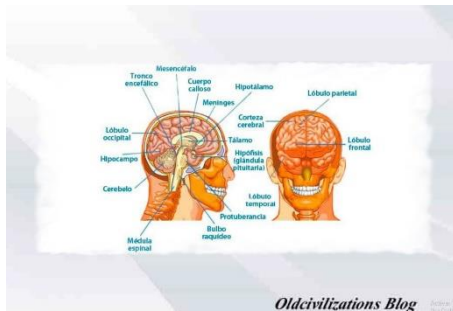


Autor: Manel Sancho (<https://oldcivilizations.wordpress.com>); fecha: 28/5/2024

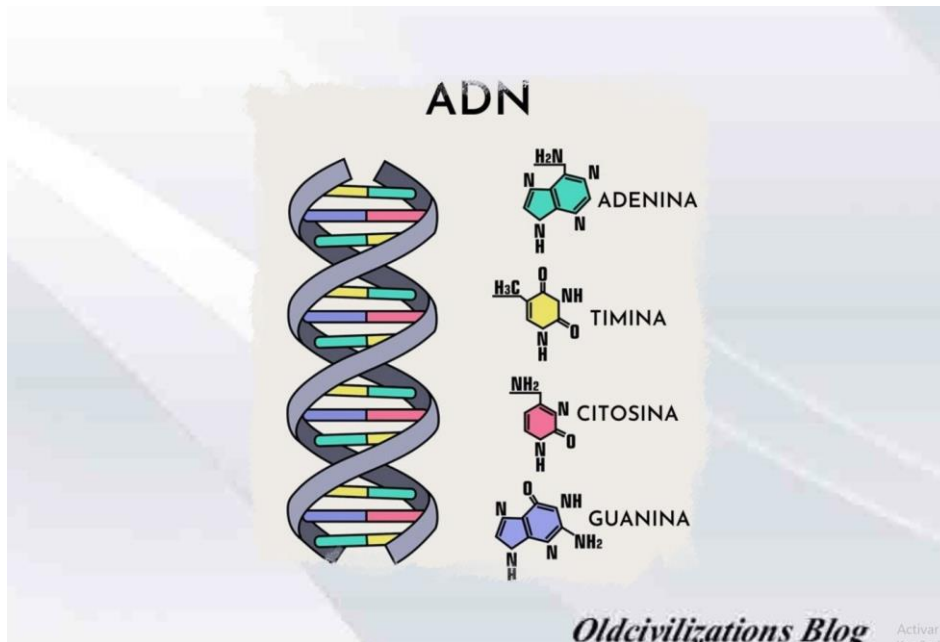
Este tema lo dividiré en dos artículos. El primero y actual trata básicamente de como la Inteligencia Artificial (IA) puede ayudar a detectar enfermedades, a encontrar medicamentos, a actuar en temas neurológicos o debidos al envejecimiento, en el uso de la robótica y los implantes, o en el uso de la nanotecnología. En el segundo artículo trataré sobre la edición genética, la epigenética, el electromagnetismo del cuerpo humano, la realidad virtual y aumentada y las nuevas teorías sobre el posible entrelazamiento cuántico. Actualmente vemos como la Inteligencia Artificial (IA) interrelaciona con otras tecnologías, como la robótica, la biotecnología, la bioquímica, la nanotecnología, la neurotecnología, la computación cuántica, la realidad virtual, la farmacología, etc..., produciéndose una realimentación continuada entre estas distintas tecnologías. En la detección de enfermedades la Inteligencia Artificial (IA), a través del procesamiento de datos, puede contribuir al desarrollo de nuevas propuestas en el



Oldcivilizations Blog

cuidado de la salud. En efecto, datos como la secuenciación del ADN, datos clínicos, electrocardiogramas, radiografías y rayos X, Tomografía Axial Computarizada (TAC), Microscopio de fluorescencia (estudio de células normales y patológicas), Imagen por resonancia magnética funcional (fMRI), Magnetoencefalografía (MEG), Electroencefalograma (EEG), ciclotrones para producir radioisótopos para fabricar un tipo de medicamento para diagnosticar y tratar cánceres,

etc..., pueden ayudar en el diagnóstico de enfermedades y para conocer mejor el funcionamiento del cuerpo humano. Como ejemplo tenemos las imágenes del tórax obtenidas con rayos X para que algoritmos de IA pudiesen aprender a detectar si se trataba de neumonía o COVID-19. En la lucha por frenar el envejecimiento y las enfermedades se está utilizando la tecnología más sofisticada, tales como órganos impresos en 3D, ultrasonidos portátiles o nanobots que recorren los vasos sanguíneos. Este es el futuro no tan lejano de la medicina. También la cirugía cardíaca en humanos se revolucionará algún día mediante el uso de diminutos robots (nanobots) que rastreen nuestras arterias y eliminen la placa que se acumula en las paredes de las arterias y que actúan como una barricada al estrechar esas vías e interrumpir el flujo sanguíneo. Al final, las arterias se estrechan tanto que el corazón no puede recibir suficiente sangre, por lo que el transporte de oxígeno se interrumpe y se produce un infarto de miocardio o un ictus cerebral. Actualmente existen varias formas de tratar los infartos de miocardio, despejando o desviando las arterias mediante stents o bypass. Estos métodos tienen un coste elevado, tales como cateterismo, cirugía a corazón abierto, rehabilitación prolongada y un sistema circulatorio comprometido. Pero se están descubriendo nuevas tecnologías que nos ayudarán a vivir más tiempo y con mejor salud.



La Inteligencia Artificial (IA) es quizás la mayor revolución tecnológica del siglo XXI. En la actualidad, prácticamente ningún desarrollo tecnológico escapa al uso o influencia de la IA. La podemos encontrar en situaciones cotidianas como en el uso de nuestro teléfono inteligente o en algunas más sofisticadas, como un robot que realiza una cirugía compleja a un paciente que tiene una condición cardíaca crítica. Todo apunta a que la capacidad de aprendizaje es un aspecto importante cuando se trata de explicar qué es la inteligencia. No hay duda de que las aplicaciones basadas en IA están más allá de cualquier predicción que se pueda hacer en este momento. Sin embargo, el mundo que conocemos está experimentando cambios vertiginosos donde la IA, en muchos casos, ha tomado un papel protagonista. Es por ello que, en la medicina y el cuidado de la salud, el siguiente paso en su evolución no puede darse sin el apoyo de esta tecnología. Desde tiempos inmemoriales, la medicina se ha centrado en la cura de enfermedades y dolencias de todo tipo de pacientes. Primero se manifiestan los síntomas antes de poder tomar decisiones sobre la salud de una persona, pese a que en muchos casos estos pueden llegar tarde. No obstante, este enfoque está cambiando, pues mantenerse y envejecer con buena salud comienza a ser relevante. De hecho, la medicina está pasando de ser una disciplina reactiva a una predictiva, participativa, personalizada y preventiva, que recibe el nombre de "*Medicina 4P*". Lo anterior será posible en la medida en que podamos obtener información y conocimiento de los datos relacionados con la salud de los pacientes, en particular sobre su ADN, su historia clínica y el entorno en el que han vivido, entre otros. Claramente estamos ante un gran desafío, el cual comienza con la consolidación de datos que garanticen un acceso seguro para fines de estudio, y por supuesto, para ayudar a los pacientes con sus dolencias. Le sigue la capacidad de procesamiento de estos datos, para la extracción de patrones que ayuden a todo el personal sanitario en tareas como el diagnóstico, el tratamiento, la medicación, etc., con el fin de brindar una ayuda adecuada tanto al paciente como al personal de salud, siguiendo con el objetivo de mantener a la población sana. Por ello son tan importantes el aprendizaje automático y las posibles aplicaciones de la IA en la medicina.

¿Cómo aprendemos los seres humanos? Aprendemos a través de ejemplos que producen cambios en nuestra red neuronal, los cuales nos permiten analizar sonidos, imágenes, movimientos, sensaciones, etc. En este sentido, el aprendizaje automático de un algoritmo de IA es muy similar, es decir, se necesitan muchos ejemplos para que la IA pueda extraer patrones a partir de los datos, que luego le permitan extrapolar una decisión futura. Cuando se reciben como entrada datos que no pertenecen al conjunto de entrenamiento, y para los que no se conoce la respuesta, el algoritmo de IA dará la mejor predicción basada en lo que conoce. Un algoritmo será capaz de aprender cuando se le asigna una tarea, entrenamiento y una medida de desempeño, de tal forma que su

rendimiento mejora con la experiencia. En base a esto, los algoritmos de IA pueden tomar decisiones, hacer predicciones, clasificar objetos, predecir una enfermedad, encontrar un medicamento, dar instrucciones a robots y un enorme conjunto de posibles usos y aplicaciones. En este contexto, los datos juegan un papel central para lograr un entrenamiento correcto, pues si no están limpios y consolidados, el algoritmo se verá afectado y se reducirá su capacidad de aprendizaje. En consecuencia, perjudicará todos los usos descritos anteriormente, imposibilitando la creación de herramientas útiles. El Aprendizaje Automático es el concepto que agrupa al conjunto de algoritmos de IA que son capaces de aprender a partir de los datos. Según el tipo de dato y el algoritmo a utilizar, el proceso de aprendizaje se puede clasificar en supervisado, no supervisado, por refuerzo y por aprendizaje profundo. En el aprendizaje supervisado se crea un conjunto de datos de entrenamiento donde se conoce la entrada y salida. Luego, el algoritmo aprende las asociaciones entre estas para crear un modelo matemático que se valida y prueba con datos reales antes de que pueda utilizarse. Una situación diferente ocurre en el aprendizaje no supervisado donde el algoritmo aprende las asociaciones en los datos de entrenamiento, pero desconoce el resultado, identificando patrones no descubiertos. En el aprendizaje por refuerzo, el algoritmo aprende un comportamiento a través de prueba y error para maximizar una recompensa definida.

En el aprendizaje profundo se crean modelos computacionales compuestos por varias capas de procesamiento, siendo las de entrada las que preparan los datos para transformarlos en vectores, los cuales luego son procesados por una red neuronal artificial de varios niveles, permitiendo procesar grandes cantidades de datos para extraer patrones que detecten o clasifiquen objetos. Dado una colección de datos, se intenta extraer patrones y reglas sobre cómo usarlos. El supuesto básico es que los datos no son aleatorios y que existen relaciones intrínsecas entre ellos, en decir, “regularidades” que luego pueden detectarse y representarse como patrones que permiten entrenar un algoritmo de IA. Por lo tanto, si los datos no son adecuados, su dispersión es alta o no existen relaciones posibles entre ellos, por lo que no habrá ningún algoritmo capaz de ejecutar una tarea sobre el tema en estudio. Es por ello que se utilizan técnicas estadísticas para analizar la calidad de los datos y prospectar sus posibles usos en un proceso de entrenamiento. A partir de un conjunto de datos, se seleccionan los datos objetivo, es decir, aquellos que se considerarán para analizar el tema en estudio. A continuación, se desarrolla un proceso de transformación a vectores de características, los cuales se dividen en tres grupos: entrenamiento, validación y prueba. Los primeros se utilizan para entrenar el modelo aplicando el algoritmo de aprendizaje automático seleccionado. Luego este es validado para comprobar si hay problemas de sobre o bajo ajuste. Después, se aplican pruebas para obtener alguna medida de efectividad, como la precisión. Al término de este proceso, el modelo se pone a disposición del usuario, proporcionando información útil para la toma de decisiones. Teniendo en cuenta la cantidad de datos relacionados con la salud de las personas, y que su crecimiento futuro será exponencial, a medida que se vaya digitalizando más información, ya no es posible utilizar métodos tradicionales de extracción de información, fundamentalmente manuales, para obtener algún resultado. De esta forma, los algoritmos de IA de aprendizaje automático se han convertido en la nueva forma de procesar grandes volúmenes de datos, los cuales en muchos casos son complejos. Los algoritmos de aprendizaje automático y un subconjunto de ellos, como el aprendizaje profundo, permiten crear modelos computacionales en salud para obtener patrones novedosos. Por ejemplo, utilizando imágenes digitalizadas del tórax de varios sujetos, obtenidas a través de rayos X, después de un aprendizaje por parte de algoritmos de IA se puede detectar si un paciente tiene neumonía o COVID-19. El modelo de aprendizaje se entrena mediante el uso de un conjunto de técnicas, que en este caso se basa en la detección de objetos, para predecir si una nueva imagen de tórax se clasifica como normal, como con neumonía o como con COVID-19. Los datos médicos están disponibles en una enorme variedad de tipos y fuentes, que incluyen enfermedades, salud pública, pronósticos, diagnósticos, imágenes, series temporales, etc.; y todo indica que aumentarán a medida que tengamos más y mejores sensores. Estos datos son complejos de analizar, aun cuando existan muy pocos registros, lo que los convierte en un desafío para el aprendizaje automático. Además, en muchos casos no está del todo claro qué métodos se utilizaron para asegurar su calidad, lo que influye directamente en la capacidad

predictiva del modelo a entrenar. No hay duda de que las aplicaciones de aprendizaje automático en medicina, más precisamente del aprendizaje profundo, son enormes y seguirán expandiéndose en los próximos años.

¿Por qué envejecemos? Ya sea impulsado por un reloj interno en nuestros genes, indicado por la longitud de los telómeros de nuestros cromosomas, o por el desgaste de toda una vida, el envejecimiento a menudo puede mitigarse mediante nuestras elecciones de estilo de vida. Como ejemplo tenemos el caso de una mujer de 104 años de Okinawa (Japón), cuyo proceso de envejecimiento ha sido muy estudiado por la comunidad científica. El envejecimiento es, junto con el sueño, uno de los misterios fundamentales de la biología humana. ¿Qué hace que el cuerpo se ralentice, que sus células dejen de dividirse y que sus órganos sean víctima de enfermedades y discapacidades cada vez mayores? Nadie tiene las respuestas definitivas a estas preguntas, pero las teorías pueden agruparse en dos campos: el daño gradual a lo largo del tiempo y la programación genética. El primer grupo de teorías sostiene que el cuerpo envejece debido al desgaste que se acumula en los tejidos con el paso de los años. Los productos de desecho se acumulan en las células, los sistemas de reserva fallan, los mecanismos de reparación se estropean gradualmente y el cuerpo simplemente se desgasta como un coche viejo. El segundo grupo afirma que el envejecimiento viene determinado por los genes, por un reloj molecular interno que se ajusta a un calendario particular para cada especie. Esta teoría se apoya en estudios con animales, puesto que algunos científicos han conseguido aumentar la esperanza de vida de algunos animales alterando un solo gen. Los biólogos señalan que, desde un punto de vista evolutivo, los efectos de la selección natural disminuyen mucho después de la edad reproductiva. La evolución favorece a los genes que son beneficiosos al principio de la vida, ya que dedican los recursos del organismo a la reproducción y dejan menos recursos disponibles para el mantenimiento a largo plazo.

Pero antes de avanzar veamos un pequeño resumen sobre las células y el ADN. Si representásemos el ADN como un libro, cada capítulo de ese libro, los genes, contendría las informaciones propias de las características de una especie. Para transmitir sus mensajes, el ADN tiene que ser descifrado y traducido por la fábrica celular. De hecho, las células deben ser capaces de leer las informaciones almacenadas con el fin de fabricar las proteínas comunes a una especie, como las que componen, por ejemplo, los miembros o los órganos de un ser humano, o las alas de un pájaro, o la visión nocturna de un gato. Las diferentes células del organismo contienen en su núcleo un mismo ejemplar del ADN, el cual contiene la totalidad de la información genética necesaria para todas las células del organismo. Por tanto, cada célula, del hígado, del páncreas o de un músculo, solamente lee los genes que son útiles para la producción de las proteínas que necesita para su correcto funcionamiento. En el libro del ADN, algunas páginas pueden estar marcadas con vistas a su uso inmediato. Otras, por el contrario, pueden que sean ilegibles. Los marcadores químicos y biológicos permiten la lectura de un gen para elaborar las proteínas y las enzimas indispensables para el funcionamiento de la fábrica celular. Asimismo, pueden inhibir un gen, que sigue existiendo pero se vuelve silencioso, gracias a numerosos mecanismos y funciones que dependen principalmente del comportamiento de un organismo vivo a lo largo del tiempo. Pero el hecho de conocer la secuencia de las letras químicas que componen un gen no basta para predecir de qué manera este se expresará en tal célula o tal otra, o incluso en el conjunto del organismo. Mientras que la genética, la disciplina destinada al estudio del carácter hereditario de los genes transmitidos por los padres a sus descendientes, existe desde principios del siglo XX, se desconocía todo acerca de su estructura molecular hasta 1953 en que el biofísico británico Francis Crick y el genetista estadounidense James Watson levantaron el velo del secreto. Fueron ellos los primeros en describir el ADN como una molécula en tres dimensiones. Su representación de una estructura de doble hélice, enroscada alrededor de un eje, en la que cada hebra está formada por una serie de grupos químicos llamados bases se hizo célebre en el mundo entero.

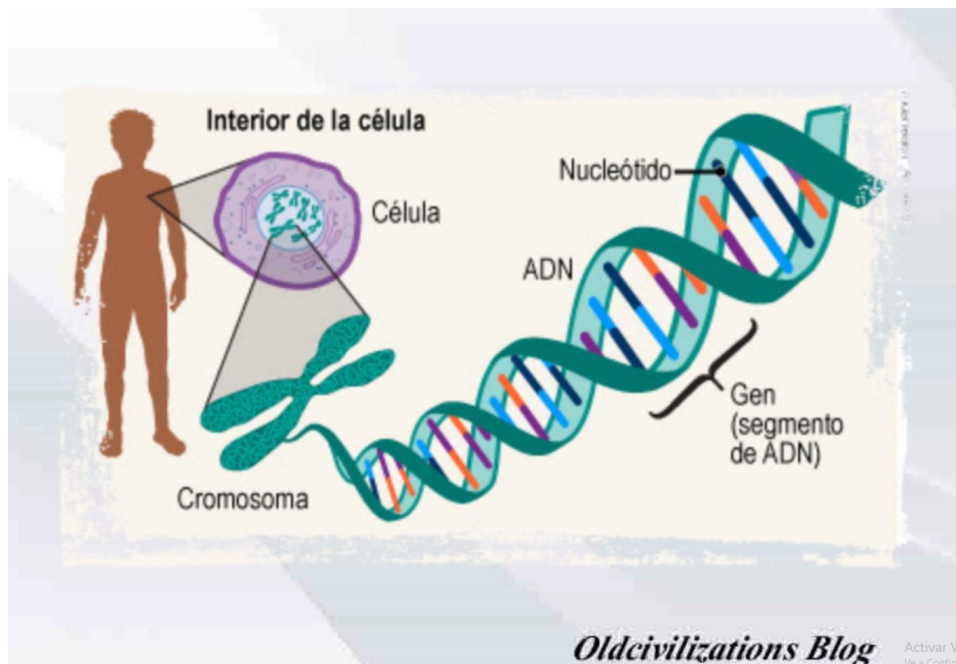
Esta revolución de las ciencias de la vida transformaría radicalmente los conocimientos sobre genética. Gracias a ella, los científicos han comprendido los principios fundamentales de la transmisión de caracteres hereditarios y la posibilidad de mutación

por la modificación de las 4 bases (letras) del mensaje genético. A nivel molecular, es como si un error tipográfico en el texto transformase totalmente su significado. En este contexto, los investigadores ponen en marcha, en la década de 1990, el *Proyecto Genoma Humano*. Equipos de investigación interdisciplinarios, compuestos por informáticos, biólogos, médicos, matemáticos, físicos, químicos, etc., lograrán leer, escribir y, en cierto sentido, programar la vida. Se trata de un proyecto faraónico, en que la secuencia completa (la cartografía) del ADN del genoma humano no se finalizó hasta el 2003, tras aplicar recursos considerables. A partir de ese éxito, estamos en condiciones de descifrar y escribir los códigos de la vida, de fabricar genes sintéticos y, de algún modo, crear el software de la vida. Además del ADN, las otras grandes protagonistas de esta revolución son las proteínas. El ADN contiene los genes, es decir, la información y los planes moleculares, mientras que las proteínas y las enzimas son las ejecutoras. A partir de los planes del ADN, ellas construyen los ladrillos de la célula-fábrica y constituyen las máquinas-herramientas que garantizan su funcionamiento. En toda célula viva las proteínas se dividen en dos categorías: las proteínas de construcción, como el colágeno, y las enzimas o proteínas de acción, que son como nanomáquinas que se asimilan, cortan o unen a otras moléculas. La transcripción es el proceso de copia del ADN en el «ARN mensajero» (ácido ribonucleico mensajero), el cual interviene en la conversión del ADN en proteína. En cuanto a la traducción, permite la expresión de los genes transportados por el ADN. Presentes en cada una de nuestras células, las proteínas desempeñan un papel esencial. Forman el fenotipo molecular celular y orgánico, es decir, el conjunto de características bioquímicas de un organismo vivo. Hay que remarcar que el genotipo diseña el conjunto de los genes de un organismo vivo, mientras que el fenotipo representa el carácter visible atribuido por uno o más genes. Por ejemplo, ciertos genes determinan el color de la piel, del cabello o de los ojos, el tamaño de las manos, la forma de la cabeza, etc., mientras que otros genes le indican al cuerpo cómo comportarse frente a una agresión exterior, como, por ejemplo, un virus.

Hay algunas proteínas, denominadas enzimas, capaces de catalizar reacciones químicas en las células, que abrirán la doble hélice del ADN y transcribirán los genes del ADN en una simple hebra llamada «ARN mensajero» (ARNm), que contiene una copia del código genético. Si observásemos los mecanismos de síntesis de las proteínas a escala nanoscópica molecular podríamos ver cómo el ARN abandona el núcleo de la célula a través de partículas celulares complejas compuestas de proteínas y ARN, llamadas «ribosomas». Actuando como «cabezalectores», los ribosomas pueden leer el código genético. A continuación, gracias a adaptadores llamados «ARN de transferencia», los aminoácidos que transportan se enganchan unos a otros en el orden exacto marcado por el código genético, creando así una cadena de proteínas, que están compuestas de aminoácidos. Imaginemos una proteína como un tren con veinte vagones separados unos de otros, en que cada uno de esos vagones representa uno de los veinte aminoácidos que se utilizan para crear proteínas. Dependiendo del orden en que se combinen los aminoácidos, obtendremos miles de proteínas diferentes. Aquí encontramos el principio del ensamblaje de las cuatro letras del código genético: A, T, G y C. Basta ordenar las letras en un orden diferente para obtener múltiples distintas soluciones o planes para fabricar proteínas con formas y funciones distintas. Los científicos pudieron ratificar su deducción mediante la observación directa, a través del microscopio electrónico o mediante simulación por ordenador, de esa síntesis en dos etapas: transcripción del ADN en ARN mensajero y traducción del ARN mensajero en proteínas. Vemos pues que la célula ensambla una cadena de proteínas combinando los aminoácidos según la información contenida inicialmente en el ADN. De este modo los investigadores pudieron ver cómo toda la sucesión de ribosomas leía los mensajes del ARN, y también cómo las pequeñas cadenas de proteínas se formaban, se agrandaban y luego se desprendían, nada más terminar, para reagruparse en el citoplasma celular. Para estudiar la expresión de los genes se utilizan numerosas herramientas moleculares, como por ejemplo las enzimas, que permiten tanto cortar o pegar los fragmentos de ADN como “fotocopiarlos”. Con ayuda de un microscopio muy potente es posible ver cómo la molécula de ADN se enrolla alrededor de las histonas, que son una variedad de proteínas localizadas en el núcleo de las células, como si fuese un hilo en una bobina. Las histonas son esenciales para las células del organismo y forman parte de la estructura de una sustancia compuesta de moléculas de ADN, ARN y proteínas,

denominada «*cromatina*», que desempeña un papel muy importante, ya que participa en la construcción de los cromosomas.

Para que nos hagamos una idea, las histonas permiten que alrededor de dos metros de molécula de ADN se compacten en la cromatina. Pero, ¿cómo se libera el ADN compactado? Imaginemos un cajón cerrado en que los genes que se encuentran en su interior no pueden transcribirse ni traducirse a menos que dispongamos de la llave para abrirlo. Pero existe un medio para usar la llave que activará el mecanismo, que consistiría en la modificación de las histonas. Ello activará la apertura del cajón y, por tanto, el bloqueo o desbloqueo de determinados genes. Gracias a esa llave, será posible asegurar la transcripción de los genes en el ARN mensajero y, a continuación, traducir el mensaje genético en proteínas. Un gen inhibido equivale a un cajón cerrado, donde no son posibles ni la transcripción ni la traducción. En cambio, cuando el cajón se abre, la expresión del gen conduce a la producción de una proteína. La apertura y el cierre del cajón genético están asegurados por los mecanismos de metilación de los genes o de las histonas. Tal como he dicho anteriormente, las enzimas y las proteínas actúan como máquinas-herramientas moleculares en las cadenas de ensamblaje o bien como ladrillos para la construcción de las células. Además, intervienen en la regulación del funcionamiento de la «*fábrica celular*». Sin embargo, se ha descubierto que los códigos que permiten leer los genes y transcribirlos para producir esas enzimas y proteínas no representan más del 2% del espacio de almacenaje de la información genética que compone el genoma. Esto fue una sorpresa para los científicos, que se preguntaban para qué servía el 98 por ciento de espacio no codificado del genoma. Ese espacio contiene pequeñas moléculas de ARN y, sobre todo, de «*ARN interferente*» que modulan la mecánica genética. Y esta modulación depende en gran medida de nuestros comportamientos, de nuestras emociones y de nuestros modos de vida. Antes de encontrar una explicación satisfactoria para este 98% de ADN no codificante en su mayor parte, los biólogos habían decidido denominarlo «*ADN basura*». Hoy sabemos que ese ADN no codificante forma el epigenoma, es decir, el conjunto de genes que determinan las modificaciones epigenéticas de una célula gracias a la producción de moléculas que no son solamente proteínas y enzimas, como sucede en los mecanismos habituales de la vida celular, sino pequeñas moléculas de ARN que circulan por todo el cuerpo y actúan como interruptores químicos de abrir/cerrar. Este destacable descubrimiento ha allanado el camino de la epigenómica. Antes del descubrimiento de las funciones secretas del ADN no codificante, la mayoría de los biólogos estaban convencidos de que los seres vivos eran únicamente el producto de sus genes. Dicho de otro modo, estaríamos determinados por un programa genético heredado de nuestros ancestros. Pero, desde hace poco, sabemos que nuestro ADN puede verse influido también por nuestro entorno personal. ¿Recordáis que antes os dije que el 98% del genoma, nombrado erróneamente “genoma basura”, servía para determinar qué genes codificantes de proteínas se activaban o desactivaban? Pues bien, una nueva ciencia denominada epigenética, a la que dedicaré algún artículo futuro, demuestra que una alimentación equilibrada, ejercicio físico, reducción del estrés, búsqueda del placer y armonía en la red humana, social y familiar, son factores que influyen en activar o desactivar determinados genes y en nuestra microbiota, y, por tanto, ayudan a evitar o provocar determinadas enfermedades. Por eso son claves en temas como la longevidad y el equilibrio físico y mental, cuyos efectos acumulativos son decisivos para nuestra salud.



