesiones benignas y malignas con alta precisión, aunque aún existen errores diagnósticos.
- Lectura automatizada de cápsula endoscópica: en un estudio, la IA analizó 22,600 imágenes por paciente y filtró solo 600 relevantes, reduciendo el tiempo de análisis de 100 a 6 minutos.

Telemedicina y su impacto en la atención médica

La telemedicina, impulsada por IA, se ha convertido en una herramienta clave para mejorar el acceso a la atención médica, especialmente tras la pandemia de COVID-19. La consulta virtual ofrece beneficios como la reducción de costos y mayor accesibilidad para los pacientes. Sin embargo, presenta desafíos como la equidad en el acceso a internet y la seguridad de los datos.

Un estudio reciente comparó las respuestas de médicos y chatbots en foros de redes sociales y sorprendentemente los chatbots fueron preferidos por su empatía y claridad. Esto sugiere que la IA podría desempeñar un papel importante en la atención al paciente y en la generación automática de informes médicos durante procedimientos endoscópicos.

Desde la pandemia por COVID-19, la telemedicina ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar el acceso a la atención médica. Algunos beneficios incluyen:

- Mayor comodidad para los pacientes al evitar desplazamientos.
- Reducción de costos y mayor accesibilidad a consultas especializadas.
- Uso de IA para generar informes médicos automáticamente durante la consulta.

Sin embargo, también existen desafíos:

- Falta de equidad en el acceso a internet y dispositivos electrónicos.
- Privacidad y seguridad de datos.
- Falta de estudios comparativos entre atención virtual y presencial.
- Endoscópicos.

Algunos hospitales han integrado la IA en sus sistemas de historia clínica electrónica para ofrecer opciones diagnósticas y recomendar pruebas complementarias. Un ejemplo es un sistema de ayuda diagnóstica que, basado en los datos ingresados, sugiere diferentes diagnósticos diferenciales y guía la solicitud de pruebas complementarias.

La IA también está revolucionando la educación médica. Se han desarrollado avatares virtuales personalizados para simular pacientes y asistir en la formación de estudiantes de medicina. Además, pueden emplearse para reducir la ansiedad en los pacientes al proporcionarles información detallada sobre procedimientos hospitalarios.

Uno de los aspectos más debatidos en torno a la IA es la idea de que deshumaniza la medicina. Se discutió que la medicina ya ha sufrido procesos de deshumanización debido

a múltiples factores. La IA puede ser vista como una herramienta que, en lugar de alejar al médico del paciente, le permite concentrarse más en la atención humana al delegar tareas repetitivas y técnicas a sistemas inteligentes.

Consideraciones Futuras

La IA está revolucionando la gastroenterología y la telemedicina, mejorando la precisión diagnóstica y optimizando la atención al paciente. A pesar de sus avances, la IA en gastroenterología enfrenta desafíos como el sesgo en los datos utilizados para entrenar los modelos, la aprobación regulatoria de dispositivos médicos y la aceptación por parte de los profesionales de la salud. Sin embargo, el potencial de la IA para mejorar la atención médica es innegable.

Un futuro en el que la IA optimice la documentación clínica, mejore la detección de enfermedades y facilite la atención virtual es cada vez más realista. No obstante, su implementación debe realizarse con precaución para garantizar equidad, seguridad y eficacia en la práctica clínica.

El futuro de la medicina estará cada vez más influenciado por la inteligencia artificial y la robótica, lo que mejorará la eficiencia de los médicos y endoscopistas. Sin embargo, esto traerá desafíos éticos y legales que deberán regularse, como ya se está intentando en Europa. Se mencionan errores en la aplicación de IA en medicina, como cálculos inexactos y clasificaciones incorrectas, lo que resalta la importancia de la supervisión humana. A pesar de sus limitaciones actuales, se espera que la IA evolucione y minimice sesgos, ayudando a mejorar la práctica médica. La IA ya es una realidad en la endoscopia digestiva y continuará transformando la práctica médica en los próximos años. La clave estará en su correcta integración con la labor humana, asegurando que su uso sea ético, accesible y beneficioso para la mayor cantidad de pacientes posible.

3. ¿Qué se puede esperar en la cirugía del futuro?

Mariano Giménez, Profesor Titular de Cirugía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina y director del Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Estrasburgo, Francia, disertó sobre los avances significativos que la cirugía ha experimentado en las últimas décadas, especialmente con la evolución de la imagenología médica.

Desde las primeras radiografías en el siglo XX hasta los actuales tomógrafos y resonadores de alta precisión, la capacidad de diagnóstico y tratamiento ha mejorado exponencialmente. En la actualidad, estamos presenciando la incorporación de nuevas tecnologías que transformarán la práctica quirúrgica en los próximos años.

Uno de los avances más importantes es el desarrollo de quirófanos híbridos, los cuales combinan diversas tecnologías como laparoscopios, endoscopios, robots quirúrgicos, tomógrafos y resonadores para realizar procedimientos más precisos. Estos quirófanos permiten la integración de imágenes en tiempo real para la terapia intraoperatoria, mejorando los resultados de las intervenciones.

La realidad aumentada ha demostrado ser una herramienta valiosa en la medicina, ya que superpone información digital sobre elementos físicos. Un ejemplo de su aplicación es en

la punción venosa, donde un láser conectado con realidad aumentada permite visualizar las venas con una efectividad un 350% mayor, incluso en manos de profesionales experimentados. Esto no solo mejora la precisión del procedimiento, sino que también democratiza el acceso a una atención de mejor calidad.

Otro elemento clave es la realidad virtual, que se utiliza principalmente en la planificación y educación quirúrgica. La inmersión total en un ambiente digital permite a los cirujanos entrenarse en procedimientos complejos antes de realizarlos en pacientes reales. Sin embargo, la realidad mixta, que combina realidad virtual y aumentada, ofrece aún más ventajas al permitir la interacción con elementos físicos del mundo real. Esta tecnología se aplica en la cirugía de ablación tumoral hepática, donde se combinan imágenes de ecografía con modelos tridimensionales de las estructuras internas del paciente. Esto facilita la localización exacta de tumores y la navegación de instrumentos quirúrgicos con una guía electromagnética.

En la cirugía robótica, la combinación de estas tecnologías permite colocar los trocares con precisión, visualizar tumores en relación con vasos sanguíneos y transparentar órganos para una mejor comprensión anatómica. No obstante, el alto costo de esta tecnología plantea un desafío ético en cuanto a su accesibilidad y democratización.

La evolución de la cirugía puede compararse con la evolución del teléfono. Al final del siglo pasado, la transición del teléfono fijo al móvil representó un avance significativo, pero no revolucionario. La verdadera revolución llegó con los teléfonos inteligentes, que cambiaron la forma en que nos comunicamos e interactuamos con la tecnología. De manera similar, la cirugía ha pasado de procedimientos abiertos y mutilantes a técnicas mínimamente invasivas como la laparoscopia y la endoscopia. Sin embargo, el verdadero salto innovador ha sido el desarrollo de la cirugía de precisión, donde la tecnología ya no solo mejora las herramientas quirúrgicas, sino que se orienta al paciente y al cirujano.

La cirugía de precisión no se limita a la ubicación exacta de instrumentos dentro del cuerpo, sino que también se enmarca en el concepto de medicina de precisión. Esto significa que los tratamientos no se aplican de manera generalizada, sino que se personalizan según la biología del tumor, la patología del órgano afectado y las comorbilidades del paciente. Esta tecnología permite humanizar la medicina en lugar de deshumanizarla, ya que facilita tratamientos más efectivos y menos agresivos.