El proceso de envejecimiento comienza en las unidades más pequeñas del organismo, las células. Pero cómo y por qué envejecen las células es objeto de debate, aunque cada vez está más claro el funcionamiento de ciertos mecanismos. A principios de la década de 1960 el biólogo Leonard Hayflick descubrió que las células cultivadas sólo se dividían una media de 50 veces antes de detenerse, una cifra que se conoce como el límite de Hayflick. Con la excepción de las células madre y las cancerosas, este límite se aplica a todos los tejidos humanos, aunque las células de las personas mayores se dividen menos veces. Pero, ¿qué hace que las células se ralenticen y mueran? Un hallazgo interesante es el descubrimiento del papel de los telómeros, que son tramos de ADN que cubren los extremos de los cromosomas, protegiéndolos de daños e impidiendo que se fusionen con otros cromosomas. Los investigadores descubrieron que cada vez que una célula se divide, se cortan entre 50 y 100 nucleótidos (A, T, C o G) del telómero. Cuando el telómero alcanza una longitud mínima, la división celular se detiene por completo. Este hallazgo se vio reforzado por el descubrimiento de la telomerasa, una enzima de las células consideradas inmortales, como las células madre, que repara los telómeros después de cada división. Esta enzima no afecta a las células que no se dividen, como las del cerebro y los tejidos cardíacos. Pero en las células que sí se dividen, la telomerasa puede favorecer el cáncer. Algunas investigaciones apuntan al ejercicio y a estilos de vida más saludables como factores que favorecen la longevidad celular. La biología no se basa en el destino, ni siquiera cuando hay telómeros de por medio. Eso dicen los investigadores que estudian la relación entre la longitud de los telómeros y los factores ambientales. Las personas con vidas estresantes tienen telómeros más cortos que la media. Por otro lado, un pequeño estudio realizado por el médico e investigador estadounidense Dean Ornish, de la Universidad de California en San Francisco, demostró que las personas que adoptaban estilos de vida más saludables, como los que incluían ejercicio moderado, una dieta basada en plantas y regímenes para reducir el estrés, experimentaban de media un aumento del 10% en los telómeros. Pero se necesita más investigación para confirmar los resultados, aunque los estudios parecen constituir otro motivo más a favor de la necesidad de mantenerse delgado y en forma.

El envejecimiento afecta a casi todos los sistemas del cuerpo: los sentidos, los órganos digestivos, el sistema cardiovascular, el sistema inmunitario, los huesos y los músculos. Curiosamente, el sistema nervioso central, formado por el cerebro y la médula espinal, es uno de los menos afectados por la edad. En la mayoría de los tejidos, el deterioro de la función no es drástico. Sólo en situaciones de estrés o enfermedad se pone de manifiesto que el organismo de una persona mayor tiene problemas para hacer frente a la enfermedad. Los cambios en huesos y músculos afectan a la vida diaria de una persona mayor quizá más que cualquier otra cosa. Pero ya entre los 30 y los 60 años la densidad

ósea disminuye tanto en hombres como en mujeres. Los músculos también cambian con el tiempo. Entre los 30 y los 75 años, aproximadamente la mitad de la masa muscular del cuerpo desaparece, mientras que la cantidad de grasa se duplica. Sin embargo, el corazón, los vasos sanguíneos y los pulmones son estructuras duraderas, construidas para una larga vida. El hecho de que tantas personas mayores desarrollen problemas cardíacos y pulmonares tiene menos que ver con el proceso de envejecimiento que con factores relacionados con el estilo de vida, como el tabaquismo, la obesidad y la falta de ejercicio. Pero los sistemas sí que cambian algo con el tiempo. Por ejemplo, las válvulas y paredes del corazón se vuelven más gruesas y rígidas, lo que hace que el corazón trabaje más para bombear la sangre. Las paredes arteriales también se vuelven más duras y gruesas, lo que puede contribuir a la hipertensión. Asimismo, los tejidos pulmonares pierden elasticidad con la edad. Y lo que es más importante, el sistema inmunitario de los pulmones empieza a debilitarse con la edad, por lo que los pulmones se vuelven especialmente vulnerables a las infecciones, ya que atraen organismos transportados por el aire. Pero los temibles fantasmas del envejecimiento, ahora que la esperanza de vida ha aumentado considerablemente, son la demencia y la erosión del yo que conlleva el deterioro del cerebro. Pero la demencia no es una característica del envejecimiento normal. El cerebro sano, de hecho, funciona bien en la vejez. Como el resto del cuerpo, sus tejidos se encogen ligeramente a medida que las células mueren, y pierde alrededor del 10% de su peso en la vejez extrema. Sin embargo, esta pérdida es menos importante en el cerebro que en muchos otros órganos, porque el cerebro tiene muchas más células de las que necesita. Sus neuronas también forman nuevas conexiones a medida que las células mueren, ya que sus dendritas se extienden hasta las células aún vivas.

Stanislas Dehaene es una de las figuras más importantes en la neurociencia cognitiva contemporánea, al que hacemos referencia para entender mejor la manera en que funciona el cerebro, antes de explicar temas de salud relacionados con dicho órgano. Según dice Dehaene: *“Las técnicas de imágenes cerebrales causaron una revolución en la investigación sobre la conciencia. Revelaron cómo se desarrolla la actividad cerebral a medida que cierta información accede a ella, y cómo esta actividad es diferente durante el procesamiento inconsciente. La comparación de estos dos estados revela lo que llamo «marca» o «sello de la conciencia»: un marcador confiable de que el estímulo se percibió de manera consciente”*. Dehaene describe cuatro de esos marcadores. El primero se refiere a que si bien un estímulo subliminal puede propagarse hasta la profundidad de la corteza cerebral, esta actividad cerebral se amplifica con fuerza al cruzar el umbral de la conciencia. Luego invade muchas regiones adicionales, lo que lleva a una ignición repentina de los circuitos parietal y prefrontal del cerebro. En el electroencefalograma (EEG), el acceso consciente aparece como una lenta onda tardía llamada *«onda P3»*. Este evento aparece tarde, un tercio de segundo después del estímulo, por ejemplo visual. Ello implica que nuestra conciencia tiene un retraso respecto del mundo exterior. Al seguir la actividad con electrodos intracraneales, se pueden observar dos marcas más, tales como una erupción tardía y repentina de oscilaciones de alta frecuencia, y una sincronización de cambios de información entre regiones cerebrales distantes. Todos estos eventos proveen índices confiables del procesamiento consciente. En 1990 el investigador japonés Seiji Ogawa y sus colegas inventaron la resonancia magnética funcional (fMRI), una técnica poderosa e inofensiva que, sin utilizar inyecciones, nos permite visualizar la actividad de todo el cerebro. La fMRI aprovecha la unión de las células cerebrales con los vasos sanguíneos. Siempre que aumenta la actividad en un circuito neuronal, las células gliales que rodean estas neuronas sienten el incremento de la actividad sináptica. Para compensar rápidamente el aumento en el consumo de energía, abren las arterias locales. Dos o tres segundos más tarde el flujo sanguíneo aumenta, y trae más oxígeno y glucosa. Como consecuencia, abundan los glóbulos rojos, portadores de moléculas de hemoglobina que transportan el oxígeno.

La gran proeza de la fMRI consiste en detectar a distancia las propiedades físicas de la molécula de hemoglobina. La hemoglobina sin oxígeno actúa como un imán pequeño, al contrario de lo que sucede en el caso de la hemoglobina con oxígeno. Los resonadores son imanes gigantes preparados para encontrar estas pequeñas distorsiones en los campos magnéticos. Así reflejan indirectamente la actividad neuronal reciente en cada porción del tejido cerebral. La fMRI visualiza con facilidad el estado de actividad del

cerebro humano vivo con una resolución milimétrica, hasta varias veces por segundo. Lamentablemente, no puede seguir el curso temporal de la descarga neuronal, pero en la actualidad se cuenta con otras técnicas para cronometrar con precisión las corrientes eléctricas en las sinapsis neuronales, y tampoco en estos casos hace falta abrir el cráneo. El electroencefalograma (EEG) para registrar las ondas cerebrales, se ha perfeccionado hasta convertirse en una técnica de mucho poder, con hasta doscientos cincuenta y seis electrodos que proveen registros digitales de alta calidad de la actividad cerebral con una resolución de milisegundos en toda la cabeza. En la década de 1960, apareció una tecnología aún mejor, la magnetoencefalografía (MEG), el registro ultrapreciso de las minúsculas ondas magnéticas que acompañan la descarga de corrientes en las neuronas corticales. Tanto el EEG como la MEG pueden registrarse de modo muy sencillo, ubicando ya sea electrodos en la cabeza (EEG) o detectores muy sensibles de campos magnéticos alrededor de ella (MEG). Con la fMRI, el EEG y la MEG a disposición, ya podemos rastrear la secuencia completa de la activación cerebral a medida que un estímulo visual viaja, por ejemplo, desde la retina de nuestros ojos hasta los puntos más distantes del lóbulo frontal. En combinación con las técnicas de la psicología cognitiva, estas herramientas abren una nueva ventana hacia la mente consciente. Muchos estímulos experimentales proveen contrastes óptimos entre los estados conscientes e inconscientes. Por obra del enmascaramiento podemos hacer que cualquier imagen visible se desvanezca de la vista. Incluso podemos ubicarla en el umbral, de modo que sólo la mitad de las veces podamos verla y por eso varíe sólo en su percepción subjetiva. En los mejores experimentos, el estímulo, la tarea y el desempeño están estrictamente equiparados. Como resultado, la conciencia es la única variable que se manipula de manera experimental, ya que el sujeto informa ver en un caso y no ver en otro.

Así, todo lo que queda es examinar qué diferencia demuestra la conciencia en el nivel cerebral y observar qué circuitos específicos se activan sólo en los ensayos conscientes. Por ello podemos preguntarnos si la percepción consciente provoca eventos cerebrales únicos, ondas específicas u oscilaciones. Este tipo de marcadores, si se pudieran encontrar, servirían como marcas de la conciencia. La presencia de estos patrones de actividad neural, como la firma al pie de un documento, sería un indicador confiable de la percepción consciente. Según Dehaene pueden encontrarse varias marcas de la conciencia. Gracias a las imágenes cerebrales, por fin se reveló el misterio de la conciencia. Dehaene hace referencia a un aparato que utilizó y que proveía imágenes del cerebro completo con las áreas que se activaban siempre que los sujetos miraban palabras proyectadas justo por encima o justo por debajo del umbral para la percepción consciente. Y los resultados eran claros, ya que incluso las áreas más altas del giro fusiforme, una circunvolución del cerebro (una zona de "*pliegues*"), que abarca áreas basales del lóbulo temporal y del occipital, en ambos hemisferios cerebrales, podían activarse sin ningún tipo de conciencia. De hecho, operaciones cerebrales bastante abstractas, que involucraban regiones avanzadas de los lóbulos temporal y parietal, podían realizarse de manera subliminal; por ejemplo, reconocer que «*plátano*» y «*PLÁTANO*» son la misma palabra, o que el dígito «3» y la palabra «cinco» no significan la misma cantidad. De todos modos, al cruzar el umbral para la percepción consciente, también se aprecian cambios enormes en esos centros visuales más altos, ya que su actividad se amplificaba mucho. En la región clave para el reconocimiento de las letras, el «*área de la forma visual de las palabras*», la activación cerebral se multiplicaba por doce. Además, un conjunto de regiones adicionales parecían simplemente haber estado ausentes cuando la palabra estaba enmascarada y permanecía inconsciente. Tenemos que tener en cuenta que la mayor parte de la actividad cerebral se produce de manera inconsciente y solo una pequeña parte pasa al estado consciente. Estas regiones se distribuían con amplitud en los lóbulos parietal y frontal, y llegaban incluso a la profundidad del giro cingulado anterior, parte de la corteza cerebral que se encarga de establecer respuestas automáticas y endocrinas de la emoción y de la memoria, situado en la línea media de los dos hemisferios. Al medir la amplitud de esta actividad, Dehaene descubrió que el factor de amplificación, que distingue el procesamiento consciente del inconsciente, varía a lo largo de las sucesivas regiones de las vías visuales. En la primera etapa cortical, la corteza visual primaria, la activación que evoca una palabra no vista es lo bastante fuerte para que se la pueda detectar con facilidad. Sin embargo, a medida que avanza en la corteza, el enmascaramiento la hace perder fuerza. Por eso, la percepción

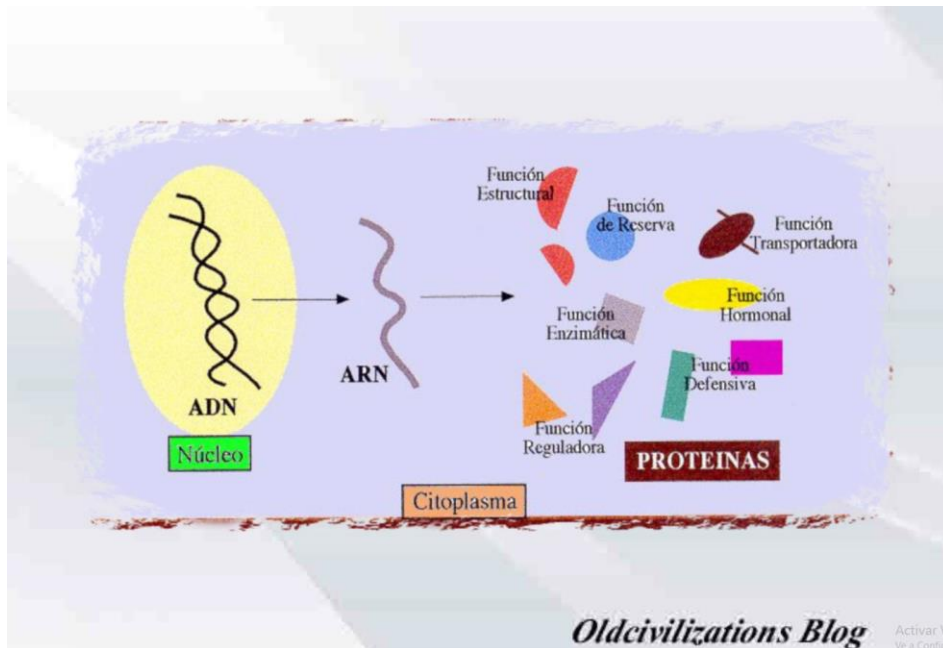
subliminal puede compararse con una ola del mar que vemos enorme en el horizonte pero que apenas acaricia nuestros pies cuando llega a la orilla. En comparación, la percepción consciente es una avalancha, porque la activación consciente parece ir cargando fuerza a medida que avanza, en gran medida como una bola de nieve va sumando materia al rodar y, en última instancia, desencadena un alud.

Para investigar ese factor, en sus experimentos Dehaene mostró las palabras sólo durante cuarenta y tres milisegundos, y de este modo inyectó una evidencia mínima a la retina. Pese a todo, la activación avanzó y en los ensayos conscientes se amplificó de modo incesante hasta que causó una activación enorme en varias regiones. Las regiones cerebrales distantes también llegaron a una estrecha correlación, ya que la onda entrante alcanzó su punto más alto y retrocedió simultáneamente en todas las áreas, lo que sugiere que intercambiaron mensajes que se reforzaron uno a otro hasta que se convirtieron en una avalancha irrefrenable. La sincronía era tanto más intensa para los blancos conscientes que para los inconscientes, lo que sugiere que la actividad correlacionada es un factor importante en la percepción consciente. Por tanto, estos experimentos proveyeron una primera marca de la conciencia, que implica una amplificación de la actividad sensorial cerebral, básicamente inconsciente, que poco a poco acumula fuerza y ocupa muchas regiones de los lóbulos parietal y prefrontal. El patrón de la marca se replicó muchas veces, incluso en otras modalidades aparte de la visión. Por ejemplo, imaginemos que estamos sentados en un ruidoso resonador magnético. De tanto en tanto, por medio de auriculares, se oye un breve pulso de sonido adicional. Sin que lo sepamos el nivel de sonido de esos pulsos está cuidadosamente organizado para que apenas se detecte la mitad de ellos. Esta es una forma ideal de comparar la percepción consciente con la inconsciente, esta vez en la modalidad auditiva. Y el resultado es igual de claro, ya que puede observarse que los sonidos inconscientes activan sólo la corteza que rodea el área auditiva primaria y, otra vez, en los ensayos conscientes una avalancha de actividad cerebral amplifica esta activación sensorial temprana e irrumpe en las áreas parietal y prefrontal inferiores. También podemos observarlo en la acción motora. Supongamos que nos movemos siempre que veamos un blanco, pero que no respondamos si vemos una clave de «no moverse» justo antes del blanco. Esta es una tarea típica de inhibición de la respuesta, dado que nosotros debemos ejercer un control consciente para poder inhibir la fuerte tendencia a dar la respuesta dominante de «hacer» en los ensayos en que se debe «no hacer». Ahora imaginemos que en la mitad de las ocasiones la clave de «no hacer» se presenta justo por debajo del nivel de umbral para la percepción consciente. ¿Cómo es posible que sigamos una orden que no percibimos? Es fascinante observar cómo nuestro cerebro le hace frente a este desafío imposible. Incluso en los ensayos subliminales, las respuestas de los participantes se desaceleran siquiera un poco, lo que sugiere que el cerebro en parte despliega sus poderes de inhibición de manera inconsciente. Las imágenes cerebrales muestran que esta inhibición subliminal depende de dos regiones asociadas con el control motor: el área motora presuplementaria (pre-SMA) y la ínsula anterior. Sin embargo, otra vez la percepción consciente causa un cambio enorme. Cuando se ve la clave de «no hacer», la activación casi se duplica en estas dos regiones de control y ocupa una red tanto mayor de áreas en los lóbulos parietal y prefrontal. En esta instancia, dicho circuito parietal y prefrontal debería resultar familiar, ya que su activación repentina aparece de manera sistemática como una marca reproducible de la percepción consciente.

Pero aunque la fMRI es una herramienta maravillosa para localizar *dónde* ocurre la activación en el cerebro, es incapaz de señalar con precisión *cuándo*. No podemos usarla para medir con cuánta rapidez y en qué orden las sucesivas áreas cerebrales se iluminan cuando nos volvemos conscientes de un estímulo. Para cronometrar con precisión la avalancha consciente, métodos más exactos como el EEG y la MEG son herramientas perfectas. Unos pocos electrodos adheridos a la piel o algunos sensores magnéticos ubicados alrededor de la cabeza permiten seguir la actividad cerebral con una precisión de milisegundos. En 1995, Dehaene participó en el diseño de un cuidadoso estudio de EEG que, por primera vez, aisló el curso temporal del acceso consciente, mediante el seguimiento del destino cortical de imágenes *idénticas* que a veces se percibían de manera consciente y a veces no se detectaban. Se aprovechó el fenómeno del parpadeo

atencional, el hecho de que cuando se nos distrae por un momento breve temporariamente no logramos percibir estímulos que están ante nosotros. El equipo de Dehaene solicitó a los participantes en el estudio que detectaran palabras, pero también los distrajeran un breve instante al anteponer a cada palabra otro conjunto de letras que debían reportar. Para memorizar estas letras, tenían que concentrarse un momento y, en muchos intentos, esto hizo que se perdieran la palabra blanco. Para asegurarse de que se sabía con exactitud cuándo sucedía esto, después de cada presentación les pedían que informaran con un cursor lo que habían visto. Lo podían mover de modo continuo para informar que no habían visto ninguna palabra, sólo un destello de unas pocas letras, la mayor parte de la palabra o la palabra entera. El equipo de Dehaene ajustó todos los parámetros hasta que exactamente las mismas palabras pudieran volverse conscientes o inconscientes según se quisiera. Cuando todo estaba en absoluto equilibrio, en la mitad de los ensayos los participantes decían haber visto la palabra a la perfección, mientras que en la otra mitad informaban que no había ninguna palabra. Sus informes conscientes presentaban una variación del tipo «*todo a nada*»: o percibían la palabra o fallaban por completo, pero pocas veces reportaban una percepción parcial de las letras.

Los registros dejaron evidencia que el cerebro se veía sometido a cambios repentinos de opinión, alternando de manera discontinua del estado invisible al percibido. Al principio, dentro del sistema visual temprano, las palabras visibles e invisibles no provocaban ninguna diferencia en la actividad. Las palabras conscientes e inconscientes, como cualquier estimulación visual, suscitaban una corriente indistinguible de ondas cerebrales en la parte posterior de la corteza visual. Estas ondas se llaman «P1» y «N1», para indicar que la primera es positiva con una cota máxima alrededor de los cien milisegundos, mientras que la segunda es negativa y alcanza su máximo a alrededor de los ciento setenta milisegundos. Las dos ondas reflejaron el avance de la información a través de una jerarquía de áreas visuales y este avance inicial parecía no estar afectado en modo alguno por la conciencia. La activación era tan fuerte e intensa cuando la palabra se podía reportar como cuando era por completo invisible. Así, la palabra accedía a la corteza visual de manera normal, aunque el sujeto no la informara. Unos pocos cientos de segundos más tarde, sin embargo, el patrón de activación cambiaba de manera radical. De pronto, entre doscientos y trescientos milisegundos después de la aparición de la palabra, la actividad del cerebro se atenuaba en los ensayos inconscientes, mientras que, en los conscientes avanzaba de modo continuo hacia la parte frontal del cerebro. Después de alrededor de los cuatrocientos milisegundos, la diferencia ya era enorme, ya que sólo las palabras conscientes provocaban actividad intensa en los lóbulos frontal izquierdo y derecho, la corteza cingulada anterior y la corteza parietal. Luego de superada la mitad de un segundo, la activación regresaba a las regiones visuales que se encuentran en la parte posterior del cerebro, incluida la corteza visual primaria. Muchos otros investigadores observaron esta onda hacia atrás, pero en realidad no se sabe qué significa. Tal vez sea una memoria sostenida de la representación visual consciente.



Dado que el estímulo original era *exactamente* el mismo en los ensayos visibles e invisibles; la velocidad de la transición de lo inconsciente a lo consciente fue sorprendente. En menos de una décima de segundo, entre los doscientos y trescientos milisegundos luego de la aparición del estímulo, los registros pasaban de no encontrar ninguna diferencia a un efecto completo del tipo «*todo o nada*». Si bien parecía que todas las palabras comenzaban con una cantidad similar de actividad que fluía hacia la corteza visual, en los ensayos conscientes esta onda cobraba fuerza y cruzaba el dique de las redes frontal y parietal, inundando de pronto una extensión cortical tanto más extensa. A la inversa, durante los ensayos inconscientes, la onda permanecía contenida dentro de los sistemas posteriores del cerebro, sin incidir en la mente consciente y, por eso, sin registro consciente alguno de lo que había pasado. Sin embargo, la actividad inconsciente no se aquietaba de inmediato. Durante alrededor de medio segundo, las ondas inconscientes continuaban reverberando dentro del lóbulo temporal izquierdo, en lugares que se asociaron con el procesamiento de los significados de las palabras. También se comprobó cómo, durante el parpadeo atencional, las palabras no vistas siguen activando sus significados. Esta interpretación inconsciente ocurre dentro de los confines del lóbulo temporal. Sólo su expansión hacia las extensiones más amplias de los lóbulos parietal y frontal marca la percepción consciente. La avalancha consciente produce un marcador simple que los electrodos adheridos a la parte superior de la cabeza detectan sin dificultad. Sólo durante los ensayos conscientes una amplia onda de voltaje afecta esta región. Comienza alrededor de los doscientos setenta milisegundos y llega a un máximo en algún momento entre los trescientos cincuenta y los quinientos milisegundos. Este evento lento y masivo recibió la denominación «onda P3», por ser la tercera gran onda positiva luego de que aparece el estímulo. Su magnitud es de apenas unos pocos microvoltios, una carga un millón de veces más pequeña que la producida por una pila AA.

Sin embargo, un impulso de actividad eléctrica de estas características es fácil de medir con los amplificadores modernos. La onda P3 es la segunda marca de la conciencia. Actualmente cierta cantidad de paradigmas demostraron que es fácil registrarlo cada vez que de pronto accedemos a una percepción consciente. Al observarse en mayor detalle los registros, puede descubrirse que la evolución de la onda P3 también explica *por qué* los participantes no logran ver la palabra blanco. En este experimento de Dehaene en realidad había *dos* ondas P3. La primera P3 era evocada por la cadena inicial de letras, que servía para distraer la atención y siempre se percibía de manera consciente. La segunda era provocada por la palabra blanco cuando se la veía. Había una compensación sistemática entre estos dos eventos. Siempre que la primera onda P3 era grande y larga, había tantas más probabilidades de que la segunda estuviera ausente, y

precisamente aquellos eran los ensayos en que era probable que el blanco no se percibiera. Por ende, el acceso consciente operaba como un sistema de tira y afloja, ya que siempre que el cerebro estaba ocupado durante un período prolongado con la primera cadena, como quedaba indicado por una onda P3 larga, no podía prestar atención simultáneamente a la segunda palabra. La conciencia de una parecía excluir la conciencia de la otra.

Algunos neurotransmisores, como la dopamina y la serotonina, que son mensajeros químicos del cerebro que pueden enviar señales excitatorias o inhibitorias para que las neuronas generen o no un impulso eléctrico, disminuyen con la edad, así como el flujo sanguíneo cerebral. Estos cambios pueden producir alteraciones sutiles a lo largo del tiempo, ya que pueden afectar a la memoria a corto plazo, la fluidez verbal y la capacidad de aprendizaje, aunque no tienen por qué alterar significativamente el funcionamiento intelectual. Quizá los cambios más notables del sistema nervioso se produzcan en los sentidos, sobre todo en la vista y el oído. La presbicia, o disminución de la visión de cerca, es una de las pocas características prácticamente universales del envejecimiento. Comienza entre los 40 y los 50 años y es el resultado de un endurecimiento gradual del cristalino, una lente natural que ayuda a enfocar la luz y las imágenes en la retina. La audición también empeora ligeramente, debido a los procesos normales del envejecimiento y a los daños a largo plazo provocados por los ruidos fuertes a los que estamos sometidos. Pero una de las ventajas de envejecer es que las alergias se reducen en las personas mayores. Asimismo, un cerebro de una persona mayor se beneficia del ejercicio, que mantienen unas conexiones neuronales fuertes. Además, las personas de más de 85 años no se ponen mucho más enfermas que las de entre 74 y 85 años. Estudios recientes sugieren que las mujeres tienen células madre capaces de producir óvulos durante toda su vida. También hay que tener en cuenta que cuanto mayor es el padre, más posibilidades tiene de traspasar mutaciones a sus hijos. Tenemos además el caso de los nanorobots, que pueden encontrar la placa que obstruye un vaso sanguíneo y eliminarlo. Asimismo tenemos la posibilidad de regenerar órganos o tejidos. Por ejemplo, un profesor de la Universidad de Harvard, en Estados Unidos, trabaja en una técnica que permitiría que el ligamento de la rodilla se cure por sí solo, en lugar de tener que sustituirlo por un tendón de otra persona o animal, o de otra parte del cuerpo. Esta técnica consiste en insertar una esponja en forma de reloj de arena llena de sangre del paciente, además de factores de crecimiento y células madre reactivada, para que actúen de puente entre las dos piezas desgarradas. Las piezas del puente crecen y reconectan el desgarramiento, por lo que no hay que recurrir a una reparación intrusiva con otros tejidos blandos. Las implicaciones van más allá de la simple mejora del rendimiento deportivo, ya que este procedimiento también podría ayudar a reducir la incidencia de la artritis que suele seguir a las actuales reparaciones del ligamento de la rodilla. Algún día podríamos utilizar los ingredientes de nuestro cuerpo para hacer crecer nuevos ligamentos sin tener que recurrir a un implante.