Un ejemplo de esta evolución es la cirugía hepática, donde se ha demostrado que extraer la menor cantidad posible de parénquima mejora la supervivencia del paciente y los resultados oncológicos. Tradicionalmente, las resecciones anatómicas implicaban la eliminación de grandes volúmenes de tejido sano, lo que generaba un dilema clínico. Para resolver este problema, en Estrasburgo se desarrolló una técnica que combina ablación tumoral y el uso de verde de indocianina para visualizar el área afectada. Esto permite realizar resecciones más conservadoras y precisas, resolviendo la aparente contradicción entre la necesidad de preservar tejido sano y la realización de una resección anatómica.

Estos avances han llevado a la creación de un consenso sobre la cirugía asistida por computadoras, que abarca desde procedimientos laparoscópicos hasta cirugía robótica y

automatización. La cirugía guiada por imágenes, un aspecto clave de esta disciplina, permite mejorar las habilidades del cirujano a través de la tecnología, potenciar los sentidos mediante la inteligencia artificial y optimizar la ejecución mediante la robótica. Esto contribuye a una cirugía más precisa, accesible y segura para los pacientes.

La imagenología ha evolucionado aún más con la introducción de la inteligencia hiperespectral, una tecnología en desarrollo que permitirá visualizar la perfusión de los tejidos sin necesidad de inyecciones contrastadas. Esta cámara especializada detecta oxígeno en los tejidos y permite diferenciar arterias y venas con solo activar un interruptor. Se espera que esta innovación transforme la cirugía en el futuro cercano, ofreciendo una nueva forma de evaluar la viabilidad de los tejidos y mejorar la seguridad de los procedimientos.

La cirugía ha avanzado significativamente gracias a la integración de nuevas tecnologías que optimizan la precisión de los procedimientos. Entre estas innovaciones, destacan la cirugía confocal, el aprendizaje profundo (deep learning) y la inteligencia artificial aplicada al diagnóstico y tratamiento quirúrgico.

Uno de los desarrollos más recientes es la cirugía confocal, que mejora la resolución de imagen en procedimientos laparoscópicos. Esto permite a los cirujanos observar en tiempo real las zonas de necrosis, la microcirculación hepática y la periferia de los tejidos afectados. Además, la combinación de algoritmos de machine learning facilita el análisis de imágenes y la toma de decisiones intraoperatorias.

La automatización en cirugía también está en crecimiento. En Estrasburgo, se ha desarrollado un sistema que evalúa la correcta aplicación de la visión crítica de seguridad en la colecistectomía laparoscópica, lo que ayuda a reducir lesiones de la vía biliar. A nivel de automatización robótica, los sistemas actuales se encuentran entre los niveles 2 y 3 en una escala de 0 a 5, con el objetivo de desarrollar robots autónomos para ablaciones guiadas, capaces de seguir un objetivo en movimiento sin intervención humana.

La inteligencia artificial ha demostrado ser superior al diagnóstico humano en ciertos casos, como en dermatología, al analizar grandes volúmenes de datos y literatura médica. Sin embargo, su implementación en cirugías complejas sigue siendo un desafío, especialmente en procedimientos abdominales donde la presencia de grasa y sangre dificulta la interpretación de imágenes.

Otro reto es la mejora de la realidad aumentada en cirugía. Actualmente, se busca que la imagen proyectada en el campo quirúrgico no sea estática, sino que se adapte dinámicamente a los movimientos del órgano en tiempo real. Esto permitiría una mejor integración de la realidad aumentada en la práctica clínica. Adicionalmente, el desarrollo de instrumentos quirúrgicos con señales electromagnéticas podría sustituir el uso exclusivo de imágenes para mejorar la navegación intraoperatoria.

En el ámbito de la educación quirúrgica, el acceso a centros de simulación es limitado en regiones como América Latina y África. Para abordar esta problemática, se han desarrollado plataformas digitales como el simulador (“PERSIA”), que integra ecografía,

tomografía y ablación percutánea para la formación en habilidades técnicas y no técnicas. Además, la realidad aumentada se utiliza para mejorar la enseñanza de la anatomía y la planificación quirúrgica.