Puede que estemos cada vez más cerca de lo que podría considerarse uno de los avances más importantes en la longevidad. Se trata de un corazón regenerado genéticamente o de un corazón artificial. Los investigadores de la Clínica Cleveland, en Estados Unidos, creen que podrían estar a pocos años de cultivar un corazón e insertarlo en seres humanos. La ciencia y la tecnología revolucionarán nuestra capacidad para vivir más, más jóvenes y mejor. Ya lo estamos viendo con los trabajos sobre órganos impresos en 3D, que producen mecanismos y materiales que pueden funcionar como tejidos, incluso tejidos similares a los pulmones que pueden utilizarse para estudiar posibles tratamientos y antivirales. Una empresa australiana acaba de desarrollar un dispositivo robótico que imprime las células de la piel de una persona, lo que podría utilizarse para reparar daños cutáneos causados por heridas o quemaduras. Si nos ponemos a imaginar, podemos visualizar un código informático de todas las partes de nuestro cuerpo almacenados en la nube, y que posteriormente se pudiese utilizar esa información para crear versiones impresas en 3D que se pudieran intercambiar con nuestros órganos cuando fuera necesario. Por ejemplo, cortar un cáncer óseo y sustituir el hueso por una nueva versión de igual forma, tamaño y resistencia y con las mismas conexiones con ligamentos, articulaciones y otros huesos. Eso podría ser posible dentro de unos cuantos años. ¿Y qué pensaríamos si se pudiera diseñar un órgano o una parte del cuerpo para

que volviera a crecer, o para manipular el funcionamiento normal del organismo? En Corea, por ejemplo, algunos investigadores están probando fármacos antienvjecimiento que alteran la actividad de las proteínas de las células de lombrices intestinales. Con esta tecnología, los gusanos consiguen aumentar su esperanza de vida. Tal vez dentro de unos años sea factible aplicarlo a seres humanos. Una buena forma de pensar en cómo los avances tecnológicos pueden beneficiar a la longevidad es considerar lo lejos que hemos llegado en el campo de las válvulas cardíacas, que se desgastan con el tiempo. Alrededor del 10% de las personas de 85 a 95 años tendrán que someterse a una reparación o sustitución de válvulas, mientras que el 25% de los mayores de 65 años ya presentan algún tipo de alteración en el funcionamiento de las válvulas. El procedimiento de sustitución de válvulas solía consistir en una operación a corazón abierto que, al requerir la parada del corazón y el uso de una bomba para hacer circular la sangre, conllevaba graves riesgos. Seis meses después de una intervención a corazón abierto, el 17% de los pacientes presentaba un deterioro de la función mental. Hoy en día, la cirugía mínimamente invasiva puede sustituir una válvula introduciéndola en el corazón a través de un vaso sanguíneo. Es cierto que sigue siendo una operación de corazón, por lo que no deja de ser grave, pero este procedimiento tan habitual permite un periodo de recuperación mucho más rápido. Tendremos que sustituir muchas más válvulas si la gente vive entre 20 y 30 años más, así que es una buena noticia que la ciencia de la sustitución parezca adelantarse a nuestro envejecimiento.

La inteligencia artificial, la realidad virtual, la tecnología actualizada, la recopilación de datos mejorada y otros elementos similares también cambiarán nuestra forma de pensar sobre la salud y lo que podemos hacer. Ya disponemos de aplicaciones que nos conectan con los médicos para consultas inmediatas, tales como la telemedicina, esencial durante los encierros de la COVID-19. Estas aplicaciones permiten la atención médica a distancia, lo que puede ser muy útil en caso de emergencia. En esencia, estos avances permiten una atención médica a distancia que antes era imposible. Pero, ¿qué ocurrirá cuando se imponga la tecnología de última generación? Una mejor recopilación de datos podría conducir a un mejor desarrollo de los medicamentos. La tecnología podría no sólo hacer un seguimiento de lo que hemos hecho, sino predecir nuestro futuro en lo que respecta a la salud. La inteligencia artificial podría predecir el desgaste de una válvula del corazón antes de que causase problemas. Unos diagnósticos más accesibles podrían retrasar problemas en el futuro. Un investigador en genética de Yale ha desarrollado un dispositivo portátil de ultrasonidos. Aunque no tiene la alta definición de los ecógrafos más potentes pero que tienen un precio muy alto, este aparato de bajo coste podría facilitar y generalizar las exploraciones. Estas exploraciones ayudarían a los médicos a saber a quiénes deben insistir en la prevención o a quiénes deben motivar para que tomen decisiones más saludables. Veremos un crecimiento exponencial en todos los rincones de la industria tecnológica. Según un informe reciente del canal de televisión por suscripción estadounidense CNBC, se espera que el mercado del «*retraso de la muerte*» crezca hasta los 600.000 millones de dólares, con especial atención a aspectos como los macrodatos, la inteligencia artificial, la edición genética, la ingeniería alimentaria y los medicamentos para curar enfermedades. Y aunque los costes iniciales de estos avances que «*retrasan la muerte*» serán elevados, al igual que ha ocurrido con innovaciones anteriores, su coste real se prevé que disminuirá rápidamente con el tiempo. Lo que antes era ciencia ficción se convertirá en una realidad inicialmente cara y, en última instancia, en una práctica generalizada y fácilmente asequible. Estos cambios alargarán nuestra esperanza de vida, mejorarán la calidad de vida a partir de la mediana edad y, con toda probabilidad, como mínimo duplicarán nuestros mejores años. Puede que no acabemos teniendo una píldora mágica para vivir más tiempo jóvenes, pero todos estos avances combinados contribuirán a un enfoque de 360 grados con respecto a la longevidad. Nunca se sabe qué nueva tecnología o qué nuevo avance será el que salve o cambie nuestra vida y nos ayude a ser más jóvenes hoy y en el futuro.

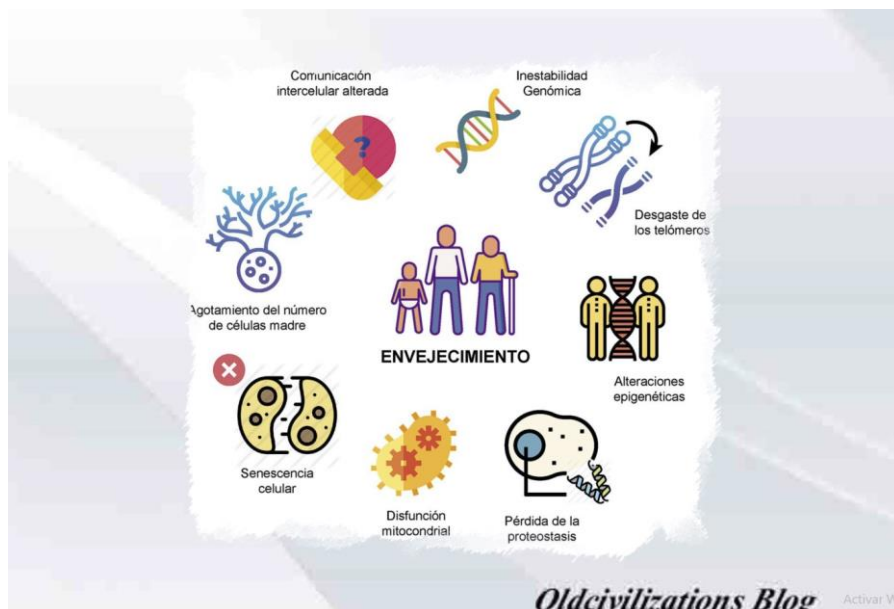
Hay quienes creen que los *nanobots* (robots microscópicos) podrían hacer prácticamente inmortal al ser humano en el 2030. Alrededor del 2045 se prevé que la Inteligencia Artificial (IA) iguale o supere a la inteligencia humana, lo que se conoce como IA General, que sería la antesala de la Superinteligencia Artificial. Ello implica que un mundo de ciencia-ficción podría ser realidad mucho antes de lo pensado. Además de avanzar hacia

la inmortalidad o de disponer de una “*consciencia digital*” (máquinas con consciencia), en las próximas décadas la Inteligencia Artificial (IA) igualará o superará a la inteligencia humana, según Ray Kurzweil, director de Ingeniería en Google. Según Kurzweil el ser humano podría alcanzar la inmortalidad en 2030, cuando un ejército de *nanobots* sea capaz de reparar nuestros cuerpos a nivel celular, haciéndonos inmunes a las enfermedades y al envejecimiento y, eventualmente, a la muerte. Aunque ello plantearía una serie de graves problemas sociales. También opina que lograremos «*cargar*» nuestra consciencia, nuestros pensamientos y toda la información de nuestra vida en forma digital. Entonces la vida humana podría extenderse indefinidamente gracias a la actividad de diminutos robots viajando por nuestras venas, según Kurzweil. El científico cree que este avance podría conseguirse alrededor del 2030, cuando los nanobots estén capacitados para hacer frente al envejecimiento celular y a las enfermedades, aunque yo creo que es una visión demasiado optimista. Al mismo tiempo, opina que toda la información de la mente y la consciencia humana logrará ser digitalizada y archivada. Además, llega la Inteligencia Artificial que puede interpretar lo que estamos pensando. Ray Kurzweil es conocido por algunos conceptos y predicciones verdaderamente certeras, ya que en 1990 predijo que un ordenador sería capaz de vencer a un ser humano jugando al ajedrez hacia el año 2000, además de describir al detalle cambios tecnológicos como el crecimiento de Internet o el desarrollo de tecnologías inalámbricas, varias décadas antes de su concreción. Inventor, músico, científico y director de ingeniería de Google desde 2012, Kurzweil es conocido por haber indicado que, en 2045, la Inteligencia Artificial (IA) igualará o incluso superará a la humana, alcanzando la denominada singularidad. Esta idea tiene tantos entusiastas como detractores. Para algunos podría ser un avance único y marcar el nacimiento de una nueva era de increíbles progresos, mientras que para otros significaría la debacle total de la humanidad.

La realidad nos muestra que en las últimas décadas los avances tecnológicos han sido extremadamente rápidos y contundentes, y en los que la IA y la robótica están presentes prácticamente en todas las áreas de la vida cotidiana, siendo cada vez más influyentes en campos como la industria, las comunicaciones o la salud, entre otros sectores. ¿Hay un límite para ese acelerado desarrollo en las próximas décadas? Tal como hemos indicado, Kurzweil cree que para 2030 alcanzaremos un hito fundamental en nuestro progreso tecnológico, y que incluso podrá tener importantes implicaciones sociológicas, psicológicas y filosóficas, como lo sería la inmortalidad. Aunque parezca algo increíble, Kurzweil se refiere a hechos concretos y prácticos, tales como el crecimiento exponencial en varios campos, como la genética, la nanotecnología y la robótica, que culminarán en el desarrollo de los denominados “*nanobots*”. Se trata de diminutos robots, de entre 50 a 100 nanómetros de ancho (tengamos en cuenta que un átomo de silicio mide en torno a 0,24 nanómetros), que circularán por nuestras venas para “*reparar*” nuestro cuerpo. Serán capaces de superar el deterioro a nivel celular, generar inmunidad a toda clase de enfermedades, detener el envejecimiento, reparar o reemplazar órganos y, en última instancia, tal vez hacer que la muerte sea parte del pasado. Además, Kurzweil sostiene que los avances en las interfaces cerebro-ordenador nos permitirán “*cargar*” nuestra consciencia, nuestros pensamientos y toda la información de una vida en forma digital, preservándola y dejándola disponible para ser “*reimplantada*” luego de una reparación profunda de los sistemas biológicos. Junto a los avances tecnológicos antes mencionados, Kurzweil basa su predicción en otro hecho real, como lo es el notable incremento en la esperanza de vida humana, que pasó de 40 años a fines del siglo XIX a superar con creces los 80 años en la actualidad, principalmente en los países desarrollados. Es probable que la idea de inmortalidad sea difícil de concebir para el cerebro humano actual, pero al mismo tiempo es posible que esos límites se desmoronen mucho más rápido de lo pensado, dando lugar a una nueva era cuyo paisaje y características ni siquiera podemos intuir. Tal como hemos indicado, la nanorobótica desarrollará en los próximos años nanobots, pequeños robots que tendrían la capacidad de reparar células y tejidos dañados por el paso de los años. Es decir, lograrían paliar los efectos adversos del envejecimiento. De esta forma, podrían aumentar la inmunidad frente a algunas de las enfermedades más mortales en humanos, como el cáncer. Además, Kurzweil también especuló acerca de la posibilidad de conectar esta tecnología

con el cerebro humano, ayudando a desarrollar más la inteligencia. Es decir, desarrollar una síntesis humano-máquina que mejore la inteligencia del ser humano.

Se ha anunciado que un superordenador ha diseñado una nueva versión de los llamados 'xenobots', unas entidades biológicas sintéticas creadas a partir de células de embriones de un tipo de rana, que son capaces de reproducirse solos de una manera nunca antes observada por la ciencia. Estos nuevos 'xenobots' pueden reproducirse por sí solos de manera única. Un equipo de investigadores estadounidense ha echado mano de una inteligencia artificial para crear una nueva versión de los 'xenobots' y el resultado ha sido sorprendente, ya que los nuevos robots orgánicos son capaces de autoreproducirse de una manera jamás observada antes por la ciencia. El mismo equipo de investigadores ya había creado en 2020 los 'xenobots' 1.0, que fueron los primeros robots 100% orgánicos creados por el hombre. Luego desarrollaron los 'xenobots' 2.0, capaces de moverse por su cuenta, organizarse en enjambres, autocurarse y tener memoria. Y ahora han dejado en manos de un supercomputador el diseño de esta nueva y revolucionaria versión y han publicado los resultados de sus estudios en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*. La base de los 'xenobots' son las células embrionarias de la rana *Xenopus laevis*, que se encuentran en la superficie del animal y que, en circunstancias normales, acaban convirtiéndose en piel. «*Estarían situadas en el exterior de un renacuajo, manteniendo alejados a los patógenos y redistribuyendo la mucosidad*», asegura el doctor Michael Levin, profesor de biología y director del *Allen Discovery Center* de la Universidad de Tufts, en Estados Unidos, que ha sido uno de los creadores de los 'xenobots'. «*Pero los estamos poniendo en un contexto novedoso. Les estamos dando la oportunidad de reimaginar su multicelularidad*» añade el científico. Otro de los investigadores de la Universidad de Tufts, el profesor Douglas Blackiston, asegura que la gente ha pensado durante mucho tiempo que hemos visto todas las formas en que la vida puede reproducirse o replicarse. Pero admite que esto es algo que nunca se había observado antes. «*Se trata de células de rana que se replican de una forma muy diferente a como lo hacen las ranas. Ningún animal o planta conocido por la ciencia se replica de esta manera*», comenta Sam Kriegman, autor principal del nuevo estudio e investigador posdoctoral en el *Allen Discovery Center* de la Universidad de Tufts y en el *Instituto Wyss de Ingeniería Biológica* de la Universidad de Harvard.



Para encontrar esas nuevas formas de reproducción, los científicos usaron el superordenador de la Universidad de Vermont (UVM) con una inteligencia artificial especializada en evolución biológica para conseguir lo que ellos llaman «*réplica cinematográfica*» basada en el movimiento. La IA probó millones de diseños con formas distintas como la de los triángulos, cuadrados, pirámides o estrellas de mar hasta que por fin se decidió por una que recuerda al famoso comecocos. Estos 'xenobots' comecocos

nadan por una placa petri recogiendo cientos de células individuales que ensamblan dentro de sus bocas para montar bebés de 'xenobot' que en pocos días acabarán moviéndose igual que su progenitor. Estos nuevos 'xenobots' pueden hacer lo mismo que sus padres, tal como crear copias de sí mismas que también serán capaces de reproducirse de la misma manera. Así son los 'xenobots' 2.0: *«Le pedimos al superordenador de la UVM que averiguara cómo ajustar la forma de los padres iniciales, y la IA dio con algunos diseños extraños tras meses de trabajo, incluido uno que se parecía a Pac-Man»*, explica Sam Kriegman. *«Es muy poco intuitivo. Parece muy sencillo, pero no es algo que se le ocurriría a un ingeniero humano. ¿Por qué una boca diminuta? ¿Por qué no cinco? Enviamos los resultados a Doug (Douglas Blackiston) y él construyó estos 'Xenobots' padres con forma de Pac-Man. Luego esos padres construyeron hijos, que construyeron nietos, que construyeron bisnietos, que construyeron tataranietos»*. El equipo se ha mostrado sorprendido por este avance. Hasta ahora han conseguido que los 'xenobots' anden, naden, se autoreparen, trabajen con otros 'xenobots' de manera conjunta o tengan memoria. Pero tras ver esta capacidad reproductiva espontánea ahora se preguntan qué más podrán hacer estos nuevos seres biológicos. Según Levin: *«Esto es profundo. Estas células tienen el genoma de una rana, pero, liberadas de convertirse en renacuajos, utilizan su inteligencia colectiva, una plasticidad, para hacer algo asombroso. Tenemos el genoma completo e inalterado de la rana, pero no había ningún indicio de que estas células pudieran trabajar juntas en esta nueva tarea de reunir y luego comprimir células separadas en autocopias funcionales»*. En cuanto a la aplicación práctica de este descubrimiento, el equipo lo ve como una gran promesa para la medicina regenerativa. Levin añade: *«Si supiéramos cómo decirle a los grupos de células que hagan lo que queremos que hagan, eso sería la medicina regenerativa, la solución a las lesiones traumáticas, los defectos de nacimiento, el cáncer y el envejecimiento. Todos estos problemas diferentes existen porque no sabemos cómo predecir y controlar qué grupos de células van a construir. Los 'Xenobots' son una nueva plataforma para enseñarnos»*.

Los expertos reconocen el potencial de la tecnología, pero advierten de que las interacciones entre los seres humanos aún no se pueden sustituir. La inteligencia artificial (IA) se filtra en todos los aspectos de la vida, ya que sirve para crear imágenes y vídeos, podemos chatear con ella, incluso ha revolucionado la medicina ayudando en el cribado, diagnóstico y tratamiento de múltiples enfermedades, entre ellas, el cáncer. Desde hace un tiempo también se investiga su potencial como ayuda para el cuidado de las personas mayores y para paliar su soledad. Existen sistemas que se encargan de recordarles la dosificación y la aplicación de la medicación, por ejemplo, mediante una llamada telefónica, pero se puede ir mucho más allá. El siguiente paso son los robots de acompañamiento, que incorporan tecnología de IA para ayudar a los mayores en su vida cotidiana. Pueden asistirles para hacer ejercicios físicos y cognitivos, detectar caídas, incluso acercarlos objetos. Se sabe que la soledad no deseada afecta a todos los ámbitos de la salud. Aumenta, al menos, un 30% las muertes prematuras y supone un mayor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, ictus, demencia y problemas de salud mental como la depresión, según Guillermo Lahera, profesor titular de Psiquiatría de la Universidad de Alcalá de Henares (UAH). Cuando faltan las relaciones sociales, se inicia *“un bucle de auto abandono, hábitos de vida poco saludables y conductas que acentúan la situación de aislamiento*. La revista *Science Robotics* publicó un informe realizado por investigadores de las universidades de Auckland, Duke y Cornell, en Estados Unidos, en el que reflexionaban sobre la utilidad de los robots de acompañamiento con IA y los riesgos que pueden entrañar. *“La conexión social con los robots es cada vez más importante a medida que avanza la tecnología”*, sostienen los autores. Para justificarlo se basan en otras investigaciones que afirman su capacidad para fomentar *“el compromiso, la interacción y el bienestar, así como una reducción del estrés y la soledad”*. Murali Doraiswamy, autor principal de este trabajo, ve a los robots de acompañamiento con IA incorporada como una solución para las personas aisladas que no tienen otras opciones *“hasta que la sociedad priorice la conexión social y el cuidado de los mayores”*. Isabel Rodríguez, coordinadora del Grupo de gerotecnología de la Sociedad Española de Geriatría y Gerontología (SEGG), cree que, precisamente, este es un aspecto con el que hay que llevar cuidado, para no permitir que sustituya al contacto humano. *“Puede ser un parche, pero si no tratamos el problema real que ocasiona esa soledad, va a ser*

complicado". Isabel Rodríguez defiende que las relaciones sociales o interpersonales "no se basan en el contacto físico o en la compañía per se, sino que entran en juego otros factores como la empatía, el afecto o el intercambio de sentimientos, cosas que a día de hoy un robot no te va a dar". Antonio López, catedrático de Trabajo Social de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED considera que toda tecnología que permita una mayor comunicación "ayudará a reducir la soledad no deseada". Aunque reconoce que será necesaria cierta formación por parte de los usuarios para "poder interactuar de forma adecuada dentro de un contexto tecnológico".

Isabel Rodríguez cree que es necesario tener en cuenta las diferencias entre cada usuario. Lo primero que hay que valorar es el estado cognitivo y el grado de independencia. También es importante dónde viven, ya que no es lo mismo una persona mayor que viva en su casa que otra que lo haga en una residencia. Por lo general, en el último caso suelen tener un mayor grado de dependencia y están más atendidos, por lo que las funciones requeridas a estos dispositivos en uno y otro caso serían distintas. También hay que tener en cuenta dónde viven, ya que no tendrá acceso a los mismos servicios una persona mayor que vive en la ciudad que en el entorno rural. Aunque el informe habla de la capacidad de los robots con IA para mantener conversaciones con los usuarios, Murali Doraiswamy, el autor principal, reconoce que todavía no pueden hacerlo de manera real, "como si fuera de persona a persona". Antonio López defiende que la tecnología que se incorpore debe responder a las demandas y las preocupaciones y ser realista con las posibilidades de producción. Tanto el autor del informe como el catedrático de la UNED coinciden al barajar una posibilidad digna de la ciencia ficción. Puede haber personas que acaben por vincularse emocionalmente a robots: "Podemos proyectar nuestras emociones en un objeto, otra cosa muy distinta es que la máquina pueda responder". En el estudio recuerdan que ya existen dispositivos que se pueden configurar para que hablen con la voz de un ser querido que ha fallecido. Aunque este tipo de tecnología todavía está en desarrollo y lejos de un uso generalizado, en España ya hay algunos proyectos puestos en marcha en residencias de mayores. Van desde mascotas robóticas, como PLEO, el dinosaurio de la *Fundación El Redós* en Sant Pere de Ribes (Barcelona) para ayudar a los pacientes con demencia, hasta robots como Pepper, en la residencia Prytanis de L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona), que ayuda a las personas mayores a realizar ejercicios de fisioterapia y cognitivos. Carlos Vivas, director de negocio de la empresa *PAL Robotics*, cree que la robótica se convertirá "en una herramienta muy útil para asistir al personal y brindar apoyo a los pacientes". La compañía cuenta con varios proyectos respaldados por la Unión Europea y en ellos trabajan con robots como ARI y TIAGo. Sus objetivos son promover una vida saludable e independiente, ser capaces de interactuar de forma efectiva con más de una persona a la vez e, incluso, en el caso de TIAGo, proporcionar atención médica mediante el reconocimiento a los usuarios, la comprensión de las instrucciones vocales y también de los estados emocionales para lograr interacciones humanas centradas en la persona. Según Carlos Vivas: "La premisa es que la persona mantenga el control y cuente con un apoyo que fomente su autonomía. La mayor cuestión es si podemos hacer un modelo de inteligencia artificial, de robótica, de servicios, basado en los derechos humanos".

Es indudable que necesitaremos millones de enfermeros para cuidar a la generación de los *baby boomers*, la generación que se define generalmente como las personas nacidas entre 1946 y 1964, durante la explosión de natalidad posterior a la Segunda Guerra Mundial, a medida que envejecen. Pero los aspectos negativos de este panorama ya se pueden observar en Japón. El país se enfrenta a una de las espirales de despoblación más graves del siglo en todo el mundo. Alrededor de 2025 o 2030, Japón experimentará una profunda carencia de mano de obra y una enorme proporción de personas mayores. Tradicionalmente no ha sido un país acogedor con los inmigrantes extranjeros. Y está a la vanguardia de la investigación en robótica. Todo lo anterior explica que se plantee la posibilidad de que los robots lleguen a ser lo suficientemente sofisticados para encargarse del cuidado de las personas mayores, lo cual es viable desde un punto de vista técnico. Los robots ya son capaces de llevar a cabo tareas delicadas, como determinadas subrutinas quirúrgicas, y empiezan a ser lo bastante fiables para constituir una opción

menos arriesgada que los humanos en algunas situaciones, como la conducción de vehículos. ¿Sería emocionalmente aceptable un robot enfermero? La cultura japonesa parece haberse adelantado a la inminente crisis demográfica. Desde hace décadas, los robots se ven con simpatía en Japón. Los robots de ficción dignos de confianza son una de sus principales exportaciones culturales. Como sucede con todas las oleadas de cambio tecnológico, resulta difícil predecir cuándo se resolverán los inevitables problemas e imprevistos. Pero en este caso es tal la motivación que se espera que en el 2025 haya robots en las residencias de ancianos japonesas y que su uso esté muy extendido. Sin robots cabría esperar que en la próxima década se formasen inmigrantes en las escuelas de enfermería para cuando se alcance ese punto de inflexión demográfico. Pero utilizar robots será muy tentador. Si uno pasa algún tiempo en los centros para el cuidado de personas mayores, como las residencias para mayores, saldrá con unas cuantas cosas claras. Una de ellas es que es imposible que incluso el personal más profesional y atento ayude a todo el mundo tan rápido como sería deseable. Es inconcebible disponer de ayuda inmediata las veinticuatro horas del día para cualquier problema que pudiera surgir. Otra es que el cuidado de personas mayores, si se realiza de forma adecuada, es una labor extraordinariamente dura e incómoda. Incluso en el mejor de los centros, es muy difícil tener la certeza de que todos los miembros del personal realizan su trabajo en todo momento de la mejor manera posible. Por ello todo indica que los robots estarán cada vez más presentes en las residencias de la tercera edad. El personal humano se encargará de los trabajos que no pueda realizar un robot, pero es posible que se considere que esas tareas son poco especializadas. Podría suceder que los robots fueran capaces de dar masajes pero no de recibir a las visitas. Quizá los robots sean buenos a la hora de detectar qué pacientes fingen haberse tomado sus medicinas, pero no para convencerlos de que se las tomen voluntariamente. Mientras tanto, la programación de los robots cuidadores dependerá por completo del software en la nube, que a su vez se basará en el análisis de millones de situaciones y resultados. Si una enfermera especialmente experta transmite datos de su actividad a la nube, esos datos se podrían incorporar después a una nueva generación de robots cuidadores, para beneficio de todos los pacientes.

Los robots de *PAL Robotics* están en continuo desarrollo para ofrecer la mayor cantidad de funcionalidades posible. Por ejemplo, juegos en su pantalla táctil para trabajar la cognición, programas para promover el ejercicio si las personas mayores están mucho tiempo inactivas, conectarles con sus seres queridos a través de una videollamada o recordarles citas pendientes. Y, por supuesto, conectar directamente con un cuidador si la persona mayor necesita ayuda, como en caso de una caída. También aspiran a que los dispositivos que cuenten con las herramientas necesarias sean capaces de llevar objetos o ayudar a la persona mayor a la que cuidan a recoger algo que se le haya caído. Una cuestión que no puede perderse de vista, coinciden los expertos, son las implicaciones éticas que hay que tener en cuenta a la hora de desarrollar estos robots. A los autores del informe les preocupa el tratamiento de la información, la garantía de privacidad y quién tendría la responsabilidad en caso de accidente. El director de negocios de *PAL Robotics* cuenta que desde su empresa intentan evitar la recopilación y el uso de datos personales para desarrollar sus proyectos y, en caso de hacerlo, anonimizan esa información. Para Antonio López, de la UNED, la tecnología cambia la naturaleza de las cosas y nuestra realidad. Por eso, *“la mayor cuestión es si podemos hacer un modelo de inteligencia artificial, de robótica, de servicios, basado en los derechos humanos”*. Estamos constatando que la población mundial está envejeciendo rápidamente y que las personas mayores representan una parte significativa de nuestra sociedad. Pero, por otro lado, a medida que avanzamos en la era digital, la inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta poderosa para mejorar la calidad de vida de las personas mayores. A través de su aplicación en diversos campos, la IA puede proporcionar beneficios sustanciales y empoderar a esta población en constante crecimiento. Esta tecnología puede marcar la diferencia en su bienestar y autonomía. Uno de los aspectos más críticos para las personas mayores es el cuidado de su salud. La IA se está utilizando cada vez más en aplicaciones médicas, como diagnóstico temprano de enfermedades, monitoreo remoto de pacientes y personalización de tratamientos. Los asistentes virtuales y dispositivos inteligentes pueden recordarles tomar medicamentos, medir sus signos vitales y proporcionar alertas en caso de emergencia. Estas tecnologías ayudan a

mantener un seguimiento más cercano de su bienestar y pueden salvar vidas al detectar problemas de salud en etapas iniciales.

Uno de los temores más comunes entre las personas mayores es perder su independencia a medida que envejecen. La IA ofrece soluciones que permiten que los adultos mayores se mantengan activos y autónomos en sus hogares durante más tiempo. Los dispositivos inteligentes para el hogar pueden automatizar tareas diarias, como ajustar la temperatura, encender luces o cerrar persianas, facilitando la vida cotidiana. Además, la incorporación de asistentes virtuales y sistemas de domótica puede facilitar la interacción con la tecnología, haciendo que los dispositivos sean más accesibles y fáciles de usar. Asimismo, la soledad y el aislamiento social son problemas comunes entre las personas mayores, lo que puede afectar negativamente su salud mental y el bienestar general. La IA tiene el potencial de mejorar la socialización y la conectividad de esta población. Aplicaciones de mensajería y redes sociales facilitan mantenerse en contacto con familiares y amigos, incluso si están geográficamente distantes. Los robots sociales también están ganando popularidad como compañeros interactivos, brindando apoyo emocional y combatiendo la soledad. Además, la IA ha revolucionado la forma en que accedemos a la información y servicios en línea. Las personas mayores pueden beneficiarse de asistentes virtuales inteligentes que les proporcionen respuestas rápidas a sus preguntas, traducciones, guías para llegar a lugares o realizar compras en línea. Esto les brinda un mayor grado de independencia y les permite participar activamente en la sociedad digital. También es evidente que las personas mayores son más propensas a sufrir caídas y accidentes, lo que puede tener consecuencias graves para su salud. La IA puede ayudar en la detección temprana de situaciones de riesgo y prevenir accidentes. Por ejemplo, sensores inteligentes pueden detectar cambios en el patrón de movimiento de una persona mayor y alertar a sus cuidadores o servicios de emergencia en caso de una caída. De hecho ya casi todos los relojes inteligentes tienen esta funcionalidad. Entonces la inteligencia artificial representa una oportunidad excepcional para mejorar la calidad de vida de las personas mayores. Desde el cuidado de la salud y la autonomía hasta la socialización y la prevención de accidentes, la IA puede desempeñar un papel crucial en el bienestar de esta población en constante crecimiento. Sin embargo, es esencial abordar desafíos como la accesibilidad y la privacidad para garantizar que la tecnología sea inclusiva y ética. A medida que avanzamos en el desarrollo de la inteligencia artificial, es fundamental que los avances tecnológicos estén diseñados teniendo en cuenta las necesidades y preferencias de las personas mayores. Al hacerlo, podremos aprovechar todo el potencial de la IA para mejorar la vida de esta importante parte de nuestra sociedad y asegurarnos de que se beneficien plenamente de la era digital.

Vemos pues que podemos utilizar la Inteligencia artificial para cuidar de la salud de los mayores, para vigilar a los que están en residencias de la tercera edad, en teléfonos adaptados, en relojes que monitorizan las constantes vitales o en el seguimiento del paciente de manera virtual. La tecnología ya forma parte del día a día de las personas mayores. Las personas mayores de 55 años cada vez son más digitales a través de aplicaciones y dispositivos. Aunque es cierto que tener 60, 70, 80 o 90 años ahora no es lo mismo que hace décadas. Y es que ahora las personas mayores muchas veces no parecen personas de la tercera edad, ya que hacen video llamadas, compran online y son capaces de manejar un reloj inteligente para calcular los pasos que dan o para medir su frecuencia cardíaca. Y para seguir animando a este sector de la población a consumir tecnología, las empresas siguen invirtiendo en funcionalidades específicas para ellos. Y lo hacen sobre todo para aquellas personas menos hábiles en el manejo de dispositivos y para aquellas personas mayores que viven solas. Actualmente se les da el nombre de 'seenagers' a aquellas personas mayores de 65 años que desafían los estereotipos relacionados con su edad. El término proviene de la fusión de sénior (adulto mayor) y teenager (adolescente). Y es que las personas mayores de ahora tienen más tiempo libre, mejor salud y quieren disfrutar de una considerable larga vida después de jubilarse. Por eso, no es de extrañar que en países como España, 7 de cada 10 personas mayores de 55 años ya estén en internet. En total, son unos 11 millones de personas de las que el 69% utiliza YouTube, el 64% WhatsApp y el 62% Facebook. En cuanto a las pulseras y relojes para monitorizar las constantes vitales, existen decenas de marcas que disponen

de las mismas funciones, como calcular la distancia que camina el usuario, medir la frecuencia cardíaca y monitorizar el sueño. Sin embargo, lo indispensable para personas mayores que necesiten estar vigiladas de alguna manera es el GPS. Gracias a dispositivos especiales para GPS se puede localizar a quien lleva el dispositivo rápidamente y ver el recorrido que ha realizado. Además, detectan si esa persona se ha caído, comprueban las constantes vitales y avisan si aparece alguna anomalía e incluyen un botón de ayuda para el propio usuario. Por otro lado gracias al altavoz y micrófono, funciona como un teléfono y puede recibir llamadas. Pero estos dispositivos son para personas que se valen por sí mismas y viven en su casa. Pero, ¿y si se encuentra en una residencia? En ocasiones es difícil atender y controlar a todos los residentes por falta de personal y recursos. Por eso, se trata de implementar un método de reconocimiento mediante sensores, sistemas de inteligencia artificial (IA) y Big Data. El Big Data consiste en un proceso que analiza e interpreta grandes volúmenes de datos, tanto estructurados como no estructurados y sirve para que los datos almacenados de forma remota puedan ser utilizados como base para la toma de decisiones. La primera residencia donde se quiere aplicar este sistema en España será el Centro Residencial para Personas Mayores de Armilla (Granada) para controlar a un máximo de 25 personas. Por otro lado, también se pretende utilizar la IA para monitorizar la salud y bienestar de los residentes, mejorar su atención emocional y social, incluso anticiparse a las necesidades de material y personal. También hay el objetivo de realizar teleconsultas, para que médicos y personal de enfermería puedan realizar un seguimiento de sus pacientes sin salir de sus casas para una mayor comodidad. Y ello puede hacerse en tiempo real a través de sensores no invasivos conectados a aplicaciones. Aunque esto que se plantea a nivel de personas mayores, sería aplicable a personas de todas las edades.

Actualmente la inteligencia artificial está revolucionando múltiples industrias y sectores. Pero un informe publicado por la revista *Science Robotics* realizado por las universidades de Auckland, Duke y Cornell, indica el potencial de la inteligencia artificial para actuar como compañera de las personas de la tercera edad o de personas de otras edades que lo requieran. Tal como ya hemos indicado antes, uno de los principales problemas en la vejez es la soledad no deseada. Según Guillermo Lahera, profesor titular de psiquiatría de la Universidad de Alcalá de Henares, la soledad no deseada aumenta un 30% el riesgo de una muerte prematura. Además de aumentar las probabilidades de sufrir enfermedades como depresión, demencia y problemas cardiovasculares. El 69% de los profesionales de atención médica considera que los robots y la inteligencia artificial pueden contribuir a la salud mental de los pacientes, incluyendo aliviar el aislamiento. Debido al creciente aumento de uso de la inteligencia artificial, es importante entender los riesgos que puede implicar. Elizabeth Boradbent, una de las autoras del informe de *Science Robotics*, indica que es fundamental construir reglas morales y confiables en el diseño de robots programados por inteligencia artificial. Especialmente, debido a que estos tienen la capacidad de establecer conexiones sociales fuertes con gran impacto social. Uno de los principales aspectos que se debe tener en consideración al momento de trabajar con inteligencia artificial es evitar que esta sustituya completamente la interacción humana. Es relevante considerar que las relaciones sociales también se basan en contacto físico, empatía, afecto e intercambio de sentimientos, aspectos no replicables actualmente por una inteligencia artificial. Pero, ¿qué puede hacer la inteligencia artificial por la tercera edad?, ¿cómo asegurarnos de nuestros adultos mayores estén bien cuidados cuando no estamos presentes?, o bien, ¿las personas mayores se sienten solas o están bien acompañadas por quienes elegimos para hacerlo? Tomar la decisión de dejar a un familiar bajo la supervisión y atención de un tercero nunca es fácil y ante esto la IA puede entregar herramientas que no sólo nos dejen más tranquilos, sino que finalmente terminen otorgando una voz a quienes la han perdido. Sin más, el número de personas mayores de 65 años en el mundo ha superado por primera vez en la historia al de niños menores de cinco años, según advierte la ONU sobre el envejecimiento de la población y prevé que en 2050 las personas mayores de 80 años o más se tripliquen y pasen de los 143 millones actuales a los 426 millones.



A lo anterior podemos añadir que según las Naciones Unidas la población por encima de los 60 años escala más rápidamente en los países en desarrollo. Ello implica que no solo hay una población creciente de esta edad sino que también necesita soluciones. La empresa israelí *Sensi.ai* ha desarrollado una plataforma que proporciona a los administradores de centros de atención o proveedores de cuidados en hogares de ancianos, así como a los miembros de la familia, una supervisión completa e integral del programa de atención continua de un paciente bajo un cuidador. Esto gracias a su capacidad para grabar sonidos y su componente de IA que puede enviar posteriormente indicaciones a los administradores de centros de atención o proveedores de cuidados en hogares de ancianos o residencias privadas sobre lo que sucede durante el día a día del paciente y si su atención debe mejorarse. Es una tecnología que permitiría prescindir de una grabación mediante video, que es extremadamente invasiva para la privacidad de estas personas. Entregando además detalles de las rutinas de los adultos mayores, qué es lo que deben hacer, horarios para sus medicamentos, entre otros. Existe un gran espacio para que las empresas enfoquen sus proyectos tecnológicos en la tercera edad y es un foco en el que aún hay mucho que explorar. Si bien existe un ecosistema creciente de proyectos que cubren este mercado, aún parece ser poco visible. Esta falta de perspectiva se puede ver manifestada en la irregularidad de inversiones en startups en esta línea. No parece ser un mercado creciendo a la misma tasa que el correspondiente volumen de población. No obstante la necesidad está ahí y las cifras así lo demuestran. ¿Qué puede aportar la inteligencia artificial para mejorar la calidad de vida de estas personas?: No solamente está el factor de cómo cuidarlos o monitorearlos. También está la calidad de vida y salud mental. Según estimaciones de la OMS, los trastornos de salud mental son la causa más común de discapacidad en personas en todo el mundo y se estima que más de 300 millones de personas padecerían de depresión, lo que equivale al 4,4% de la población mundial. La tercera edad es líder en la prevalencia vinculada a esta enfermedad. Es evidente que toda enfermedad o discapacidad mental va empeorando con los años y es por esta razón que en *Nimoy Cognitive Computing* están evaluando un prototipo que, más que un asistente, como SIRI o Google Home, sea una tecnología que sirva de compañera, que esté ahí en momentos de soledad, y con la cual incluso podamos discutir cualquier tema. Para ello *Nimoy Cognitive Computing* está utilizando el uso de GPT-3, un modelo de lenguaje autorregresivo que emplea aprendizaje profundo para producir textos o voz que simulan la redacción humana. La finalidad es elaborar un proyecto en el que pueda existir un diálogo por voz sobre cualquier tema, pero que también tenga como complemento el hecho de recordar medicinas y autocuidado. Por otro lado, también se requiere estudiar el comportamiento de las personas cuando la conversación es proactiva desde la IA. Es decir que, si es que se habilita esa opción desde una app en el teléfono inteligente, se inicie una escucha activa y que

eventualmente entienda lo que está pasando en el entorno y opine sobre eso. Por ejemplo, si están dos personas de la tercera edad hablando sobre la decisión de ver una película, la IA puede interrumpir y dar su opinión o entregar información adicional para que se tome la decisión correcta. Sin duda todo esto puede sonar disruptivo, pero es necesario explorar estas alternativas.

En la actualidad ya existen importantes herramientas tecnológicas a disposición de las personas mayores para sus cuidados. Y es que, gracias a los increíbles avances tecnológicos que se han desarrollado en los últimos años en sectores como los Big Data, el Internet de las cosas (IdC) y la Inteligencia Artificial (IA), se puede ayudar a las personas y, especialmente, a las personas mayores. Estas tecnologías para el cuidado de las personas mayores ayudan de distintas maneras, desde el control del estado de salud, la ayuda en el hogar, el incremento de tranquilidad y, en definitiva, mejoras en la calidad de vida. Según un artículo del *Centro Internacional sobre el Envejecimiento* (CENIE), estas innovaciones podrían tener un impacto muy significativo en las personas mayores ya que ofrecen una gran esperanza a este grupo de la población. Sobre todo se destacan cinco avances tecnológicos punteros. Uno serían los robots para personas mayores, ya que en los últimos años se ha trabajado en potenciar la inteligencia artificial y hacer robots más inteligentes y eficientes. Lo cierto es que se ha conseguido y, aunque es un tema polémico debido a que lo nuevo y tecnológico puede suscitar miedo e incógnitas, se han desarrollado robots que están empezando a ayudar a personas mayores en residencias, hospitales y en el hogar, actuando como tecnología para el cuidado de mayores. El motivo por el que se han empezado a desarrollar estos robots, entre otros motivos, es el envejecimiento de la población y las bajas tasas de natalidad. En Japón, el 20% de la población tiene más de 65 años y, según el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar del país, en 2025 habrá una escasez de 380.000 enfermeras, razón por la que se ha empezado a implantar esta nueva tecnología. Algunos robots destacables son *Pepper* de la empresa SoftBank, con forma humanoide, que es un robot emocional que se ha empezado a utilizar en distintos hospitales belgas para interactuar con los pacientes ya que puede responder a la alegría, la tristeza, la ira o la sorpresa, algo innovador en el campo de los robots. Por su lado, el robot Robear es un robot para el cuidado de enfermería que puede ayudar a las personas mayores con las tareas físicas, como ayudarles a salir de la silla de ruedas o regresar a la cama.

El Internet de las cosas (IdC) se refiere a una interconexión digital de objetos cotidianos con internet, como por ejemplo una nevera, una lavadora, etc. No obstante, también se ha implantado este concepto en el campo de la medicina. Un gran número de personas mayores sufren enfermedades no transmisibles, como afecciones cardiovasculares, problemas respiratorios, cáncer o diabetes. Enfermedades como estas suelen requerir un tratamiento costoso a largo plazo, que encuentran en el *Internet de las cosas* una solución prometedora ya que ahora muchas aplicaciones y dispositivos médicos inteligentes recopilan e intercambian datos en tiempo real vía internet, cuidando de la salud del paciente de una forma diferente. Un ejemplo de *Internet de las cosas* en medicina es la cama inteligente BAM Labs, una cama conectada a la nube que posibilita que el médico pueda analizar los datos de los signos vitales de un paciente sin salir de la oficina, haciendo mucho más eficiente la atención domiciliaria para las personas mayores. Asimismo, puede parecer que la Realidad Virtual (RV) está enfocada únicamente a los adolescentes y a la gente joven, pero también hay distintas empresas que han diseñado programas de realidad virtual para personas mayores. El motivo por el que algunas empresas se han enfocado en el uso de esta tecnología para el cuidado de mayores es que se ha observado que la RV puede proporcionar importantes beneficios para la salud de las personas mayores, como mejoras en la atención o de la capacidad de estimular la actividad cerebral. Algunos médicos que buscan nuevas formas de tratar los trastornos mentales como el Alzheimer, ven en la Realidad Virtual una oportunidad. El programa de realidad virtual de *Google Earth* se ha utilizado para revivir los recuerdos de personas mayores que padecen Alzheimer ya que, al ser una actividad que promueve la dopamina, un neurotransmisor, en el cerebro, puede actuar como un tratamiento terapéutico para estas personas.

En los últimos años se han lanzado diversas aplicaciones para los teléfonos inteligentes que tienen la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas mayores y apostar por la economía basada en la tercera edad. Un ejemplo es Daylio, una app que mide el estado de ánimo de cada uno y es útil, sobre todo, para personas con síntomas de ansiedad o depresión. Safe365 es una aplicación de cuidado familiar que proporciona asistencia a las personas mayores ya que permite acceder a su localización de manera sencilla y dispone de un botón de emergencia que, al pulsarlo, redirige directamente a los servicios de emergencia para agilizar el proceso de asistencia en caso de ser necesario. Esta tecnología para el cuidado de personas mayores consigue que tanto ellas como sus familiares estén seguros y tranquilos en su día a día. La telemedicina es otra tecnología para el cuidado de personas mayores, pues permite la prestación de servicios médicos a través de dispositivos de comunicación, pudiendo recibir atención de un médico de manera remota. Esto hace que los costes y el tiempo se reduzcan puesto que las visitas a urgencias disminuyen y se accede a un diagnóstico de forma más sencilla y rápida. Personas mayores con problemas de movilidad o personas mayores que viven en áreas rurales alejadas de hospitales pueden beneficiarse de este servicio. En los últimos años, la cantidad de datos relacionados con la salud de las personas ha crecido exponencialmente y los esfuerzos que se han llevado a cabo por mejorar su calidad ya están dando frutos. Sin embargo, cada día es más difícil que el personal de salud pueda extraer información de relevancia usando métodos tradicionales de procesamiento de estos datos. En este sentido, la IA junto con los recursos computacionales cada vez más potentes para procesar datos masivos, serán elementos clave para mejorar la salud de la población.

Los resultados de la aplicación de la IA en exámenes médicos revelan una gran heterogeneidad en los factores y procesos fisiopatológicos que contribuyen a una enfermedad, sugiriendo que existe la necesidad de personalizar los medicamentos a las características de un grupo homogéneo de pacientes o a pacientes concretos. En la actualidad la prevención temprana de enfermedades nunca ha sido más importante. Por ello se fortalece el concepto de medicina preventiva, la cual se basa en prácticas médicas que están diseñadas para prevenir y evitar afecciones. La Salud Digital asegura que, gracias al avance tecnológico plasmado en aplicaciones, monitoreo remoto, telemedicina y herramientas de comunicación, entre otros, se optimizará la calidad de la atención al paciente, así como se ofrecerá una respuesta más oportuna ante cualquier situación. Esto ocurre porque estas herramientas ponen a disposición datos, los cuales son utilizados para la detección, predicción y apoyo al diagnóstico y toma de decisiones ante anomalías. Mediante el uso de la IA se pueden interpretar grandes cantidades de datos derivados de diferentes fuentes para facilitar el diagnóstico y aumentar la capacidad de ejecutar iniciativas tempranas y, de este modo, prevenir enfermedades para reducir la carga tanto para el paciente como para los cuidadores. Por lo tanto, ejecutar intervenciones exitosas depende del conocimiento de las causas de la enfermedad, la dinámica de transmisión, la identificación de factores y grupos de riesgo, los métodos de detección temprana y tratamiento, la implementación de estos, así como la evaluación y desarrollo continuo de procedimientos de prevención y tratamiento. Vemos pues que las intervenciones desarrolladas para velar por la salud de la población están cambiando, pasando de ser tareas enfocadas en los tratamientos paliativos, a orientarse a preservar el bienestar de las personas a través de diversos métodos que se anticipan a posibles dolencias y patologías. Esta nueva perspectiva considera que los individuos son el centro de cualquier iniciativa. Por lo tanto, la recolección adecuada de datos de calidad relacionados con la vida y la salud de las personas es muy importante. Desde hace varios años se han realizado diferentes esfuerzos para mejorar los procesos de captura y almacenamiento de datos relacionados a esta materia, para su posterior mantenimiento, transmisión y explotación.

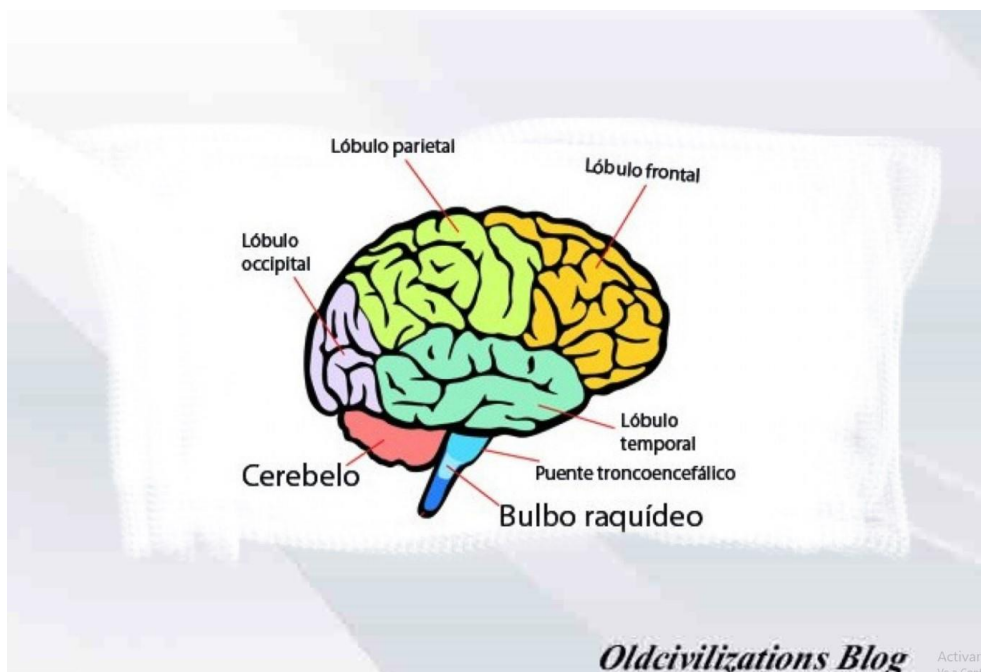
Sin embargo, a pesar de todos estos esfuerzos, en muchos lugares aún no existe una historia clínica electrónica unificada, lo cual es fundamental para aplicar los conceptos detrás de la medicina 4P. Pese a lo anterior, se visualiza que es cuestión de tiempo que la situación mejore. Por ahora, los esfuerzos se han centrado en optimizar la utilización de los datos relacionados con la salud de los pacientes con el fin de crear diversas aplicaciones y sistemas que tengan como objetivo mantener sana a la población.

Teniendo en cuenta este escenario y el hecho ineludible de que los datos relacionados con la salud crecen en complejidad y tamaño, es fundamental contar con herramientas automatizadas para extraer información y conocimiento, con el propósito de apoyar la toma de decisiones en el campo de la medicina. Es aquí donde la IA juega un papel fundamental, posibilitando el procesamiento masivo de datos, la automatización de procesos, la entrega oportuna de información y conocimiento y, por supuesto, el apoyo a la prevención de enfermedades. Estamos a las puertas de una nueva medicina, mucho más participativa, predictiva, preventiva y personalizada, donde el trabajo conjunto entre el personal sanitario y la IA está dando frutos cada vez más significativos; lo que también conlleva una gran responsabilidad, pues este tremendo poder tecnológico tiene que ser usado correctamente. El tratamiento de datos relacionados con la salud de las personas debe realizarse de forma segura, responsable y especialmente éticamente, velando por la salvaguarda de los derechos humanos de las personas por encima de todo. Solo así se podrá acceder realmente a los beneficios de la IA en el ámbito sanitario.