Otro avance es la implementación de la educación digital y el entrenamiento remoto. Gracias a dispositivos como HoloLens, los cirujanos pueden interactuar con modelos tridimensionales de órganos y practicar procedimientos a distancia. Esto ha abierto nuevas oportunidades para la formación quirúrgica sin la necesidad de desplazamiento a centros especializados.

La combinación de inteligencia artificial, automatización robótica, realidad aumentada y simulación digital está transformando la cirugía moderna. Estos avances no solo mejoran la seguridad y eficacia de los procedimientos, sino que también democratizan el acceso a la formación quirúrgica a nivel global. Sin embargo, aún existen desafíos éticos, regulatorios y tecnológicos que deben ser abordados para garantizar la implementación equitativa de estas innovaciones.

El avance de la tecnología en la educación y formación quirúrgica ha revolucionado la manera en que los cirujanos adquieren habilidades y conocimientos. El e-learning ha evolucionado hacia el e-training, permitiendo el entrenamiento a distancia con herramientas digitales avanzadas. La simulación 3D, los juegos serios y la realidad virtual han facilitado la enseñanza de procedimientos médicos complejos, mejorando la curva de aprendizaje de los cirujanos.

Uno de los desarrollos más innovadores en este campo es el uso de “juegos serios” diseñados para entrenar cirujanos en la toma de biopsias y otros procedimientos. Estas herramientas permiten la práctica desde una computadora con cámara, ofreciendo simulaciones precisas sin la necesidad de equipos quirúrgicos costosos. Además, se han creado simuladores para hospitales que posibilitan la práctica de procedimientos más complejos.

En Buenos Aires, se están grabando cirugías con múltiples cámaras, incluyendo cámaras de 360 grados, lo que permite a los estudiantes sumergirse en la experiencia quirúrgica mediante cascos de realidad virtual. Este tipo de aprendizaje inmersivo facilita la observación detallada de los procedimientos y la interacción con los profesionales en tiempo real.

Otra innovación significativa es el uso del metaverso para la formación quirúrgica. Cirujanos de distintas partes del mundo pueden reunirse en un entorno virtual, discutir casos clínicos y simular procedimientos. Esta tecnología no solo permite la interacción, sino también la simulación de cirugías en tiempo real. La combinación del aprendizaje presencial con estas herramientas digitales optimiza el entrenamiento y reduce la necesidad de traslados costosos.

En el ámbito de la simulación quirúrgica, no solo se han desarrollado técnicas para cirugías mínimamente invasivas, sino también para cirugías abiertas. Los simuladores permiten a los cirujanos practicar procedimientos en un entorno controlado antes de enfrentarse a casos reales, lo que mejora la seguridad y precisión de las intervenciones.

El mentoreo remoto es otra de las aplicaciones clave de la tecnología en la formación quirúrgica. Con el uso de dispositivos de transmisión en vivo, expertos pueden guiar a

cirujanos novatos desde cualquier parte del mundo. Este tipo de mentoría ha demostrado ser especialmente útil en procedimientos complejos, permitiendo la intervención de especialistas en tiempo real.

La preocupación por la deshumanización de la medicina con la incorporación de la tecnología ha sido un tema recurrente. Sin embargo, se argumenta que lo que deshumaniza no es la tecnología en sí, sino su mal uso. La cirugía moderna se centra en tres pilares fundamentales: precisión, personalización y empatía. La interacción humana sigue siendo esencial, ya que el trato con pacientes y colegas es irremplazable. PET

Los avances tecnológicos en cirugía también han generado cambios en la distribución del poder dentro del campo médico. La inteligencia artificial y la robótica han permitido que cirujanos jóvenes tengan acceso a herramientas y conocimientos que antes estaban reservados para expertos con décadas de experiencia. Este cambio ha generado resistencia en algunos sectores, pero la historia muestra que la inclusión de nuevas tecnologías siempre ha impulsado el desarrollo.