Lo cierto es que la medicina es uno de los campos que más y mejor se está beneficiando de la inteligencia artificial (IA). Desde agilizar el lento y costoso desarrollo de nuevos fármacos hasta analizar el genoma de un paciente, las aplicaciones que ya están en marcha son numerosas. Pero la IA se perfila, sobre todo, como una herramienta capaz de aprender y analizar con rapidez enormes cantidades de información de los historiales de pacientes, de las pruebas de imagen, como radiografías, y de los avances científicos, a fin de ayudar a los médicos a ofrecer mejores diagnósticos y tratamientos. La IA liberará a los médicos de algunas tareas monótonas, como el análisis de las imágenes médicas, que es una de las áreas en las que trabajan en un laboratorio situado en el barrio de Kensington. Allí desarrollan algoritmos para el aprendizaje automático de IA con la finalidad de extraer de las imágenes médicas información clínica útil. Así, la IA se aplica para entender mejor el desarrollo del cerebro y mejorar el diagnóstico de pacientes con demencia que hayan sufrido un ictus o daños cerebrales, o bien realizar diagnósticos en personas con enfermedades cardiovasculares. Pero también la IA es una herramienta para ofrecer diagnósticos en países en vías de desarrollo o zonas remotas donde no hay personal médico tan cualificado. La inteligencia artificial se basa en la creación de algoritmos que funcionan a través de las llamadas "*redes neuronales artificiales*", que están compuestas por "*elementos procesadores*", que serían los equivalentes a las neuronas humanas. Los "*elementos procesadores*" se encuentran organizados por niveles, denominados "*capas*". Y es precisamente el conjunto de todas estas capas las que forman una red neuronal artificial completa. De esta forma, la IA no solo logra emular la inteligencia humana, sino que la está superando. Por ello, la aplicación de la inteligencia artificial en medicina está resultando ser clave en el ámbito de la salud, mejorando el día a día de pacientes y profesionales sanitarios. La IA ha demostrado ser altamente eficaz en la detección y prevención de determinadas enfermedades, mejorando notablemente la calidad de vida de los pacientes. En este sentido, destaca la creación de sistemas informáticos capaces de diagnosticar, con alta precisión, determinados tipos de cáncer. Asimismo, se han creado programas inteligentes dirigidos al ámbito de la cardiología, que logran detectar cardiopatías que, de otro modo, permanecerían totalmente ocultas. Por otro lado, la inteligencia artificial también está ocupando un papel muy relevante en la rama de psiquiatría y psicología. Destaca aquí el desarrollo de estudios computacionales basados en el análisis de mensajes publicados en redes sociales. A partir de ellos, se generan algoritmos que tienen la capacidad de predecir el riesgo de que un usuario padezca alguna psicopatología.

Para tomar determinadas decisiones médicas los profesionales sanitarios siguen un proceso que se desarrolla en base a la disponibilidad de evidencia objetiva y confiable, así como a la interpretación de los hechos existentes. Para ello deben ponderar entre los posibles riesgos y beneficios. Sin embargo, la realidad muestra que, en determinadas ocasiones, este protocolo estandarizado no funciona, ya sea porque la evidencia no está disponible, porque el tiempo para tomar dicha decisión es limitado o porque las decisiones sobre determinados pacientes no pueden ser siempre objetivas. Así pues, la gran capacidad de recopilación, análisis y procesamiento de datos de la inteligencia artificial se presenta como la solución a todos estos problemas. Además, el uso de la IA en el procesamiento e interpretación de imágenes también ha conseguido mejorar las tasas de

diagnóstico por este medio. Sus altas capacidades de reconocimiento de patrones complejos ofrecen una mayor precisión e incluso permiten desarrollar modelos tridimensionales. En cuanto al tratamiento, la IA también se ha utilizado para predecir posibles reacciones adversas o para determinar el grado de adhesión al tratamiento por parte de los pacientes. También tenemos asistentes robóticos que en combinación con la inteligencia artificial ayudan en el seguimiento, soporte y monitorización de los pacientes. Asimismo, la inteligencia artificial en medicina está mejorando los métodos de aprendizaje de los profesionales sanitarios. Sobre todo, en aquellos casos donde la información es más compleja, o requiere de algún tipo de entrenamiento. A través de ella, se pueden crear diferentes escenarios que ofrecen numerosas ventajas desde un punto de vista formativo. Un ejemplo de ello es la simulación de intervenciones reales, como el entrenamiento de habilidades de diagnóstico o comunicación con el paciente, o la creación de supuestos médicos en base a parámetros reales. La inteligencia artificial ha beneficiado enormemente a las investigaciones médicas y científicas. Su aplicación ayuda a optimizar el tiempo empleado, reduciendo los costes y mejorando los resultados obtenidos. La lógica difusa, que permite tomar decisiones en función de grados intermedios de cumplimiento de una premisa, es empleada en los nuevos modelos de investigación y está reportando nuevas visiones en el ámbito de la salud que mejoran el estudio de enfermedades, de sistemas de diagnóstico y de respuestas al tratamiento.



Tenemos algunos ejemplos reales de la aplicación de la inteligencia artificial en medicina, como puede ser el asistente robótico para cirugías. Vemos pues que la combinación de la inteligencia artificial y la robótica han dado lugar a la creación de un robot de asistencia en cirugías. Su papel es actuar como una extensión del profesional sanitario, brindando la posibilidad de realizar operaciones quirúrgicas a distancia, especialmente utilizando comunicaciones 5G, que son mucho más rápidas. También se han creado las asistentes de enfermería con el objetivo de atender al paciente en todo momento. También tenemos casos, como el de la Universidad de Valencia, en España, que ha desarrollado un nuevo sistema de inteligencia artificial para la detección temprana del cáncer de mama a través del análisis de mamografías. Este sistema inteligente ha demostrado ser altamente eficaz, arrojando un porcentaje de diagnósticos precoces del 89%. *DeepHealth* es un nuevo proyecto para la mejora de los diagnósticos médicos. En este proyecto europeo se están empleando técnicas muy innovadoras de Inteligencia Artificial, combinadas con la Computación de Alto Rendimiento y el Big Data, que permitan el aprendizaje de los algoritmos de IA. De esta forma, se busca crear nuevas formas más eficientes de diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades. Estamos viendo que la inteligencia artificial reporta numerosos beneficios en el ámbito de la salud, ya que esta

tecnología transversal supone amplias ventajas para el conjunto del sistema sanitario, puesto que mejora la capacidad de diagnóstico y la eficacia de los tratamientos, además de ayudar en la toma de decisiones clínicas a los profesionales sanitarios y a mejorar la experiencia formativa de los profesionales. Asimismo optimiza y reduce los tiempos de investigación, establece nuevas vías de estudio, inviables para la lógica humana, mejora la prevención y detección temprana de enfermedades, y aumenta la calidad de la atención médica y la calidad de vida de los pacientes. Pero la aplicación de la inteligencia artificial en medicina supone la recogida, almacenamiento, análisis y procesamiento de millones de datos. Dichos datos contienen información muy sensible, de carácter personal, perteneciente al área de la vida privada de millones de personas. Por ello, es necesario adoptar una serie de medidas dirigidas a garantizar la seguridad en el tratamiento de esos datos. En este sentido, las organizaciones internacionales de protección de los derechos humanos, como la ONU, están elaborando y emitiendo recomendaciones acerca de la correcta aplicación de la IA en el ámbito de la salud. Pero delega en manos de los distintos países la adopción de nuevas regulaciones que permitan un uso óptimo, adecuado y seguro de los mismos.

La inteligencia artificial ha posibilitado reducir el porcentaje de fracasos en los ensayos clínicos, permitiendo acelerar la investigación y la búsqueda de nuevos medicamentos, así como reduciendo los costes de investigación y desarrollo. Predecir la forma en que se pueden comportar determinadas moléculas y estudiar las probabilidades de un nuevo fármaco mediante el aprendizaje automático de IA, está permitiendo agilizar el desarrollo de fármacos para el tratamiento de enfermedades inflamatorias, neurodegenerativas o de cánceres. Además, los datos del ADN pueden utilizarse por la inteligencia artificial para detectar las causas genéticas de las enfermedades. ¿Te imaginas una cámara que, con solo captar tu imagen, sea capaz de detectar el riesgo de padecer una enfermedad determinada? Sin ningún otro dato, solo con una fotografía. No se trata de una visión futurista, sino de una realidad cada vez más habitual. Es el resultado de aplicar la inteligencia artificial a la medicina, uno de los principales campos donde la IA tiene mucho que aportar. El objetivo que guía los avances tecnológicos en este sentido es que la inteligencia artificial pueda identificar patrones para así poder emitir un diagnóstico y, de esta forma, ayudar a prevenir enfermedades o acelerar su tratamiento. Es evidente que el potencial de la AI aplicado a la medicina es enorme. Así, los logros en este campo aumentan año tras año. Y cuando la pandemia del coronavirus ha revolucionado laboratorios y centros de investigación de todo el mundo en busca de vacunas, medicamentos y nuevas formas de frenar el contagio, los expertos en AI están exprimiendo al máximo su creatividad. Porque no se trata solo de emitir un diagnóstico certero, sino que la AI también permite agilizar consultas y reducir la carga de trabajo en hospitales y centros de salud, lo que, a su vez, hace posible un sistema sanitario más eficiente.

Uno de los primeros proyectos de IA aplicada a la medicina llegó de la mano de Google. En 2016, el gigante de internet creó, en colaboración con un grupo de investigadores de Reino Unido, un sistema que permitía detectar de manera precoz la retinopatía diabética, una de las principales causas de ceguera en el mundo. Lo hacía después de un proceso de aprendizaje profundo de la IA, en el que había analizado miles de imágenes de globos oculares hasta ser capaz de detectar, por sí sola, los signos de la enfermedad. Sin embargo, aunque las primeras pruebas en laboratorio fueron todo un éxito, las últimas aplicaciones prácticas en Tailandia no lo han sido tanto, lo que demuestra la necesidad de adaptar los proyectos de AI al contexto real de los profesionales que van a usarlos. Desde el prestigioso MIT estadounidense llegaba en 2019 un segundo proyecto. Se trata de un modelo de aprendizaje profundo de IA que puede detectar el riesgo de padecer cáncer de mama. Es un proyecto desarrollado por investigadores del Hospital General de Massachusetts y el Laboratorio de Informática e Inteligencia Artificial del MIT, y que predice casi el doble de casos que con las técnicas habituales. La enfermedad del Alzheimer es otra de las enfermedades que pueden detectarse de forma temprana con modelos de inteligencia artificial. Como en una investigación de la Universidad de Boston, en Estados Unidos, en el que un algoritmo predice el riesgo de padecer la dolencia con más acierto que los neurólogos que participaron en el estudio. Lo consigue a través de la combinación de imágenes de la actividad cerebral, pruebas médicas y datos sobre la

edad y género de los pacientes del estudio. La capacidad de predicción de la IA puede llegar incluso a averiguar si una persona sufre una enfermedad genética con solo 'mirar' su rostro y registrar características como la forma, el color de la piel o la disposición de los ojos. Así lo probaron los científicos que participaron en un estudio publicado en *Nature Medicine* después de que un algoritmo de IA se entrenase viendo imágenes de caras con enfermedades genéticas y sin ellas. *DeepGestalt*, el software desarrollado, fue capaz de identificar de forma correcta hasta 200 síndromes genéticos, al menos en el 90% de los casos. Esto significa que la inteligencia artificial puede detectar en cuestión de segundos enfermedades que habitualmente no se diagnostican hasta pasados años. Y llegamos al caso del Covid-19. Una empresa tecnológica española, *Biometrix Vox*, en colaboración con investigadores del País Vasco y Murcia, se dedicó a almacenar las voces de pacientes tanto con coronavirus como sanos para ser capaz de detectar si una persona tiene la enfermedad con solo escuchar su voz. Bastaría con una llamada de teléfono para emitir un diagnóstico, lo que sin duda aceleraría procesos y permitiría un uso más eficiente de los recursos. De momento son solo proyectos en la mayoría de los casos, pero sus resultados demuestran que el uso de la inteligencia artificial podría transformar el diagnóstico médico para siempre.

La inteligencia artificial es una aliada perfecta del médico durante todo el proceso asistencial, ya que contribuye al diagnóstico y detección temprana de enfermedades a través del análisis de grandes cantidades de datos de salud, como el historial médico, imágenes médicas o resultados de pruebas clínicas. Por otra parte, ayuda a agilizar procesos que en el pasado suponían una carga adicional para los profesionales y que les servirá para centrarse en tareas más importantes como pasar más tiempo con sus pacientes, mejorando a la vez la eficiencia de su trabajo. Así pues, la inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta fundamental de apoyo para los profesionales médicos. Pero los últimos desarrollos tecnológicos de inteligencia artificial en investigación médica buscan las causas que pueden estar provocando las enfermedades, centrándose, por ejemplo, en ayudar a las personas a evitar enfermedades o a identificar los problemas de salud de un paciente en etapas mucho más tempranas con el objetivo de mejorar su calidad de vida, adelantar el tratamiento y reducir en gran medida el coste de este tratamiento mediante medicinas más efectivas y específicas. Los profesionales médicos ya pueden contar en la actualidad con herramientas que les ayudan en todas las áreas de su trabajo, desde la búsqueda de las moléculas y de los alimentos más adecuados para prevenir dolencias y mejorar la calidad de vida de sus pacientes, hasta acelerar el descubrimiento de nuevos fármacos en ensayos clínicos, pasando por un diagnóstico precoz, tratamientos adaptados o terapias personalizadas basadas en datos. No podemos negar que la IA ya forma parte de la asistencia sanitaria a través de herramientas valiosas e indispensables para los médicos que contribuyen a mejorar la salud de las personas, pero es importante tener en cuenta que el juicio clínico de un profesional sanitario formado aún no debería ser sustituido por ninguna tecnología, y es que la parte humana es aquella que da valor a los resultados analíticos. En resumen, el médico nunca debe perder su visión hipocrática hacia el paciente. Una filosofía que aún sigue influyendo en la práctica médica moderna y que seguirá siendo relevante mientras haya personas en busca de atención médica humana. Actualmente, las habilidades para relaciones interpersonales solamente las puede desarrollar un ser humano entrenado y es por eso por lo que la inteligencia artificial todavía se utilizará como una aliada clave para los médicos, pero no como alternativa. Al menos de momento, aunque todo indica que China ya ha formado a robots con algoritmos de IA en la carrera de Medicina para poder efectuar la atención primaria, ante la escasez de personal médico.

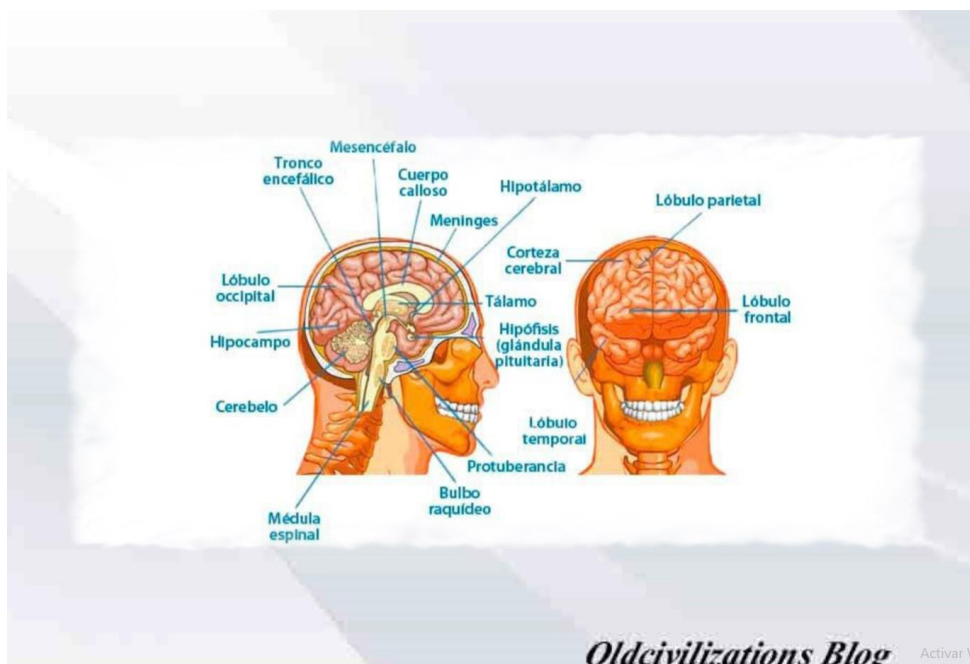
La tecnología ha avanzado en muchos campos para facilitar diversos procesos y hacernos la vida más sencilla. Pero, ¿sabes cómo se aplica la inteligencia artificial en el desarrollo de fármacos? En realidad, todos los sectores que disponen de cantidades muy grandes de datos, tienen la oportunidad de utilizarlos tanto para la investigación y desarrollo de nuevos productos, como para dar un mejor servicio a sus clientes. En el ámbito del desarrollo de nuevos fármacos, la inteligencia artificial ha influido para lograr una serie de ventajas, tales como reducir el porcentaje de fracasos en los ensayos clínicos, acelerar la investigación y búsqueda de nuevos medicamentos, y reducir los costes de investigación y desarrollo. El objetivo central de la Inteligencia Artificial en el

desarrollo de fármacos es poder predecir la forma en que se pueden comportar determinadas moléculas y estudiar las probabilidades de que puedan dar lugar a un nuevo fármaco. Lo que se pretende es acelerar el proceso de descubrimiento de nuevos medicamentos para reducir costes y hacer que lleguen lo antes posible a los pacientes. Actualmente existen diversas compañías del sector farmacéutico que han apostado por la utilización de la inteligencia artificial para ahorrar costes en sus procesos de investigación. La empresa británica *Benevolent AI* aplica el aprendizaje automático al desarrollo de fármacos para el tratamiento de enfermedades inflamatorias y neurodegenerativas, o cánceres poco comunes. Por otra parte, la empresa canadiense *Deep Genomics* está utilizando la inteligencia artificial para detectar las causas genéticas de las enfermedades y recientemente anunció que podría utilizar la inteligencia artificial también para desarrollar fármacos. La identificación de genes que causan una enfermedad puede ayudar en la investigación de fármacos que regulen los genes defectuosos. En el siguiente artículo trataré sobre la edición genética. Lo que se pretende es analizar grandes cantidades de datos para encontrar patrones, lo que podría permitir, incluso, predecir enfermedades futuras con un simple análisis del historial médico del paciente. Sin embargo, las farmacéuticas actúan con cautela puesto que la inteligencia artificial ha demostrado ser mucho más rápida pero todavía no ha demostrado estar a la altura de la inteligencia humana. Por lo tanto, el personal humano sigue siendo crucial en los estudios que se realizan para buscar soluciones a las enfermedades. No obstante, los investigadores están trabajando para que en un futuro la inteligencia artificial pueda combatir enfermedades o reducir sus efectos en la sociedad.

La industria farmacéutica ha sido uno de los sectores más beneficiados por la implantación de las tecnologías emergentes como por ejemplo la digitalización de tareas manuales para ahorrar tiempo y esfuerzo. Pero el cambio más importante ha llegado de la mano de la Inteligencia Artificial (IA), que ha permitido gran cantidad de avances, específicamente para agilizar el descubrimiento y desarrollo de fármacos, así como para reducir los costes de investigación y porcentaje de fracasos en ensayos clínicos. Crear un fármaco necesita de la síntesis de un compuesto que pueda adherirse a una molécula diana que causa la enfermedad y así modularla, corrigiendo la enfermedad. Para encontrar el compuesto adecuado, los investigadores revisan miles de dianas candidatas, y una vez identificada una, analizan enormes bibliotecas de compuestos similares para conseguir la interacción óptima con la proteína de la enfermedad. Actualmente, los investigadores necesitan más de una década y cientos de millones de dólares para llegar a este punto. Sin embargo, la IA permite simplificar el proceso y reducir el tiempo y dinero necesarios para el lanzamiento de estos nuevos fármacos. En el tema del descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos, el proceso incluye desde la identificación de la diana terapéutica causante de la enfermedad, que es donde el fármaco va a ejercer su acción para lograr la cura de la enfermedad, pasando por el diseño que permite conocer a priori qué características deben cumplir las moléculas candidatas a fármaco, hasta la actuación sobre dicha diana. La IA puede analizar grandes conjuntos de datos y patrones moleculares para descubrir nuevas moléculas y compuestos que puedan ser útiles para el tratamiento de enfermedades. También puede diseñar de un modo más sencillo el proceso de síntesis de estos compuestos. Asimismo, permite obtener mejores diagnósticos y tratamientos más personalizados, ya que la IA puede analizar datos de pacientes y resultados de pruebas para identificar diagnósticos precisos. Con la IA se pueden desarrollar herramientas avanzadas de diagnóstico como la identificación de patrones en imágenes médicas y la detección temprana de enfermedades. También se está usando para terapias personalizadas, con modelos computarizados que permiten predecir qué tratamientos serán más efectivos en cada caso particular, ajustándose a las necesidades específicas de cada paciente, reduciendo el impacto negativo o efectos secundarios de los tratamientos y aumentando su efectividad. También pueden optimizarse los ensayos clínicos, ya que la mayor causa de retraso en los ensayos clínicos proviene del proceso de reclutamiento de pacientes. El uso de la IA ha permitido encontrar pacientes adecuados para los ensayos clínicos con mayor rapidez y eficacia, y además garantizar que sean los candidatos adecuados gracias a su correcta segmentación. Se reducen así el número de ensayos potencialmente fallidos, lo que acelera el proceso de investigación y el tiempo de introducción de nuevos fármacos en el mercado.

Otro aspecto relevante es la mejora de la adherencia y dosificación de fármacos: Esto se consigue mediante la predicción de cómo serán absorbidos por el organismo los nuevos compuestos y cuánto permanecerán en nuestro cuerpo. También se mejora este proceso gracias a la identificación de los medicamentos que pueden emplearse en diferentes patologías, lo que se denomina reposicionamiento de fármacos, o incluso a la predicción, empleando aprendizaje automático de IA, de cualquier propiedad biológica de un posible fármaco sin necesidad de obtenerlo en el laboratorio ni realizar experimentación en animales. De igual modo, los sistemas de IA pueden monitorear el uso de medicamentos y enviar recordatorios a los pacientes para mejorar su adherencia al tratamiento y, de esta manera, reducir las tasas de abandonos de medicaciones prescritas. Asimismo tenemos el reposicionamiento de fármacos, que implica la identificación de medicamentos que pueden emplearse en diferentes patologías, lo que es una estrategia que pretende descubrir nuevos usos de medicamentos que ya han sido aprobados por las autoridades. Gracias a la reutilización de estos medicamentos, se pueden disminuir los riesgos y agilizar el proceso de desarrollo. Sin embargo, la combinación de ensayos clínicos puede resultar costosa y se necesita tiempo para ser considerada efectiva. La IA tiene la capacidad de generar una hipótesis de manera más rápida y acelerar el ensayo clínico de un fármaco. Otro aspecto importante es el de crear curas para enfermedades complejas y mejores tratamientos para enfermedades raras o patologías conocidas, pero sin cura. Algunos ejemplos de estas enfermedades son la *esclerosis lateral amiotrófica* (ELA), la del Alzheimer o la del Parkinson. Los algoritmos de aprendizaje automático permiten integrar cantidades masivas de datos procedentes de diversas fuentes, incluidos ensayos clínicos, registros de patentes u otros datos y publicaciones científicas, con el fin de reutilizar los medicamentos existentes y aplicarlos para hacer frente a estas enfermedades menos conocidas.

También es destacable la mejora de la calidad de los fármacos durante su fabricación y cumplimiento con los estándares: Gracias al uso de cámaras y algoritmos cognitivos basados en Aprendizaje Profundo, las empresas farmacéuticas pueden analizar cada producto durante el proceso de fabricación. Se pueden detectar y eliminar defectos en tiempo real garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad y reduciendo el coste. Asimismo es importante velar por una seguridad mejorada y proactiva para los trabajadores. El uso de la IA con visión artificial permite también detectar cualquier riesgo de seguridad, ya que se pueden generar alertas automáticas cuando un trabajador no lleve adecuadamente su equipo de protección personal, mejorando así su seguridad y previniendo riesgos para su salud. También se pueden detectar y monitorizar accesos de personas y vehículos a zonas restringidas o con riesgo de contaminación. Incluso con estos sistemas se pueden parar equipos y máquinas automáticamente para garantizar dicha seguridad. Otros aspectos indirectamente relacionados con la salud son la optimización de las operaciones industriales y la reducción de merma. Otro caso de uso de la combinación de la IA con visión artificial es el poder aumentar la visibilidad de la producción detectando cuellos de botella, retrasos o incidencias que impactan en la productividad y calidad, estimar inventarios, verificar el empaquetado de productos y prevenir o anticiparse a fallos en las máquinas. El flujo constante de esta información mejora significativamente la visibilidad del proceso y la capacidad para tomar decisiones en tiempo real.



Vemos pues que la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una herramienta prometedora en el descubrimiento de fármacos ya que puede mejorar las probabilidades de éxito y aportar mayor precisión, rapidez y rentabilidad a un proceso con altos índices de fracaso, tiempos de desarrollo muy largos y costes elevados. Para mejorar esta situación se utiliza un proceso conocido como cribado virtual. Se trata de soluciones digitales desarrolladas para identificar nuevas moléculas contra blancos celulares específicos y, de esta forma, acelerar el descubrimiento de nuevos fármacos. Hasta la fecha, la falta de estructuras proteicas disponibles y la escasa diversidad de las colecciones de compuestos impedían una aplicación generalizada de este enfoque. Hoy en día, la disponibilidad de amplias y diversas bibliotecas químicas virtuales y el acceso a las estructuras de casi todas las proteínas, representan dos avances fundamentales que permiten adoptar con éxito el cribado virtual. Además, la sustitución de las herramientas de acoplamiento clásicas por procedimientos de acoplamiento basados en aprendizaje automático, liberarán todo el potencial del cribado virtual, haciendo que el descubrimiento de fármacos sea más eficiente, rentable y asequible para muchas empresas con presupuestos modestos en el sector de la biotecnología. La búsqueda de un nuevo tratamiento farmacológico comienza con la identificación de compuestos químicos o moléculas que puedan servir como prototipos de medicamentos (*"fármacos candidatos"*) dirigidos contra una diana terapéutica conocida y relevante en una patología determinada. El primer paso es el cribado de alto rendimiento (*"HTS"*), un proceso de pruebas automatizadas en donde se ensayan compuestos químicos para discernir su actividad biológica y, por tanto, su potencial terapéutico basado en el efecto que muestran en dicha prueba. Cuanto más amplia y diversa sea la colección de compuestos analizados, mayores serán las posibilidades de encontrar una molécula valiosa que pueda convertirse en un fármaco. Y aunque el cribado de alto rendimiento (*"HTS"*) es una técnica avanzada que ahorra costes y ha mejorado drásticamente la eficiencia en la búsqueda de fármacos candidatos, el acceso a colecciones de compuestos químicos grandes y diversas puede ser costoso, y el cribado de millones de moléculas aún puede llevar meses.