El impacto de la pandemia de COVID-19 ha acelerado la digitalización del aprendizaje y la formación quirúrgica. Antes, la educación médica dependía de la movilización y el acceso presencial a centros de formación. Hoy, el aprendizaje en línea, los webinars y la simulación digital han tomado un rol protagónico, reduciendo costos y facilitando el acceso a la educación en regiones con menos recursos.

El entrenamiento quirúrgico ha pasado de ser un proceso basado en la práctica con pacientes reales a uno basado en simulación y entrenamiento digital. Sin embargo, las habilidades no técnicas y el criterio médico siguen siendo elementos esenciales que deben cultivarse. Es fundamental fomentar el liderazgo en cirugía, promoviendo programas de mentoría que formen a la próxima generación de cirujanos con una visión innovadora y colaborativa.

En conclusión, la combinación de tecnología, educación y colaboración global está transformando la cirugía moderna. El desafío no es solo adoptar nuevas herramientas, sino integrarlas de manera efectiva sin perder de vista la empatía y la humanización en la práctica médica. La innovación en la educación quirúrgica está marcando el camino hacia un futuro donde la formación será más accesible, eficiente y precisa.

En su conclusión final hizo referencia a Lynn Margulis, bióloga que en 1967, luego de 15 intentos fallidos, Margulis consiguió en 1967 que su artículo *Origin of Mitosing Cells*, fuera publicado en la revista *Journal of Theoretical Biology*. Dirigió el foco del estudio de la evolución hacia la microbiología, dando, no con escasa oposición, una nueva vuelta de tuerca a la teoría propuesta por Charles Darwin. A grandes rasgos, lo que la teoría endosimbiótica de Margulis proponía era que las células eucariotas, es decir las células con núcleo, evolucionaron a partir de la simbiosis entre bacterias que habían existido hasta el momento de manera independiente. Demostró así que la cooperación es el origen de uno de los más importantes saltos evolutivos. Para la cirugía, la medicina y para todo en el la vida: más Margulis y menos Darwin. Mas cooperación y menos competencia es el futuro.

V. BIENESTAR MÉDICO

1. Bienestar médico y el futuro de la práctica médica.

Al'ai Alvarez, MD, Profesor Asociado y director de Bienestar en Stanford Emergency Medicine, Stanford, EEUU, relató su experiencia en emergencia y su transición a la educación médica:

...“después de trabajar durante unos 5 a 7 años como subdirector médico del departamento de emergencias más concurrido del área de la bahía de San Francisco, hice la transición a la educación médica donde comencé a enseñar en la cabecera del paciente. Haciendo algo muy estresante, viniendo de un hospital local a trabajar en un “centro de súper excelencia” sentí esta idea del “fenómeno del impostor”. Me decía a mí mismo ... “finge hasta que lo logres”, y luego me di cuenta que en realidad este es un problema común, que no estaba solo en Stanford. Padecía de lo que llamamos el “síndrome del pato de Stanford”: flotamos en un estanque y parece que estamos trabajando, pero en realidad estamos revoloteando para permanecer a flote”...

Parece que hemos dominado el “dejarte llevar hasta que lo logres”, que todos trabajamos como si simplemente fuéramos la realidad y muchos de nosotros tenemos una falla en nuestro curriculum, que ni siquiera resalta nuestros mejores aspectos. Nos escondemos por vergüenza, quizás por los errores médicos. Según un estudio, especialmente antes de la pandemia, los errores médicos fueron la tercera causa principal de muerte en los Estados Unidos, por lo que creo que es importante entenderlo.

Esos somos nosotros, estamos trabajando constantemente en un lugar donde ocurren errores y a menudo somos muy duros con nosotros mismos, mucho peor de lo que veríamos en otros colegas y, por lo tanto, para superar la sensación de agotamiento (“burnout”), no se puede simplemente confiar en la resiliencia para salir de él. Sin embargo, de lo que me he dado cuenta y lo que hemos aprendido aquí en Stanford WellMD, es que la autocompasión es protectora contra el burnout. Es importante entender que sentir compasión por nosotros mismos no nos libera de la responsabilidad de nuestras acciones, más bien lo que hace es que nos libera de ese odio a nosotros mismos. Al responder a nuestras necesidades podemos ver las cosas más claras y tener esta perspectiva de equilibrio.

Hablamos de los tres componentes necesarios para lograr la realización profesional. Número uno, es realmente importante entender que es necesaria la autocompasión para desarrollar esta resiliencia personal. En segundo lugar, la cultura del bienestar, y en tercer lugar, la eficiencia de la práctica médica. Según la encuesta de bienestar de Stanford de 2016 de más de mil médicos, los que sienten autocompasión son los que menos sufren burnout.

La autocompasión es difícil de enseñar y de aprender. El autosacrificio profesional de hiperformación, un buen desempeño en la escuela o el trabajo, estar dispuesto a no dormir lo suficiente es más fácil, aunque no dejemos espacio para nuestras necesidades. Nos sacrificamos para abordar simplemente nuestras prioridades y responsabilidades. Se puede mejorar, para lo que se requiere intencionalidad y práctica deliberada, con el imprescindible establecimiento de límites.

Hay que reconocer algunas frustraciones que tienen las personas cuando comienzan a practicar la autocompasión. Pasan por un recordatorio de esos factores desencadenantes que fueron las experiencias que nos bloquearon porque no queríamos lidiar con ellas en primer lugar. Ahora también quiero aclarar que la autocompasión no resuelve los problemas, sino que nos permite saber cómo nos afectan los problemas y enfocarnos en lo que está bajo nuestro control. También significa decir “NO” a muchos requerimientos o poder decir “TODAVIA NO”. La autocompasión no significa simplemente que tengamos que ser amables con todos los demás, a costa de sacrificarnos a nosotros mismos

Para comprender el futuro de la medicina, se remitió a los conceptos de Thai Shanafelt. El médico que comienza su ejercicio profesional, pasa por la primera etapa de sufrimiento con repercusión afectiva, porque sólo se enfoca en los pacientes y se espera que sea perfecto, exclusivo y que tenga la última palabra. No nos importa lo que estén experimentando como médicos, solo queremos asegurarnos de que el hospital prospere y continúe existiendo. En lugar de soportar la angustia, deberíamos cuidarnos a nosotros mismos. En nuestro programa comenzamos a tratar la angustia y a mitigar el estrés.

Un ejemplo de eso es la creación de programas de tutoría. Lo desarrollamos en la pandemia para apoyar específicamente a la medicina no solo centrada en el paciente, sino en la relación médico-paciente. Propendemos a desarrollar conductas y hábitos conscientemente elegidos para que conecten con nuestros valores: compasión, creatividad, diversidad, curiosidad, aventura, pertenencia.

Los ateneos dirigidos a mortalidad y morbilidad ayudan al manejo de la repercusión afectiva de los errores médicos. Crear por ejemplo grupos de trabajo en resucitación cardiorrespiratoria, ayuda a crear gratitud y aprecio mutuo. Ese aspecto de la autoevaluación, crea espacio para que mejoremos con amabilidad. Si el paciente muere, en lugar de simplemente permitir que las personas se cuiden a sí mismas y sigan su camino después de salir de esa habitación, ahora establecemos las sesiones para reconocer las diferentes emociones que existen después de cada reanimación.

También nos tomamos un tiempo para celebrarnos a nosotros mismos, incluido tomarnos un descanso, incluido reconocer cuándo nos sentimos abrumados y tomar los pasos para realmente manejar eso y no solo ponerlo en manos del individuo.

Espera que esta charla haya dejado sentido de esperanza. El arduo camino de la medicina es el camino elegido. No somos los mejores, no somos perfectos, no tenemos que serlo, somos lo suficiente.