El cribado virtual es el análisis mediante simulación o modelización realizado de manera virtual en un ordenador sobre una diana terapéutica en particular con numerosos compuestos químicos virtuales. Esta tecnología permite identificar pequeñas moléculas (*ligandos*) que pueden unirse a una diana terapéutica y modular su función, corrigiendo así el papel perjudicial que desempeña en el desarrollo de una enfermedad particular. La demostración en ordenador de la interacción de una molécula con una diana biológica no supone la confirmación de su actividad biológica beneficiosa, ya que los compuestos identificados mediante cribado virtual deben someterse a pruebas biológicas

de laboratorio que verifiquen y cuantifiquen su interacción con las dianas terapéuticas ensayadas. Pero el cribado virtual ofrece una forma rápida y eficaz de preseleccionar un subconjunto de moléculas para pruebas posteriores, evitando la necesidad de analizar colecciones enteras de compuestos. La diana terapéutica es una molécula biológica que desempeña un papel fundamental en el proceso de desarrollo de una enfermedad a nivel celular, como podría ser una proteína. Una vez identificada la diana relevante, se buscarán compuestos químicos que se unan a ella y modulen su actividad, corrigiendo de esta manera el problema. Es de destacar que la mayoría de las dianas terapéuticas utilizadas en la actualidad son proteínas. Para que el cribado virtual tenga éxito, debemos conocer la estructura tridimensional (3D) de la diana terapéutica de la manera más detallada posible. Tradicionalmente, la determinación precisa de la estructura 3D requería sofisticadas tecnologías ópticas como la *difracción de rayos X* o la *criomicroscopía electrónica*. Sin embargo, los recientes avances en diversas herramientas de IA como Helixfold o AlphaFold, han permitido predecir la estructura 3D de casi todas las proteínas que se encuentran en los organismos vivos con un alto nivel de precisión, convirtiendo al cribado virtual en una opción viable para buscar compuestos químicos que puedan unirse a prácticamente todas las dianas terapéuticas posibles. Mientras que el cribado de alto rendimiento (“HTS”) requeriría el acceso a compuestos químicos reales, adecuadamente almacenados en viales en colecciones específicas, y la capacidad de sintetizarlos en las cantidades necesarias para las pruebas, el cribado virtual aprovecha las colecciones virtuales. Por lo tanto, el cribado virtual no sólo puede aportar al descubrimiento de fármacos la eficacia y el ahorro que tanto necesitan las empresas farmacéuticas, sino que también puede mejorar enormemente las posibilidades de éxito al aumentar significativamente la diversidad del espacio químico susceptible de búsqueda.

No obstante, el primer gran desafío en la estrategia de descubrimiento de nuevos fármacos es la identificación de una diana fisiológicamente relevante. En la actualidad las dianas se identifican principalmente a través de estudios de secuenciación del genoma o de la expresión génica, que implica decidir que genes se activan para un determinado tipo de célula, ya que no es lo mismo una célula del hígado que una del corazón. Sin embargo, el análisis de este tipo de información es muy costoso y requiere mucho tiempo. La IA surge como una respuesta tecnológica muy eficaz para hacer frente a este reto. Por ejemplo, la herramienta de IA, *Genetic Fingerprint*, aprovecha la información genética de tumores de pacientes con cáncer para identificar posibles dianas terapéuticas únicas. La herramienta codifica esta información utilizando tecnología similar a la empleada en la creación de criptomonedas o en los sistemas de información cifrada para generar un “*genoma tumoral virtual*” de cada paciente a partir del que puede estudiarse su evolución clínica. De este modo, la herramienta permite seleccionar aquellos genomas relacionados con un peor pronóstico para identificar las mutaciones génicas más representativas responsables de la evolución clínica desfavorable. Estas mutaciones nocivas revelan los puntos de intervención sobre los que puede actuar un fármaco para atacar las células tumorales, favoreciendo el desarrollo de terapias personalizadas. Por otra parte, gracias al conocimiento de la estructura tridimensional de las proteínas diana y al acceso a colecciones virtuales de moléculas, los investigadores pueden realizar un cribado virtual para analizar la afinidad con la que se prevé que las moléculas se unan a su diana. Una simulación informática conocida como *acoplamiento molecular* permite explorar las distintas conformaciones y orientaciones que puede adoptar una molécula pequeña dentro de las hendiduras naturales, o sitios de unión, de la estructura proteica. Mediante este análisis, los investigadores buscan conformaciones y orientaciones especialmente favorables a un determinado estado termodinámico de la molécula, en particular, el nivel de energía libre asociado a la conformación y orientación. Las moléculas que presentan la conformación y orientación más favorables se seleccionan y pasan a las siguientes fases del análisis de fármacos.

Los avances en aprendizaje automático de la IA realizados en los últimos años han mejorado drásticamente los procedimientos de acoplamiento molecular, principalmente al considerar las estructuras dinámicas tanto de las proteínas como de las pequeñas moléculas (*ligandos*) en solución. Las nuevas herramientas de aprendizaje automático introducen mejoras significativas en el rendimiento y la precisión de los procedimientos de acoplamiento molecular. Se espera que su uso en paralelo con ordenadores de alto

rendimiento, incluyendo la computación cuántica, suponga un salto adelante en la eficiencia y fiabilidad del cribado virtual, aprovechando al máximo la rica información estructural proporcionada por sistemas predictores de la estructura 3D de proteínas y la riqueza de la diversidad química ofrecida por las grandes colecciones virtuales. En resumen, hoy en día, la IA ya puede ayudarnos a descubrir nuevas indicaciones para medicamentos existentes (reposicionamiento), identificar nuevos candidatos a fármacos y diseñar nuevos compuestos químicos que podrían permitir tratamientos novedosos contra enfermedades raras o letales. Por todo ello la industria farmacéutica tiene sus esperanzas depositadas en la inteligencia artificial (IA), ya que confían en que contribuirá a reducir la carga de trabajo, acortar plazos, identificar posibles nuevos usos de los fármacos, mejorar la productividad del sector y aumentar el éxito de los ensayos clínicos. El descubrimiento y el desarrollo de un solo fármaco actualmente, sin el uso de la IA, puede tardar más de una década y costar una media de 2800 millones de dólares. Y a pesar de dedicar esta gran cantidad de tiempo y recursos, nueve de cada diez siguen sin superar los ensayos clínicos de fase 2 y no llegan a obtener la autorización normativa. El aumento de la digitalización de datos en el sector farmacéutico se presta a utilizar las herramientas y redes de IA para interpretar, «aprender» y tomar decisiones «inteligentes», pero con mucha mayor rapidez que los investigadores humanos.

En la década de 1950 los pioneros de la IA hablaban de máquinas que pudieran sentir, razonar y pensar como las personas. El rápido auge de la potencia de procesamiento de los ordenadores y de su capacidad para gestionar grandes cantidades de datos (Big Data), junto con el desarrollo de algoritmos avanzados desde aquella época, han mejorado considerablemente el conocido como aprendizaje automático. Esta forma de IA está orientada a las tareas, facilita el análisis, entiende y genera palabras escritas y habladas mediante el procesamiento del lenguaje natural, y realmente imita la forma en que pensamos. Más de 50 años más tarde, el 12 de junio de 2007, el robot Adam identificó con éxito la función de un gen de una levadura. Adam realizó búsquedas en bases de datos públicas y desarrolló hipótesis acerca de los genes que codifican las principales enzimas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Al contrastar estas hipótesis, los investigadores hallaron nueve genes nuevos y exactos y solo uno erróneo. *«Los robots científicos que utilizan la IA pueden analizar más compuestos, y con un mayor grado de exactitud y reproducibilidad, y mantener un registro exhaustivo que permite realizar búsquedas»*, explicó el biólogo de sistemas Steve Oliver, de la Universidad de Cambridge y miembro del grupo que construyó el robot Adam. Más tarde, el mismo equipo anunció que la “compañera” de Adam, Eve, había descubierto un posible nuevo tratamiento para los parásitos causantes del paludismo. *«Estamos dando la vuelta al paradigma del descubrimiento de fármacos al utilizar la biología y los datos de los pacientes para obtener hipótesis más predictivas, en lugar del método tradicional de ensayo y error»*, afirmó Niven Narain, cofundador, presidente y director ejecutivo general de la empresa Berg, además de pionero en el desarrollo de tecnologías de interrelación entre IA y biología. Los investigadores de Berg, una empresa biotecnológica situada cerca de Boston, Massachusetts, utilizaron algoritmos de IA para identificar posibles tratamientos a partir de la causa de una enfermedad. Analizaron más de 1000 muestras de células humanas cancerosas y sanas, modificando las condiciones de proliferación y midiendo después el rendimiento celular y los resultados. El análisis mediante IA, que incorporaba datos biológicos y de resultados de los pacientes, puso de manifiesto las principales diferencias entre las células enfermas y las sanas. Su equipo utilizó esta estrategia para identificar moléculas específicas del metabolismo del cáncer y determinar cómo funcionaría un nuevo fármaco anticanceroso. Ese fármaco se está estudiando actualmente en un ensayo de fase 2 en pacientes con cáncer de páncreas avanzado.

La empresa Berg está utilizando el mismo sistema de IA para identificar dianas terapéuticas y tratamientos para la diabetes, la enfermedad de Parkinson y otros trastornos. La empresa londinense *Benevolent AI* cuenta con una plataforma de IA basada en la nube que analiza datos de artículos de investigación, patentes, historias clínicas de pacientes y ensayos clínicos. La base de datos incluye más de mil millones de relaciones documentadas o deducidas entre genes, síntomas, enfermedades, proteínas, tejidos, especies y medicamentos. Se utiliza como motor de búsqueda y es capaz de generar gráficas de enfermedades, genes asociados y compuestos eficaces. *«La IA*

puede poner todos estos datos en contexto y sacar a la superficie la información más relevante para los científicos dedicados al descubrimiento de fármacos», comentó Jackie Hunter, consejera de *Benevolent AI*. Cuando *Benevolent AI* recibió el encargo de sugerir tratamientos para la *esclerosis lateral amiotrófica* (ELA), se identificaron cerca de cien compuestos existentes que podrían tratar dicha enfermedad. Los científicos de la empresa eligieron cinco de ellos para analizarlos en el *Sheffield Institute of Translational Neuroscience*, en el Reino Unido. En el simposio internacional sobre la ELA celebrado en diciembre de 2017 en Boston, Massachusetts, se comunicó que cuatro de los compuestos habían mostrado resultados prometedores y que uno de ellos incluso retrasaba los síntomas neurológicos en ratones. Algunos opinan que la capacidad de la IA para identificar causas previamente desconocidas de enfermedades acelerará la tendencia hacia el desarrollo de tratamientos diseñados para pacientes con perfiles biológicos específicos. Según Jackie Hunter: *«Hace mucho que se habla de la medicina personalizada. La IA va a hacer que sea posible».*

Visto lo visto, nos podemos preguntar: ¿Qué nos deparará el futuro? La IA ya ha demostrado su capacidad de predecir la farmacocinética de un fármaco, sus receptores diana, sus propiedades fisicoquímicas, su solubilidad, su afinidad de unión, su actividad biológica, su toxicidad y otras características que influyen en su eficacia. Los líderes del sector están de acuerdo en el que uso de la IA puede generar cambios en el proceso de descubrimiento de fármacos. Algunos expertos opinan que los futuros estudiantes deberán adquirir conocimientos sobre biología asociados a la informática, la estadística y el aprendizaje automático de la IA. Algunas universidades ya han creado programas de grado en informática biomédica, aunque la demanda de estos grados puede variar a medida que vayan apareciendo nuevos tratamientos. Otros creen que las predicciones acerca de la capacidad de la IA para revolucionar el descubrimiento de fármacos son demasiado optimistas. Niven Narain, que espera que la IA impulse grandes avances, coincide en que las afirmaciones tal vez sean exageradas, pero que no habrá que esperar mucho para saber si se confirman o se refutan. *«Esta expectación no puede durar mucho porque en los próximos cinco años, más o menos, la verdad se verá en los datos. Si para entonces estamos creando mejores fármacos, y de una forma más rápida y económica, la IA despejará de verdad».* La inteligencia artificial inicia una nueva era en la industria farmacéutica, la de los medicamentos exprés. Las alianzas de empresas del sector con startups se aceleran para explorar una tecnología llamada a reducir los ingentes costes y los prolongados plazos que exigen el desarrollo y la mejora de medicamentos, como la resistencia de bacterias a los antibióticos. Ya se trabaja para frenar una próxima epidemia.

Lo que antes tardaba décadas en conseguirse, ahora la inteligencia artificial es capaz de hacerlo en cuestión de días o meses, o incluso minutos. *«Encontrar la solución a una enfermedad es como hallar una aguja en un pajar»*, señaló Zhavoronkov, CEO de la empresa *Insilico Medicine* inmersa en este nuevo campo. Miguel Sotaquirá, doctor en bioingeniería y fundador de la web divulgativa *Codificandobits.com*, pone como ejemplo esta empresa porque logró crear en tan solo 21 días, usando IA, una nueva molécula para tratar la fibrosis quística. Y en menos de una semana consiguió generar un medicamento contra el coronavirus. Esto supone una reducción crítica de tiempo y dinero. César de la Fuente, biotecnólogo en la Universidad de Pennsylvania y reconocido por el *MIT Technology Review* como uno de los innovadores más importantes del mundo, señala que *«hasta ahora sin la intervención de la IA, el descubrimiento y desarrollo de un nuevo fármaco llevaba unos 10 años y podía costar más de dos mil millones de dólares, es decir producir un antibiótico es más caro que enviar un cohete de la NASA a la Luna».* Pero las reglas de juego pueden cambiar, minimizando los errores y mejorando la concentración de los recursos, ya que actualmente, según responsables de la empresa *Exscientia*: *«la tasa de fracaso para el desarrollo de fármacos en la industria porque no obtienen la aprobación de una agencia del medicamento es del 96%».* Y en el caso del investigador César de la Fuente está inmerso en algo que le fascina, *«abordamos la extinción molecular, resucitamos una molécula que ya no existe con el objetivo de desarrollar un nuevo antibiótico. Intentamos desarrollar herramientas computacionales para poder explorar los genomas de organismos extintos para encontrar moléculas, volverlas a la vida en el laboratorio y ver si pueden servir para matar superbacterias de hoy».* Además

señala que otra vertiente en el uso de IA es encontrar medicamentos para enfermedades que sufren animales y plantas.



Pero la probabilidad de que un medicamento pase todas las pruebas es baja y el proceso muy largo. Por eso se produce una deserción en la inversión, debido a que es una carrera de fondo incierta. Como afirma Isabel Díaz Planelles, Coordinadora académica del Máster Universitario en Economía de la Salud, «la aplicación de la IA en procedimientos como el diseño de moléculas, predicciones de toxicidad y eficacia en humanos, y la selección de pacientes idóneos para los ensayos clínicos, ha demostrado ser de gran utilidad para optimizar dichos procesos». Los investigadores humanos solo consiguen investigar una pequeña parte de lo que hay, mientras que el aprendizaje automático puede hallar posibilidades ilimitadas. Economistas del MIT, la Universidad de Harvard y la Universidad de Boston establecían en un artículo conjunto que el mayor impacto económico de la IA podría provenir de su potencial como un nuevo 'método de invención'. Y Miguel Sotaquirá detalla: «a los ordenadores les damos información de décadas de estudios farmacológicos y son capaces de generar nuevas moléculas que antes no conocíamos con el potencial de convertirse en un medicamento para atacar una enfermedad particular. Hace unos años Alpha Fold, que es un programa de inteligencia artificial desarrollado por DeepMind de Alphabet, empresa que pertenece a Google, en su primera versión tardaba minutos en identificar una molécula con potencial para luchar contra enfermedades, y contra la próxima gran epidemia que es la resistencia de las bacterias a los antibióticos». Para esto Google creó la nueva compañía de Isomorphic Labs al tiempo que otra tecnológica como Microsoft también se subía al tren uniendo fuerzas con la compañía farmacéutica suiza Novartis. La fase preclínica que supone encontrar las moléculas candidatas con más posibilidades es lo que se está abordando ahora con la IA. César de la Fuente lo describe diciendo que «desarrollamos conjuntos de información biológica muy grande para que el ordenador pueda aprender a entenderla, y pueda escribir nuevas moléculas, como nuevas palabras que uno se inventa. Le enseñamos a comprender el mundo biológico y químico, a leer y escribir, como si fuera un niño y todavía estamos en los primeros estadios».

Las fases de creación de un nuevo medicamento implican la detección de nuevas moléculas, la creación de nuevos compuestos, las pruebas en animales y humanos y finalizan con la aprobación por parte de las entidades regulatorias de cada país. Las pruebas en animales y humanos, con el tiempo y con la madurez de la IA, también podrá agilizarse mediante el uso de gemelos digitales. «Actualmente estamos en el paso de las proteínas, los siguientes serán estructuras más complejas dando el salto a una IA que

*emule la anatomía y fisiología de nuestro cuerpo para ver cómo reacciona ante ese posible medicamento», añade César de la Fuente. La Inteligencia Artificial tiene el potencial de reducir las etapas de detección de moléculas y la creación de compuestos. Además Miguel Sotaquirá describe que «el tema de la diabetes, de las enfermedades cardiovasculares o el cáncer, son los tres ámbitos que las farmacéuticas y grupos de investigación están abordando más con la ayuda de IA». En ese sentido, la profesora Isabel Díaz Planelles afirma que «el auge de esta nueva tecnología ha hecho que el número de grupos de investigación y empresas centradas en su desarrollo haya aumentado convirtiéndose en una de las ramas con más proyección a nivel mundial». Destacando proyectos como el de la empresa escocesa *Exscientia*, en asociación con la compañía nipona *Sumitomo Dainippon*, que desarrollaron la primera molécula creada con IA que conseguía entrar en un ensayo clínico. Los responsables de *Exscientia* explican que el enfoque de su compañía «conduce a una reducción del 70 % en el tiempo de descubrimiento de fármacos y genera una mejora en la eficiencia del capital del 80 % en el descubrimiento de medicamentos. Sintetizamos y probamos un 90 % menos de compuestos que el estándar de la industria. Centrándonos en la oncología de precisión». Pero Miguel Sotaquirá destaca que «el riesgo a futuro de todo esto es que estos desarrollos o descubrimientos no sean de libre acceso, sino que estén controlados por las farmacéuticas que tienen mucho poder. De tal manera que un descubrimiento para enfermedades cardiovasculares o el cáncer caigan dentro de una patente y otros no puedan acceder a esa información». En esta dinámica de accesibilidad está la ONG *Drugs for Neglected Diseases Initiative* (DNDi) que en sinergia con diferentes tecnológicas busca tratamientos para enfermedades tropicales y que generan poco interés. El doctor Charles Mowbray, Director de Investigación de DNDi, aclara que «nuestro objetivo es desarrollar tratamientos asequibles y especialmente para los pacientes desatendidos por las empresas farmacéuticas comerciales. Trabajamos con países de bajos y medianos ingresos para desarrollar soluciones sostenibles para las necesidades de la salud global».*

También se está intentado mejorar los medicamentos ya existentes mediante el uso de la IA, reduciendo sus efectos secundarios y encontrándoles nuevos usos. La ventaja aquí es que estos productos ya se han probado en ensayos clínicos para otras aplicaciones, por lo que la reutilización de medicamentos conocidos puede hacerlos llegar a los pacientes mucho más rápido y a menor coste que con el desarrollo de nuevos medicamentos. En esa tónica el premio Nobel de medicina Sir James Black, dijo: «La base más fructífera para el descubrimiento de un nuevo fármaco es comenzar con un fármaco antiguo». Y al mismo tiempo que el uso de IA para desarrollar medicamentos avanza, también lo hace la medicina personalizada o de precisión, de tal modo que ya no solo obtendríamos nuevos medicamentos, sino fármacos hechos a la medida del paciente, ya que cada individuo es un mundo y los medicamentos actuales funcionan en unos pacientes y en otros no. Para Isabel Díaz Planelles es aquí donde el uso de la IA está jugando un papel fundamental, «maximizando las posibilidades de que el fármaco llegue al mercado». Más adelante, el desarrollo de esta tecnología y su acceso de forma generalizada puede también tener un impacto positivo para luchar contra las enfermedades raras que a casi nadie preocupan porque inciden en una pequeña parte de la población y los grupos de investigación no apuestan por ella. El *MIT Technology Review* señala que «actualmente, existen 19 medicamentos en ensayos clínicos (frente a cero en 2020) que han sido desarrollados por compañías farmacéuticas de IA y serán presentados más medicamentos». Y si ya la combinación de medicina y la IA parece prometedora, si añadiésemos la computación cuántica aumentarían exponencialmente sus opciones.

La búsqueda de la eterna juventud es intrínseca a la humanidad. Un grupo de científicos de la compañía californiana *Integrated Biosciences*, en alianza con investigadores de la Universidad de Harvard y del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en Estados Unidos, llevaron esta búsqueda un paso más allá. El nombre del estudio que publicaron, «Descubriendo senolíticos de molécula pequeña a través de redes neuronales profundas», puede sonar complejo. Es quizá por lo que su difusión aún no ha ido mucho más allá del ámbito académico desde que la investigación fue detallada en un artículo de la revista *Nature Aging*. Pero lo que lograron hacer los científicos, para simplificar la explicación, fue usar la inteligencia artificial (IA) para buscar posibles medicamentos

capaces de frenar el envejecimiento de nuestras células y, de esta manera, combatir también enfermedades como la fibrosis, los tumores, la inflamación y la artrosis. Todo indica que las medidas destinadas a ralentizar o revertir los efectos del envejecimiento en el cuerpo humano pueden obtener un nuevo impulso gracias a la inteligencia artificial. La medicina anti-envejecimiento reúne una amplia gama de prácticas, productos y tratamientos con el objetivo de que las personas puedan mantener una apariencia juvenil, mejorar la salud y prolongar la vida útil. Entre los múltiples campos que abarca esta medicina, la inteligencia artificial se ha sumado recientemente como una nueva arma para localizar otras formas de luchar contra el paso del tiempo. Ahora, un equipo de investigadores de *Integrated Biosciences*, una empresa de biotecnología que combina biología sintética y aprendizaje automático para combatir el envejecimiento, juntamente con científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Harvard, ha publicado un estudio en la revista *Nature Aging* acerca de cómo se puede utilizar la inteligencia artificial (IA) para identificar nuevos compuestos senolíticos. Los compuestos senolíticos, como la quercetina, el resveratrol, la nicotinamida o la metformina, son una clase de miniomoléculas que cuentan con el potencial de inhibir los procesos relacionados con el envejecimiento, como la fibrosis, que es la formación de un exceso de tejido conjuntivo fibroso en un órgano o tejido como respuesta a una lesión, inflamación o cáncer.

Los avances más recientes de la ciencia han arrojado luz sobre estos compuestos que atacan y eliminan selectivamente las células senescentes, que se encuentran en estado de detención irreversible del ciclo celular. Sin embargo, muchos de estos compuestos ya identificados presentan una escasa biodisponibilidad y además tienen efectos secundarios adversos. En su trabajo, los expertos exponen que el análisis dirigido por IA sobre más de 800.000 compuestos dio como resultado la identificación exitosa de tres fármacos potenciales con una eficacia y unas propiedades químicas medicinales superiores a las de los senolíticos que se están investigando en nuestros días. Los senolíticos son una clase emergente de compuestos farmacológicos que eliminan selectivamente las células senescentes asociadas al envejecimiento sin afectar a otras células. *“Los compuestos que descubrimos muestran una alta selectividad, así como las propiedades químicas medicinales favorables necesarias para producir un fármaco exitoso”*, aclara Satotaka Omori, jefe de Biología del Envejecimiento en *Integrated Biosciences*. *“Creemos que los compuestos descubiertos con nuestra plataforma tendrán mejores perspectivas en los ensayos clínicos y eventualmente ayudarán a restaurar la salud de las personas que envejecen”*. Para descubrir estos nuevos compuestos, los investigadores entrenaron redes neuronales profundas de IA con datos generados experimentalmente para predecir la actividad senolítica de cualquier molécula. Y finalmente llegaron los resultados. El entrenamiento de la IA permitió el descubrimiento de estos tres compuestos senolíticos altamente selectivos y potentes. Todos ellos mostraron propiedades químicas que sugerían una alta biodisponibilidad oral. De la misma forma presentaban perfiles de toxicidad favorables en las pruebas de hemólisis, la descomposición de los glóbulos rojos y la genotoxicidad, la capacidad de una sustancia para dañar directa o indirectamente al ADN y los cromosomas de las células. Para comprobar los compuestos, realizaron diversos experimentos con ratones de 80 semanas de edad, que equivaldrían aproximadamente a seres humanos de 80 años. Descubrieron que los tres compuestos eliminaban las células senescentes y reducían la expresión de los genes asociados con la senescencia en los riñones. Según Felix Wong, cofundador de *Integrated Biosciences* y líder del estudio: *“El resultado de esta investigación es un hito importante tanto para la investigación sobre la longevidad como para la aplicación de la inteligencia artificial al descubrimiento de fármacos. Estos datos demuestran que podemos explorar el espacio químico en ordenador y emerger con múltiples compuestos anti-envejecimiento candidatos que tienen más probabilidades de tener éxito en la clínica, en comparación con incluso los ejemplos más prometedores de su tipo que se estudian hoy”*. Los investigadores están convencidos de que este nuevo enfoque impulsará un progreso sustancial en la investigación de la longevidad.

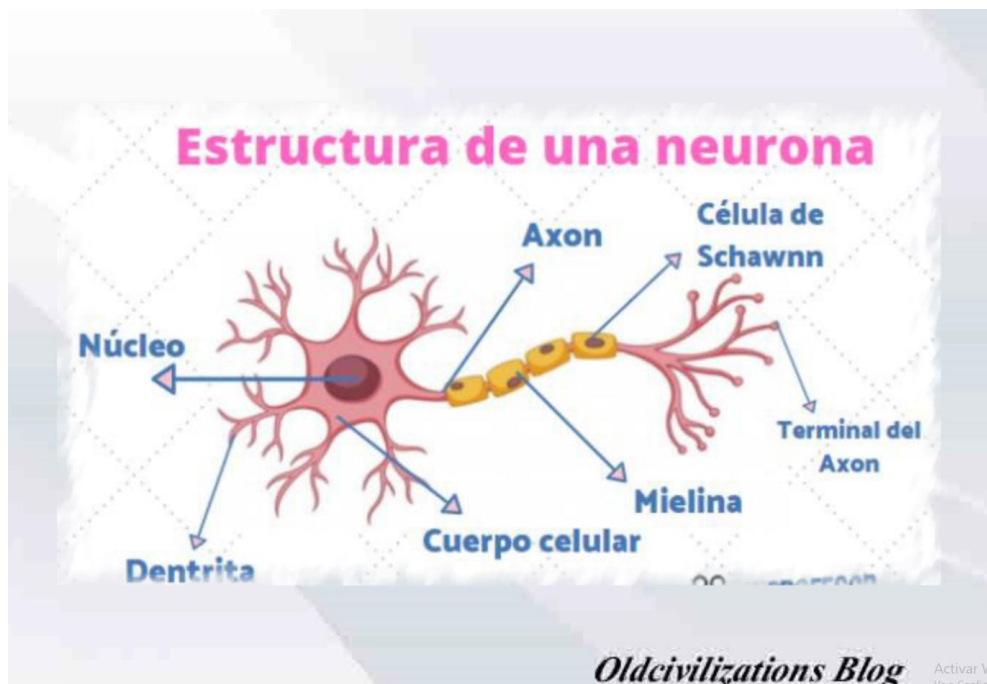
Los científicos han desarrollado un modelo de inteligencia artificial y lo han entrenado para reconocer las características fundamentales de las sustancias químicas con actividad senolítica, es decir, aquellas capaces de eliminar las células envejecidas. El

proceso de entrenamiento de estos algoritmos de IA se hizo utilizando una inmensa cantidad de datos provenientes de más de 2.500 estructuras químicas previamente descubiertas en estudios anteriores, con lo que el equipo científico logró afinar el modelo de IA hasta alcanzar una capacidad extraordinaria para identificar las sustancias más prometedoras. Luego analizaron más de 4.000 sustancias diferentes con el objetivo de identificar posibles fármacos candidatos para llevar a cabo pruebas experimentales. Esta exhaustiva tarea de cribado permitió seleccionar 21 sustancias que mostraban un potencial prometedor en la lucha contra el envejecimiento celular. Lo más asombroso es que las pruebas de laboratorio con células humanas confirmaron el poder de tres sustancias químicas en particular. Estas sustancias, llamadas ginkgetina, periplocina y oleandrina, demostraron la capacidad de eliminar las células senescentes sin causar ningún daño al tejido sano. Además, los científicos revelaron que estas tres sustancias son productos naturales que se encuentran en plantas medicinales tradicionales. Pero eso no es todo, ya que el equipo de investigación también hizo un descubrimiento sorprendente. La oleandrina, una de las sustancias identificadas, resultó ser mucho más efectiva que el fármaco senolítico hasta entonces más conocido de su clase. Este hallazgo promete abrir un nuevo camino hacia tratamientos más eficaces y menos invasivos para una amplia gama de dolencias relacionadas con el envejecimiento, como el cáncer, la enfermedad de Alzheimer y los problemas de visión y movilidad. Estamos frente a un auténtico hito científico con implicaciones que podrían cambiar el curso de la medicina tal como la conocemos. Además, los investigadores destacaron que su método de investigación es mucho más económico que los métodos tradicionales de cribado. Esta noticia no solo ofrece esperanza para el futuro sino que también nos muestra la enorme influencia que la inteligencia artificial puede tener en el desarrollo de tratamientos médicos innovadores. El uso de datos previos permitió al modelo de inteligencia artificial aprender de la experiencia acumulada en investigaciones anteriores y ampliar su conocimiento sobre las propiedades químicas asociadas a la actividad senolítica. Esta combinación de tecnología avanzada y conocimiento científico acumulado sentó las bases para los descubrimientos revolucionarios que se lograron en la búsqueda de una cura para el envejecimiento.

Después de la etapa de evaluación y selección de fármacos candidatos, los investigadores llevaron a cabo pruebas de laboratorio utilizando células humanas para determinar la eficacia de las sustancias químicas identificadas: ginkgetina, periplocina y oleandrina. Estas pruebas permitieron observar el efecto de cada sustancia sobre las células senescentes, aquellas que se encuentran en un estado de envejecimiento y que contribuyen a la degeneración y deterioro del tejido. Los resultados fueron extraordinarios, ya que las tres sustancias demostraron la capacidad de eliminar selectivamente estas células senescentes, sin afectar el tejido sano circundante. Esta es una característica crucial, ya que asegura que los posibles tratamientos futuros no solo sean efectivos contra el envejecimiento celular, sino también seguros para su aplicación en el organismo. El hecho de que estas sustancias sean capaces de dirigirse y eliminar de manera específica las células senescentes ofrece una perspectiva interesante para el desarrollo de terapias más selectivas y menos invasivas. Esto supondría un avance significativo en comparación con otros fármacos senolíticos que pueden dañar células sanas en el proceso de eliminación de las células senescentes. Uno de los principales hallazgos de este estudio, en primer lugar, radica en el potencial de las sustancias químicas ginkgetina, periplocina y oleandrina en el tratamiento del cáncer. Además, la capacidad de estas sustancias para eliminar selectivamente las células senescentes abre nuevas posibilidades prometedoras en la lucha contra esta enfermedad devastadora. En efecto, las células senescentes se acumulan en los tejidos con el tiempo y contribuyen al desarrollo y progresión de diversos tipos de cáncer. Por lo tanto, al eliminar estas células dañadas se puede interrumpir el proceso de proliferación tumoral y limitar la propagación de la enfermedad. En consecuencia, las sustancias identificadas en este estudio podrían convertirse en herramientas prometedoras en la terapia contra el cáncer, ofreciendo así enfoques más precisos y efectivos. Otra aplicación potencialmente interesante de las sustancias descubiertas es su utilidad en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer. Esta enfermedad neurodegenerativa se caracteriza por la acumulación de placas de proteína beta-amiloide en el cerebro, lo que provoca la pérdida progresiva de funciones

cognitivas. Por tanto, esto abre nuevas perspectivas esperanzadoras en la búsqueda de terapias más efectivas para los pacientes que luchan contra esta enfermedad.

Además de su potencial en el tratamiento del cáncer y el Alzheimer, las sustancias identificadas en este estudio podrían tener beneficios significativos para mejorar la visión y la movilidad en personas mayores. A medida que envejecemos, los tejidos oculares y musculares pueden experimentar un deterioro que afecta nuestra capacidad de ver claramente y de movernos con agilidad. Al eliminar las células senescentes, se podría promover la regeneración y rejuvenecimiento de los tejidos afectados, lo que podría conducir a mejoras en la visión y la movilidad. Esto no solo tendría un impacto positivo en la calidad de vida de las personas mayores, sino que también abriría nuevas posibilidades en el campo de la medicina regenerativa y en el enfoque terapéutico del envejecimiento. Estos descubrimientos abren puertas hacia nuevas terapias más efectivas y esperanzadoras en la lucha contra el envejecimiento y las enfermedades asociadas. Una de las ventajas significativas de este estudio es el método de cribado virtual utilizado, el cual se ha demostrado ser cientos de veces más económico que los métodos convencionales. En lugar de realizar caros y laboriosos experimentos en el laboratorio, los investigadores emplearon algoritmos de inteligencia artificial para analizar una amplia cantidad de sustancias químicas cuya estructura se había digitalizado y, de esta manera, seleccionar aquellas con potencial senolítico. Esta eficiencia en el cribado virtual no solo reduce los costes asociados con la investigación y el desarrollo de nuevos fármacos, sino que también acelera el proceso de descubrimiento al identificar rápidamente las sustancias más prometedoras. Estas ventajas económicas son fundamentales para facilitar la traducción de los hallazgos científicos en tratamientos accesibles y asequibles para la población. El descubrimiento de sustancias químicas que pueden eliminar selectivamente las células senescentes abre un nuevo horizonte en el tratamiento de enfermedades relacionadas con el envejecimiento.



La inteligencia artificial (IA) revolucionará la lucha contra la deterioro cognitivo derivado del envejecimiento o de los efectos de enfermedades neurodegenerativas, cuyo estudio supone una oportunidad para la investigación y la tecnología, así como la búsqueda de dispositivos que mejoren la calidad de vida de los pacientes y garanticen su autonomía e independencia durante más tiempo. José María Trejo, jefe de Servicio de Neurología del Hospital Universitario de Burgos (HUBU) ha dicho que: «Los médicos ven las necesidades, los tecnólogos ofrecen una solución y los enfermos confirman si esa solución les es útil o en realidad no les sirve para nada». José María Trejo también ha afirmado que, cuando llegue, «será una revolución y la inteligencia artificial va a tener un

papel muy importante para suplir la inteligencia biológica que se va deteriorando», sea por una enfermedad neurodegenerativa o sea por efecto de la edad. «*Estas enfermedades van a ser cada vez más frecuentes en la sociedad*», ha indicado, a lo que hay que sumar una población envejecida, que vive más años. Y las necesidades de los mayores no son tan diferentes, así que las tecnologías que se desarrollen para atender a las personas con enfermedades neurodegenerativas serán aplicables a los mayores. El objetivo, ha recordado José María Trejo, es que las personas puedan ser válidas durante el mayor tiempo posible, «*por el bien de ellas mismas y de la propia sociedad, y para eso se necesita la tecnología*». De este modo, las enfermedades neurodegenerativas se convierten en una oportunidad, pues la investigación en materia tecnológica tiene una amplia aplicación, no solo para pacientes específicos, sino que también promueve un crecimiento económico.

En comunicación y movilidad de las personas ya se han desarrollado dispositivos que permiten al usuario, mediante un piercing en la lengua y una tableta en el paladar, moverse con una silla de ruedas, llamar por teléfono o enviar un correo electrónico. Luego están los exoesqueletos, las grandes prótesis que permiten caminar a una persona que no tiene movimiento en sus músculos, o las prótesis robóticas, para los pacientes con un miembro amputado, así como los programas que permiten comunicarse a través de un ordenador con lenguaje predictivo. También se utiliza la inteligencia artificial para validar un nuevo biomarcador del envejecimiento del cerebro. Un equipo liderado por el *Barcelona beta Brain Research Center* (BBRC), centro de investigación de la Fundación Pasqual Maragall, ha desarrollado un nuevo biomarcador de envejecimiento cerebral basado en más de 22.600 imágenes por resonancia magnética. Este nuevo biomarcador ha permitido demostrar, por primera vez, que la presencia de alteraciones patológicas de la enfermedad de Alzheimer está asociada a un envejecimiento cerebral acelerado, incluso en personas cognitivamente sanas. Los resultados del estudio, que cuenta con el impulso de la *Fundación "la Caixa"*, ayudan a entender mejor la relación entre el proceso de envejecimiento cerebral y las enfermedades neurodegenerativas, una prioridad urgente para desarrollar estrategias eficaces ante el envejecimiento creciente de la población. Los biomarcadores son medidas objetivas que aportan información sobre una enfermedad o proceso biológico. En el caso del envejecimiento del cerebro, ciertas características morfológicas, como pueden ser un grosor o volumen alterados en regiones concretas del cerebro, pueden indicar un envejecimiento acelerado. Los investigadores han utilizado un modelo de aprendizaje automático de IA para analizar estos parámetros a partir de imágenes por resonancia magnética. Este estudio es el primero en demostrar la asociación entre la edad biológica cerebral y la presencia de biomarcadores y factores de riesgo de Alzheimer, tales como la presencia de las proteínas beta amiloide y tau o del genotipo APOE- ϵ 4, en un total de 2.314 personas cognitivamente sanas o con deterioro cognitivo leve. El estudio también muestra la relación entre el envejecimiento cerebral y marcadores de neurodegeneración y patología cerebrovascular. Los hallazgos, publicados en la revista científica *Elife*, posicionan este nuevo indicador como una herramienta potencialmente útil en el diagnóstico de diversas enfermedades cerebrales.

Vemos pues que la Inteligencia artificial se ha convertido en una metodología pionera para estudiar el Alzheimer. La diferencia entre la edad cronológica, que es el tiempo transcurrido desde el nacimiento, y la edad cerebral biológica, que se calcula a partir de técnicas de neuroimagen, proporciona una estimación sobre si el cerebro ha envejecido más rápidamente de lo esperado. Es lo que se conoce como *el delta de la edad cerebral* y constituye un indicador del envejecimiento cerebral biológico. Aquellas personas que tienen una edad cerebral estimada más alta que su edad cronológica podrían tener un cerebro "más viejo" de lo esperado, mientras que un individuo con una edad cerebral que se estima inferior a su edad cronológica tendría un cerebro "más joven". «*Aunque la edad es el principal factor de riesgo para la enfermedad de Alzheimer y la mayoría de las enfermedades neurodegenerativas, los mecanismos biológicos que explican esta asociación aún son poco conocidos*», explica Irene Cumplido, investigadora en el *Grupo de Investigación en Neuroimagen* del BBRC y primera autora del trabajo, que añade: «*Para el estudio de la edad, es necesario disponer de marcadores objetivos de envejecimiento biológico cerebral más allá de la edad cronológica, del mismo modo que se dispone de biomarcadores para el Alzheimer*». En este trabajo, el equipo investigador

ha entrenado un modelo predictivo para calcular la edad cerebral de mujeres y hombres sanos, utilizando más de 22.000 medidas obtenidas de imágenes por resonancia magnética. Estas imágenes se han obtenido del *UK Biobank*, una base de datos biomédica a gran escala que contiene información genética y de salud de medio millón de participantes del Reino Unido. Es la primera vez que el BBRC aplica técnicas de aprendizaje automático al estudio del envejecimiento cerebral, una metodología que ha ganado una reciente popularidad gracias a su capacidad para identificar patrones relevantes a partir de datos complejos. *“Estos modelos aprenden la asociación entre la edad cronológica y las características morfológicas cerebrales extraídas de las imágenes por resonancia magnética, lo que predice una edad cerebral para cada individuo”*, explica la Dra. Verónica Vilaplana, profesora agregada del *Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones* de la Universidad Politécnica de Catalunya y también autora del estudio.

“Una cantidad creciente de investigación en los últimos años se centra en el uso de técnicas de neuroimagen para desarrollar un marcador del envejecimiento cerebral biológico”, afirma el Dr. Juan Domingo Gispert, responsable del *Grupo de Investigación en Neuroimagen* del BBRC, que añade que: *“A diferencia de estudios previos, el nuevo biomarcador que hemos desarrollado está validado contra varios marcadores biológicos y factores de riesgo asociados al envejecimiento, de modo que nuestro estudio demuestra la validez del nuestro método como un biomarcador de envejecimiento biológico cerebral con relevancia para diversas enfermedades neurodegenerativas”*. Según Irene Cumplido; *“Sabemos que en trastornos neurodegenerativos como la enfermedad de Alzheimer se ha encontrado un envejecimiento acelerado del cerebro, pero era necesario comparar estos datos con marcadores biológicos específicos de la enfermedad”*. Para ello, los investigadores han estudiado las asociaciones del envejecimiento cerebral acelerado con diversos biomarcadores y factores de riesgo del Alzheimer en individuos sanos, como la presencia de las proteínas beta amiloide y tau, el genotipo APOE- ϵ 4, principal factor de riesgo genético de la enfermedad de Alzheimer, y otros marcadores de la neurodegeneración y la enfermedad cerebrovascular. Se introdujo, además, un análisis estratificado por sexos, con el fin de estudiar las diferencias entre hombres y mujeres con respecto a la edad cerebral. La estimación del envejecimiento cerebral acelerado se asoció con depósitos anormales de beta amiloide, etapas más avanzadas de patología de Alzheimer y la presencia del genotipo APOE- ϵ 4; resultados particularmente útiles para potenciales intervenciones de prevención. Parece claro que la inteligencia artificial (IA) revolucionará la lucha contra la deterioro cognitivo derivado del envejecimiento o de los efectos de enfermedades neurodegenerativas, cuyo estudio supone una oportunidad en investigación y tecnología, en busca de dispositivos que mejoren la calidad de vida de los pacientes y garanticen su autonomía e independencia durante más tiempo. José María Trejo ha recordado que ayuda a suplir necesidades que no cubre la medicina en materia de movilidad, comunicación o pérdida de capacidades cognitivas. En cuestiones de comunicación o movilidad se dispone de recursos y dispositivos que mejoran la calidad de vida de las personas con enfermedades neurodegenerativas, pero en cuanto a las funciones cognitivas y la memoria la tecnología está menos avanzada. José María Trejo ha afirmado que *“la inteligencia artificial va a tener un papel muy importante para suplir la inteligencia biológica que se va deteriorando”*, sea por una enfermedad neurodegenerativa, sea por efecto de la edad. José María Trejo considere que si bien todo el desarrollo de la neurotecnología requiere de recursos económicos los beneficios llegarán a muchos colectivos distintos. De hecho, pacientes con enfermedades neurodegenerativas se prestan a colaborar en los estudios de investigación, como uno recientemente realizado con enfermos de párkinson, que han estado utilizando unos guantes que disminuían el temblor y que, completado el estudio, han seguido con ellos porque han mejorado su día a día.

Los seres humanos tenemos solo una capacidad débil para procesar la lógica, pero una capacidad central muy profunda para reconocer patrones. Para el pensamiento lógico necesitamos usar la neocorteza, que es básicamente un gran reconocedor de patrones, que se ha utilizado como ejemplo para los algoritmos de IA. No es un mecanismo ideal para realizar transformaciones lógicas, pero es la única facilidad que tenemos para el trabajo. Pero, ¿cuántos patrones pueden almacenarse en la neocorteza? Tenemos que tener en cuenta el fenómeno de la redundancia. El rostro de un ser querido, por ejemplo,

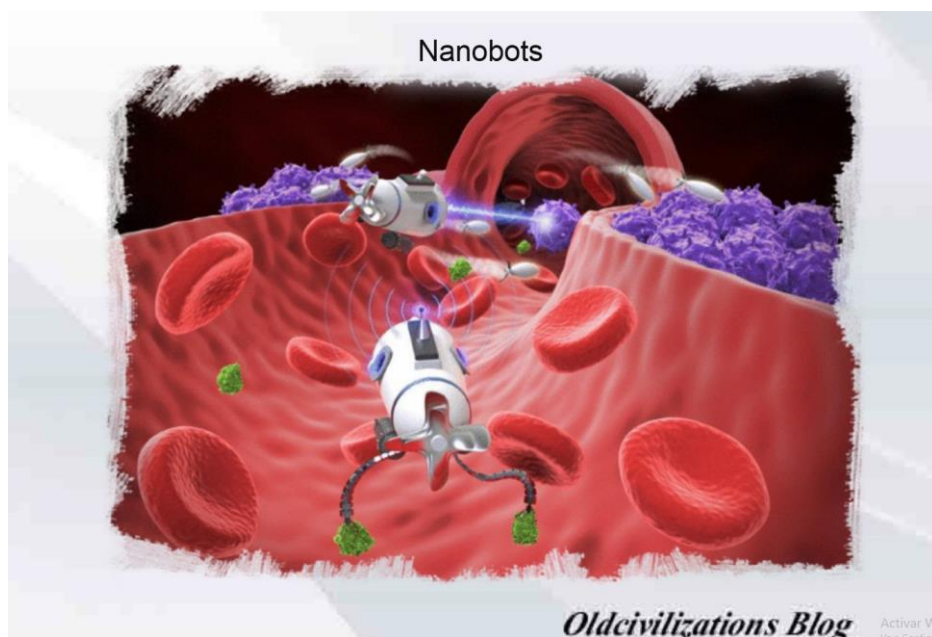
no se almacena una vez, sino del orden de miles de veces. Algunas de estas repeticiones son en gran parte la misma representación del rostro, mientras que la mayoría muestra diferentes perspectivas del mismo, diferente iluminación, diferentes expresiones, etc. Ninguno de estos patrones repetidos se almacena como imágenes per se, es decir, como matrices bidimensionales de píxeles. Más bien, se almacenan como listas de características donde los elementos constitutivos de un patrón son en sí mismos patrones. La estimación de la capacidad total de la neocorteza humana es del orden de cientos de millones de patrones. Esta cuenta aproximada se correlaciona bien con el número de reconocedores de patrones que se estima en alrededor de 300 millones, por lo que es una conclusión razonable que la función de cada reconocedor de patrones neocorticales es procesar una iteración, es decir, una copia entre las múltiples copias redundantes de la mayoría de los patrones en la neocorteza. Trescientos millones de procesadores de patrones pueden parecer una gran cantidad y, de hecho, fue suficiente para permitir que el *Homo sapiens* desarrollara el lenguaje verbal y escrito, todas nuestras herramientas y otras creaciones diversas.

La teoría de reconocimiento de patrones de la mente se basa en el reconocimiento de patrones mediante módulos de reconocimiento de patrones en la neocorteza. Estos patrones (y los módulos) están organizados en jerarquías. Cada patrón, que es reconocido por uno de los 300 millones de reconocedores de patrones estimados en la neocorteza, se compone de tres partes. La primera parte es la entrada, que consiste en los patrones de nivel inferior que componen el patrón principal. La segunda parte de cada patrón es el nombre del patrón. En el mundo del lenguaje, este patrón de nivel superior es simplemente, por ejemplo, la palabra «*manzana*». Aunque usamos directamente nuestra neocorteza para comprender y procesar todos los niveles del lenguaje, la mayoría de los patrones que contiene no son patrones de lenguaje per se. En la neocorteza, el «*nombre*» de un patrón es simplemente el axón que emerge de cada procesador de patrones. Cuando ese axón se dispara, se ha reconocido su patrón correspondiente. El disparo del axón es ese reconocedor de patrones que hace referencia al nombre del patrón: «*acabo de ver la palabra escrita 'manzana'*». La tercera y última parte de cada patrón es el conjunto de patrones de nivel superior del que a su vez forma parte. Para la letra «A» se incluyen todas las palabras que contienen «A». Estos son, de nuevo, como enlaces web. Cada patrón reconocido en un nivel activa el siguiente nivel, en que la parte de ese patrón de nivel superior está presente. En la neocorteza estos enlaces están representados por dendritas físicas que fluyen hacia las neuronas en cada reconocedor de patrones corticales. Tenga en cuenta que cada neurona puede recibir entradas de varias dendritas y, sin embargo, producir una sola salida en un axón. Ese axón, sin embargo, puede a su vez transmitir a múltiples dendritas.

Los nanobots, tal como ya hemos dicho, son diminutos robots con inmensas posibilidades. Por ejemplo, múltiples nanobots inteligentes podrán beneficiar a miles de pacientes con enfermedades hoy incurables. Imagínense una multitud de diminutos robots que recorrerán nuestro cuerpo equipados con herramientas bioquímicas para arreglar lo que sea que esté mal, según sugieren los doctores Fernando Castilleja y Juana Ramírez. La utilización de lo ultradiminuto es el campo de estudio de la nanotecnología. Aunque es aplicada en muchas disciplinas de la ciencia, en el área de la salud presenta unas posibilidades relevantes y su proyección hacia el futuro es muy prometedora. Su tamaño oscilará por definición entre 1 y 100 nanómetros (la milmillonésima parte de un metro). Para poner en contexto de qué hablamos, un cabello humano tiene 60.000 nanómetros de diámetro y un átomo de silicio 0,25 nanómetros. La aplicación de la nanotecnología con propósitos médicos ha sido llamada nanomedicina y actualmente se entiende como el uso de nanomateriales o nanoestructuras para el diagnóstico, monitoreo, control, prevención y tratamiento de las enfermedades. Dicha tecnología puede ser utilizada en diferentes áreas de la salud. Una sería para el diagnóstico por medio de superficies nanoestructuradas o sondas nanoanalíticas para detección de sustancias o moléculas en concentraciones mucho menores a las detectables con las tecnologías actuales. Otra sería la entrega de fármacos controlada con microestructuras que posean propiedades ópticas, químicas, magnéticas, eléctricas o biológicas que permitan conocer su comportamiento dentro de sistemas biológicos. Una tercera sería el combate contra la resistencia bacteriana a los antibióticos y otras más. Cada vez se habla más de conceptos

como nanonavajas, nanotubos o nanocápsulas en las conversaciones científicas y de divulgación.

A diferencia de otras moléculas encontradas espontáneamente en la naturaleza, las nanomoléculas, que son producto del diseño humano, tendrán características que las hacen específicas para ciertas reacciones biofísicas. Podrán tener una cierta reconfiguración estructural al exponerse al nivel de acidez del cuerpo humano que permita que dicha nanopartícula se aloje o dirija a sitios específicos que otras sustancias más grandes no lograrían, por ejemplo, el área dañada del corazón después de un infarto. Una particularidad de dichas moléculas es que son producidas con el propósito de tener vidas medias predecibles y ser eliminadas por mecanismos donde la intervención de los órganos humanos no es necesaria. Un ejemplo muy reciente de la utilidad de la nanomedicina tiene que ver con las vacunas anti SARS-CoV2 de Moderna y Pfizer BioNTech. Estas vacunas basadas en tecnología de ARN mensajero (ARNm) fueron diseñadas utilizando cápsulas de nanopartículas de lípidos que protegían al frágil ARNm de la biodegradación al ingresar al cuerpo y así poder llegar hasta las células del sistema inmunológico, que es el sitio donde la vacuna tiene su acción de inducir la producción de anticuerpos para proteger a los seres humanos del COVID-19. En el tratamiento de las neoplasias malignas, estos “*nanovehículos*” adyacentes a tratamientos quimioterapéuticos podrán disminuir los efectos colaterales de las terapias anticáncer y potencialmente mejorar el pronóstico y tolerancia de los tratamientos al dirigirse directamente al sitio donde la célula tumoral está realizando su crecimiento descontrolado. Estudios en fases preclínicas ya se realizan en centros médicos de todo el mundo. El glioblastoma, un tipo de cáncer cerebral muy agresivo, y el cáncer de mama podrán ver avances en los tratamientos con estas tecnologías en los próximos años.



En el futuro la aplicación de estas nanotecnologías en moléculas que responden a “órdenes” podría constituir el inicio del uso de “*nanobots*” con indicaciones terapéuticas vinculadas con sistemas computacionales e inteligencia artificial que permitieran la intervención y tratamiento de enfermedades. Ejemplo de esto son los *microrollers* para sistemas inteligentes desarrollados por el Instituto Max Planck en Stuttgart, Alemania. Estas nanopartículas tienen por un lado microagregados con características magnéticas y por el otro tienen anticuerpos para el combate del cáncer. De esta manera, a través de campos magnéticos, se pueden enviar dichas nanoterapias a los sitios específicos donde deba actuar el fármaco eliminando el efecto en tejidos sanos. Ejércitos de nanobots inteligentes podrán beneficiar a miles de pacientes con enfermedades graves hoy incurables. Pero serán necesarios muchos más estudios científicos y validaciones tecnológicas para poder tener disponibles estas moléculas de manera comercial. Lo que

sí es cierto es que serán parte fundamental del futuro de la salud. Para entender eso de la nanomedicina hay que imaginarse múltiples diminutos robots que recorrerán nuestro cuerpo equipados con herramientas bioquímicas para arreglar lo que sea que esté mal, tales como destruir un tumor, reparar un tejido, reconstruir un hueso o reconectar nuestras neuronas, así como las nanotijeras que eliminan, sustituyen o desactivan los genes “malos”, algo de lo que trataremos en el siguiente artículo. Hablando de salud, es evidente que esta tecnología biomédica permitirá una mayor especificidad en los tratamientos clínicos que harán realidad el sueño de los médicos, como poderse meter dentro del cuerpo del paciente para explorar y entender lo que está pasando en una zona específica, diagnosticar con precisión y tratar a sus pacientes con altas posibilidades de cura. Pero todo ello implica un buen uso de estos nanobots.

Pero con la neurotecnología también se desarrollan dispositivos con los que se puede registrar, medir, interpretar o alterar la actividad del cerebro y el sistema nervioso. Una de las tecnologías que está experimentando un gran desarrollo y avance en los últimos años es la neurotecnología, que tiene el potencial de generar un impacto sin precedentes en la sociedad, y cuyas implicaciones y consecuencias plantean grandes desafíos y oportunidades que requieren de una reflexión ética, social y legal. Estos dispositivos, conocidos como interfaces cerebro-computador emplean sistemas electrónicos, ópticos, magnéticos, acústicos o mecánicos, y son capaces de registrar y modificar la actividad y respuesta de los sistemas nerviosos de las personas a sus entornos internos, tales como la edad, sexo, estado psicoafectivo, patologías, etc..., o externos, como lo son los ambientales, las actividades, los estímulos, etc. Sus aplicaciones van más allá del uso médico, existiendo ya en el mercado dispositivos de consumo para que utilicen la neurotecnología en aspectos diversos como bienestar, concentración, entretenimiento, realidad virtual, investigación, neuromarketing o para fines militares. Con el uso de la inteligencia artificial se está avanzando enormemente en la descodificación de la actividad cerebral, tal como ya se ha hecho con el código genético, lo que puede inferir y revelar información asociada a la parte más íntima de la persona. Los datos neurológicos (neurodatos) que estas tecnologías permiten recolectar, asociados a personas identificadas o identificables, son datos personales según el Reglamento General de Protección de Datos. Informes científicos muestran que muchas características del cerebro humano dependen de factores biológicos y ambientales que podrían actuar como mecanismos de identificación y autenticación biométrica. Los neurodatos tienen unas características y cualidades especiales que comparten con los datos genéticos, por lo que el cerebro será un identificador tan único como una huella dactilar o un genoma. Los neurodatos y la información genómica ofrecen la posibilidad de predecir o inferir otra información, y pueden desvelar indicios sobre el pasado de una persona e intentar predecir su futuro. También ambos exponen aspectos únicos y personales, que no necesariamente son observables o conocidos por el propio individuo.

La información cerebral, como el genoma, es predictiva en el comportamiento de las personas y está sujeta a interpretaciones subjetivas, lo que deja espacio para el error y la inexactitud, poniendo una mayor implicación en la privacidad y en los riesgos asociados. Pero, además, las interfaces cerebro-computador permiten potencialmente la comunicación bidireccional, exportando datos del cerebro o alterando la actividad cerebral, logrando así modificar el comportamiento de la persona. Con el uso de la inteligencia artificial se está avanzando enormemente en la descodificación de la actividad cerebral, lo que puede inferir y revelar información asociada a la parte más íntima de la persona, como pensamientos, sentimientos, estados de salud (aún sin ser dispositivos de uso médico), información desconocida para la propia persona o que está fuera de su control, y todo ello puede usarse con diversos fines, algunos negativos. De esta manera, los neurodatos pueden afectar no solo a la privacidad, sino a otros derechos fundamentales, pudiéndose considerar categorías especiales de datos. De este modo, los tratamientos en los que se emplean neurodatos son de alto riesgo y están protegidos y regulados por la normativa de protección de datos personales. En los escaneos del cerebro realizados por las interfaces cerebro-computador puede capturarse una cantidad desmesurada de datos, que son procesados por sistemas de inteligencia artificial, tecnología que ya empieza a transformar nuestro presente. Los avances venideros podrán permitir una decodificación más precisa de los neurodatos, posibilitando su uso

para otros fines distintos al original objetivo médico para el que han sido capturados. Un tratamiento que tome decisiones automatizadas usando la inteligencia artificial puede afectar gravemente a las personas, puede evaluar o hacer predicciones sobre ellas de manera individualizada, o bien puede influir en la ejecución de acciones, y, por tanto, exige que se implementen garantías de calidad y seguridad.

La propuesta del *Reglamento de Inteligencia Artificial* (AIA) de la Unión Europea establece que los proveedores de sistemas de IA deben informar a los usuarios sobre las características y el funcionamiento de estos sistemas, incluyendo todos los algoritmos de aprendizaje empleados, especialmente cuando implican el tratamiento de datos personales. Además, los responsables del tratamiento de datos personales deben cumplir con las obligaciones de transparencia, como informar a las personas sobre la toma de decisiones automatizadas o elaboración de perfiles, así como garantizar sus derechos. La neurotecnología y la inteligencia artificial suponen retos prometedores, pero que inquietan, por lo que motivan a promover activamente el desarrollo responsable y respetuoso de estas tecnologías, garantizando siempre el cumplimiento de la normativa de protección de datos y los derechos fundamentales de las personas. La fundación *Neurorights Foundation*, de la Universidad de Columbia, Nueva York, apoya cinco neuroderechos identificados como críticos, tales como la identidad personal, que protege la consciencia de la persona frente a los datos tecnológicos externos, debiéndose desarrollar límites para prohibir que la tecnología altere el sentido de uno mismo. Otro es el libre albedrío, que preserva la capacidad de las personas para tomar decisiones de forma libre y autónoma, sin manipulación por parte de las neurotecnologías. Un tercer derecho es la privacidad mental, que protege a las personas del uso de los datos obtenidos durante la medición de su actividad cerebral y requiere una regulación estricta para cualquier transacción comercial con esos datos. Un cuarto derecho es el acceso equitativo, que busca la regulación en la aplicación de las neurotecnologías para aumentar las capacidades cerebrales, de manera que no queden solo al alcance de unos pocos y generen desigualdades en la sociedad. Y por último la protección contra los sesgos, para evitar que las personas sean discriminadas por cualquier factor, como pudiera ser un mero pensamiento que se pueda obtener mediante el uso de las neurotecnologías.

La combinación de neurobiología e inteligencia artificial tiene el potencial de transformar la realidad que conocemos en todas sus formas y lo primero que va a cambiar la alianza de estas dos tecnologías es el concepto mismo de individuo. Si la neurotecnología tendrá la capacidad de modificar pensamientos a corto plazo como sostiene Rafael Yuste, neurobiólogo e investigador principal del *proyecto BRAIN (Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies)*, ¿dónde acaba nuestra responsabilidad como individuo? Aunque esta posibilidad pueda parecer apocalíptica, la realidad es que científicos de diferentes especialidades que ya trabajan con estas tecnologías para “*desencriptar*” las bases de la actividad cerebral, reclaman con urgencia la definición de un marco ético para anticiparnos a ese escenario en el que la mente deje de ser un lugar íntimo y blindado. El proyecto BRAIN, creado en el 2013, tiene como objetivo estudiar los mecanismos de la actividad cerebral de diferentes mamíferos, con el ser humano como objetivo último. Después del trabajo de laboratorio, harán falta unos años más para que estos descubrimientos se traduzcan en una aplicación clínica directa que modifique los límites de nuestra salud y nuestras condiciones de vida. Pero, ante un reto ético de tales magnitudes, ¿quién tiene que definir esos nuevos límites? Algunas de las cuestiones que requieren regulación más urgente son la privacidad y el riesgo potencial de crear nuevas desigualdades sociales, ya que el estudio del cerebro permitirá, además de la curación de enfermedades neurológicas, potenciar determinadas capacidades creando individuos mejorados. El proyecto BRAIN trabaja desde 2013 en el ambicioso objetivo de conseguir un mapa detallado de la actividad cerebral. Cada pensamiento se traduce en un circuito determinado de actividad cerebral, según ha explicado Rafael Yuste, el principal impulsor de este esfuerzo de investigación interdisciplinar de la administración estadounidense, al portal de divulgación científica *OpenMind*. Si desciframos esos circuitos cerebrales, seremos capaces de modificarlas para atacar el origen de muchas enfermedades mentales y neurológicas que se supone generan una actividad cerebral atípica. De este modo, se pondría fin a décadas de tratamientos médicos que solo consiguen paliar los

efectos de problemas que siguen teniendo su origen en la actividad cerebral y que todavía desconocemos. Este gran paso, la capacidad del hombre para entender cómo funciona el cerebro y poder “ajustarlo” si fuera necesario, permitiría a la humanidad, según Rafael Yuste, culminar con la definición final del yo, del individuo. Descifrar el cerebro nos permitirá, además de traspasar nuestros propios límites, conocernos como especie.

La pregunta que se nos ocurre es: ¿se está gestando un nuevo ser humano?: La fusión de la neurotecnología y la inteligencia artificial están dando acceso a leer y cambiar la actividad cerebral, lo que pone a la humanidad en una encrucijada, ya que estamos en los albores de lo que puede ser un nuevo tipo de ser humano, algo con enormes implicaciones éticas y que conlleva a una redefinición de los derechos humanos que contemple el concepto de privacidad mental en un futuro no muy lejano. *«Estamos en los albores de lo que puede ser un nuevo tipo de ser humano»*, afirma Rafael Yuste, profesor de Ciencias Biológicas y Neurociencia de la Universidad de Columbia, en Estados Unidos, y responsable del proyecto BRAIN. Este experto ha explicado cómo gracias al desarrollo de la neurotecnología ya existen métodos y dispositivos que pueden no solo leer la actividad cerebral, sino también cambiarla, algo que ya se ha podido comprobar en experimentos de laboratorio con animales, por lo que también se podrá actuar en este sentido con los seres humanos. *«Pueden ser chips electrónicos, electrodos, métodos magnéticos u ópticos, métodos moleculares o químicos... todo ello enlazado con algoritmos de inteligencia artificial que permiten descifrar los pensamientos y las conexiones neuronales y actuar sobre el cerebro. El cerebro es el órgano que genera la actividad humana, con sus cien mil millones de neuronas de las que procede toda la actividad de la mente humana. Esta tecnología nos abrirá la posibilidad de meternos en el cerebro y cambiarlo; entonces habrá que plantearse también quiénes somos como seres humanos. Más allá de qué aplicaciones que tiene la neurotecnología en el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades, habrá que plantearse cómo conectarse con el resto de seres humanos y para qué»*. Rafael Yuste ha relatado cómo por estas razones el entonces presidente Obama lanzó en 2013 el proyecto BRAIN cuyo objetivo es crear estas neurotecnologías, apoyado desde entonces por el Congreso de Estados Unidos y al que se han unido otros países como China, Japón o Corea de Sur, además de un proyecto parecido en la Unión Europea. *«Estamos en mitad de una revolución de neurotecnología que nos va a cambiar la vida y la esencia del ser humano. Todo ello tiene unas implicaciones éticas y sociales fortísimas, ya que vamos a tocar la fibra de lo que es un ser humano, y ya podemos generar comportamientos artificiales, implantar o borrar recuerdos y memorias»*.

Un equipo de investigadores en Austin, Estados Unidos, ha podido ya descodificar el habla mientras que otro equipo en Japón ha descodificado las imágenes que recrea la mente a partir de la realidad. Todo ello tendrá aplicaciones terapéuticas fundamentales en enfermedades como el Alzheimer, el ictus, el autismo o la comunicación del afectado con sus familiares y otras personas. Con las nuevas tecnologías aplicadas a la neurociencia se podrá escanear el cerebro y podremos comunicarnos con ellos. Sin embargo, estas técnicas también se pueden usar con otras intenciones no tan loables, como podría ser un interrogatorio. Aquí entramos en el concepto de la privacidad mental, una cuestión que será fundamental en los derechos humanos. Rafael Yuste ha puesto de manifiesto también que el aumento de la incidencia de enfermedades neurológicas y mentales tienen que ver con el estilo de vida moderno, muy distinto al que nuestro organismo ha evolucionado durante milenios, por lo que no ha podido sincronizarse con la sociedad que surgió de la revolución industrial, lo que nos ha dado un escaso margen de tiempo para readaptarnos a la nueva situación. Asimismo también está relacionado con enfermedades antes desconocidas debido a que la gente moría más joven. Según Rafael Yuste: *«La alta prevalencia de las enfermedades mentales es el precio que tenemos que pagar los seres humanos por la corteza cerebral gigantesca que tenemos. Y en los últimos años, la pandemia no ha ayudado precisamente, sino que ha disparado los trastornos mentales»*. Un rayo de esperanza nos lo ofrece la fisiopatología, la posibilidad que ofrece la tecnología aplicada a la neurociencia de conocer el funcionamiento de un órgano desajustado, tal como ahora es posible en el terreno cardiovascular, y que pronto será posible en neurología. Según Rafael Yuste: *«Una vez entendamos la fisiopatología de las enfermedades mentales gracias a la neurotecnología, podemos meternos dentro del*

cerebro. Ya contruidos los cimientos, podremos desarrollar nuevas terapias. Nos queda tiempo, pero es un proceso inexorable. Hay que tener paciencia y confianza en la ciencia y la medicina».

El Dr. José Luis Zamorano, jefe de Servicio de Cardiología del Hospital Universitario Ramón y Cajal, de Madrid, ha puesto de relieve la alta incidencia de enfermedades cardiovasculares, en que el conocimiento de su fisiopatología está más avanzada, pero que tiene que salvar aún el gran reto de la prevención primaria y la educación en salud. Por ejemplo, en España hay seis millones de enfermos con patologías del corazón y el sistema vascular. José Luis Zamorano opina que *«los pacientes, primero, quieren médicos que les den un buen y certero diagnóstico, y la inteligencia artificial nos va a ayudar en este sentido. Pero muchas veces la inteligencia artificial también es muy artificial y muy poco inteligente. Ya tenemos aquí el salto tecnológico, pero también implica unas consideraciones morales. El horizonte en medicina es infinito y somos nosotros los que tenemos que decidir lo que tenemos que hacer. La empatía en el acto médico es fundamental en este sentido»*. Y también sería más inteligente intentar prevenir que centrarse solo en la patología. Según José Luis Zamorano: *«En cardiología sabemos que los pacientes tienen que saber cuáles son sus factores de riesgo: el colesterol LDL, el tabaco, que debería estar prohibido. Los pacientes entienden muy bien la enfermedad, tenemos unas guías clínicas excelentes, pero no las implementamos, porque nos falta educación. Tenemos que educar en el colegio. La sociedad tiene que aprender desde el principio, ya que ello tendrá un impacto tremendo en la salud»*. Rick Suárez, presidente de AstraZeneca en España, una de las empresas que ha desarrollado vacunas y tratamientos contra el Covid 19, ha destacado los usos de la tecnología para predecir nuevas pandemias y especialmente nuevas variantes del coronavirus, que sigue afectando especialmente a personas inmunocomprometidas: *«Estamos utilizando el big data y la innovación para ver cuáles son las 13 variantes siguientes. Gracias a esta tecnología, podemos calcular diferentes variantes que pueden salir y cómo podemos responder con un anticuerpo monoclonal. Se trata de traer un medicamento al mercado mucho más rápido. También estamos utilizando el big data de forma precoz, por ejemplo, en la identificación más temprana de la insuficiencia cardiaca o la enfermedad renal»*.



La inteligencia artificial está siendo muy importante, asimismo, en áreas como las alergias, una afección que se prevé afectará al 50% de la población mundial en 2050 y donde la farmacéutica española *LETI Pharma* está especializada. Según su presidente, Jaime Grego, *«cada vez se utiliza más, pero tendremos que utilizarla mucho más, porque nos permite entender las diferencias terapéuticas entre pacientes, recopilar gran cantidad de datos y analizarlos de manera rápida, llevándonos a identificar patrones de tendencia»*.

Además, ha añadido que la transformación digital está añadiendo valor a la inmunoterapia alérgica personalizada, un tratamiento que a corto plazo puede reducir y acabar con la alergia. *«Si nos ayuda a entender la situación, como tenemos que tratarla y controlarla midiendo la evolución de la enfermedad, nos ayudará a tratar la enfermedad. Y con la bioinformática, la aplicación de la inteligencia artificial en la medicina, la ciencia avanza de forma significativa tanto para desarrollar como para producir vacunas, así como para desarrollar y diseñar nuevas formas de inmunoterapia»*. También tenemos la neurotecnología para detectar precozmente el deterioro cognitivo desde casa. El proyecto Hogar reclutará a 500 personas mayores que harán uso de la diadema creada por la empresa *Bitbrain* que registra la actividad cerebral. Personas con problemas de ansiedad, depresión o problemas de memoria llegan a diario a las consultas y no resulta sencillo determinar si se debe o no a un deterioro cognitivo. Acaban de comenzar en Aragón tres estudios de investigación clínica que se apoyan en innovadoras neurotecnologías digitales para la identificación temprana y la exploración de posibles tratamientos del deterioro cognitivo leve y su transición hacia la demencia o el Alzheimer. Alrededor de 750 personas mayores tomarán parte en estos ensayos y harán uso de un sencillo kit de registro de la señal cerebral que consiste en una banda de tela, dotada de sensores, que se ajusta sobre la frente y puede usarse en casa. Un primer grupo de pacientes ha superado ya con éxito la fase piloto del proyecto Hogar, cuyo objetivo es comprobar que estas bandas de uso domiciliario sirven para evaluar la función cognitiva en personas mayores, así como para detectar y predecir el deterioro cognitivo. Esta ayuda al médico tendría *«un valor incalculable, al ayudar a distinguir de forma más precoz que actualmente cuándo una persona que viene a consulta con sensación subjetiva de pérdida de memoria es un caso de inicio de deterioro cognitivo real o se debe a que está deprimida o a que tiene problemas psicosociales ocultos que también hay que detectar»*. El kit Hogar diseñado por *Bitbrain* está compuesto por una neurobanda de registro de la actividad cerebral para el día y otra para la noche, así como una tableta con la que seguir las instrucciones en casa. Algunas de las pruebas se realizan en el hospital, como el análisis de sangre y saliva, electroencefalograma y test cognitivos y conductuales. Con la diadema colocada los pacientes realizarán cada día un registro de electroencefalograma en reposo y mientras realizan tareas cognitivas, mientras que por la noche, la otra banda del kit realiza un *polisomnograma* durante el sueño. Lo que se persigue con este ensayo es comparar esta manera de analizar y diagnosticar el deterioro cognitivo con las pruebas realizadas en un hospital.

La neuroestimulación podría revertir o ralentizar el deterioro cognitivo, antesala de la demencia. El proyecto Nana se ha propuesto aprovechar la noche, un momento muy especial, pues es cuando se consolida la memoria. Una estimulación auditiva emitida justo en la fase de sueño profundo aumenta los trenes de ondas lentas en el cerebro y podría ayudar. *«Una de las funciones del sueño de ondas lentas o sueño profundo es el aclaramiento de la proteína beta-amiloide que se deposita en el cerebro de las personas»*, explica Jorge de Francisco Moure, neurofisiólogo y colaborador del proyecto Nana. La acumulación excesiva de esta proteína se relaciona con el Alzheimer, la causa más frecuente de demencia. Pronto comenzarán a reclutarse, desde las consultas de neurología, pacientes para este proyecto: personas con deterioro cognitivo leve de tipo amnésico ya diagnosticados. Durante las noches de intervención, en las habitaciones experimentales de la empresa *Bitbrain*, una inteligencia artificial analizará en tiempo real los datos captados por la neurobanda colocada en torno a su cabeza y, cuando detecte que el paciente está en sueño profundo, unos pequeños altavoces emitirán los sonidos de neuroestimulación, que el cerebro percibe sin llegar a despertar. También personalizada es la neuromodulación del proyecto Esperanza, asimismo dirigido a pacientes con deterioro cognitivo leve amnésico procedentes de consultas de neurología o de psiquiatría. Pero actualmente no son candidatos los pacientes ya diagnosticados de Alzheimer. En esta ocasión, las técnicas de estimulación cognitiva no se realizan durmiendo sino ante el ordenador. Mientras la neurobanda mide la actividad cerebral del sujeto, este practica un entrenamiento mental para fortalecer la memoria y ve en pantalla si su cerebro trabaja como plantea la tarea que se le propone. El neurólogo Pedro Modrego coordina este ensayo e indica que *«estas técnicas no revierten el problema de memoria, en todo caso se puede conseguir una estabilización, una evolución más lenta del problema o bien mejorías transitorias»*. En su opinión, *«si se demostrara que aplicar*

esta técnica de estimulación retrasa el deterioro cognitivo, lo más positivo es que podría realizarse en el domicilio del paciente».

La neurotecnología, con su avance vertiginoso, está redefiniendo nuestra comprensión y capacidad para tratar trastornos neurológicos. Tenemos la nanotecnología del grafeno para interfaces neuronales de alta densidad que puede revolucionar las interfaces neuronales. Este material, conocido por su conductividad y flexibilidad, permite la creación de microdispositivos que pueden decodificar señales cerebrales con una precisión sin precedentes. Esta tecnología promete ser un cambio de paradigma en el tratamiento de enfermedades como la epilepsia y Parkinson, proporcionando una forma de monitorización y manipulación directa y mínimamente invasiva de la actividad cerebral. La neuroterapia digital combina interfaces cerebro-ordenador, inteligencia artificial y otros dispositivos para crear tratamientos más accesibles y personalizados. El potencial de llevar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades neurológicas como el Alzheimer, el ictus y los trastornos del sueño a la comodidad del hogar del paciente es inmenso, lo que permite un enfoque más holístico y centrado en el paciente. La estimulación estática de campo magnético para la enfermedad de Parkinson implica la estimulación cerebral no invasiva que ofrece una nueva esperanza para los pacientes con Parkinson. Mediante la utilización de campos magnéticos estáticos, esta técnica innovadora estimula áreas específicas del cerebro para aliviar síntomas como la rigidez y los temblores. Lo notable de este enfoque es su naturaleza no invasiva y la promesa de mejorar la calidad de vida de los pacientes sin los riesgos asociados con los tratamientos más invasivos. El uso del *Ultrasonido Focalizado de Alta Intensidad* (HIFU) en neurología utiliza ultrasonidos para actuar sobre tejido cerebral anormal, estando mostrando resultados prometedores en el tratamiento de trastornos como el Parkinson y la epilepsia. Su naturaleza mínimamente invasiva representa un gran avance, ofreciendo a los pacientes una alternativa a la cirugía invasiva y los regímenes de medicación a largo plazo. La dinámica y modelización del cerebro lleva la neurotecnología a un nuevo nivel con su enfoque en la modelización y dinámica cerebral. Al simular la actividad cerebral, este enfoque abre el camino para tratamientos más personalizados y efectivos para condiciones como el coma y enfermedades neuropsiquiátricas. Estas simulaciones computarizadas podrían ser cruciales para predecir respuestas al tratamiento, permitiendo intervenciones más precisas y menos invasivas. La intersección de la realidad virtual y las interfaces cerebro-ordenador tiene implicaciones de largo alcance. La posibilidad de tratar fobias, ansiedad y problemas de obesidad mediante entornos virtuales inmersivos y terapia asistida por computadora es un campo muy prometedor. Estos métodos podrían mejorar no solo la rehabilitación física y cognitiva, sino también habilidades sociales y empatía, ampliando los límites de lo que consideramos como tratamiento médico.

También tenemos la neurotecnología y rehabilitación mediante exoesqueletos. Estos dispositivos robóticos, controlados por señales cerebrales del paciente, ofrecen una forma innovadora de rehabilitación para personas que han sufrido infartos cerebrales u otros tipos de problemas neuronales. Este enfoque personalizado y basado en la tecnología no solo mejora la movilidad, sino que también promete acelerar el proceso de recuperación. La neurotecnología está allanando el camino para un futuro en el que la medicina y la tecnología se fusionen para ofrecer soluciones más eficaces y personalizadas para una gran variedad de trastornos neurológicos. Desde el uso de materiales avanzados como el grafeno hasta la realidad virtual y la robótica, estamos entrando en una nueva era de tratamiento y comprensión de la salud y el bienestar humanos. El cerebro es el órgano más fascinante del cuerpo humano y su funcionamiento uno de los enigmas más complejos en el campo de las Neurociencias. La comunidad científica lleva años esforzándose por entender por qué nuestra mente actúa según determinados patrones, y cuáles son las razones por las que el ser humano sueña, olvida, sufre o incluso piensa y decide. Los recientes avances en Neurotecnología e Inteligencia Artificial (IA) han demostrado que ya es posible acceder a parte de la información acumulada en el cerebro. Esta práctica se realiza a través de técnicas ópticas, electrónicas, magnéticas y nanotecnologías, que sirven para aproximarnos a comprender estos procesos e incluso llegar a leer y escribir la actividad cerebral de las personas. Esta nueva tecnología tiene la capacidad de descifrar procesos de nuestras mentes y, de esta forma, facilitar el diagnóstico, la comprensión y la cura de enfermedades neurodegenerativas como el

Alzhéimer o el Parkinson, trastornos que afectan a millones de personas en todo el mundo. Todo ello supone una nueva revolución en el campo de las Neurociencias, así como la apertura de un nuevo campo de desarrollo para la industria. La Neurotecnología permite descifrar parte de la actividad cerebral de cualquier individuo y, con ello, facilitar el diagnóstico, la comprensión y la cura de enfermedades neurodegenerativas. Para ello, según los expertos, será necesaria una combinación de la inteligencia biológica con la artificial, es decir, conectar directamente la máquina al cerebro humano, implantando electrodos diminutos en el mismo. La Neurotecnología permite controlar el sistema motor y facilitar nuevas herramientas de comunicación para las personas que hayan sufrido lesiones cerebrales, ya sea a causa de un accidente o de una enfermedad. Tanto es así que, a través de esta nueva ciencia, se ha logrado que una persona tetrapléjica pueda mover una mano de forma voluntaria, con ayuda de la IA. Esta herramienta podría incluso elevar nuestra inteligencia, mejorar nuestra memoria, ayudarnos a tomar decisiones y, de forma provisional, proporcionar una extensión de la mente humana.

Esta nueva tecnología podría llegar a controlar el sistema motor y facilitar nuevas herramientas de comunicación en personas que hayan sufrido lesiones cerebrales. Expertos de la Universidad del Sur de California han estado trabajando en una prótesis de memoria que podría reemplazar las partes dañadas del hipocampo, una de las estructuras cerebrales implicadas en la memoria y las emociones, en los pacientes que hayan visto afectada su función de la memoria. La Neurotecnología podría en un futuro cambiar el paradigma del diagnóstico y tratamiento de las enfermedades neurodegenerativas, aportando evidencias científicas sobre el origen y la evolución de esas patologías. En la actualidad, diversos grupos de investigación y empresas trabajan en la elaboración y el desarrollo de estos dispositivos electrónicos que, en un futuro, se espera que tengan la capacidad de interactuar con el sistema nervioso y restablecer, al menos de forma parcial, algunas de las funciones perdidas a causa de enfermedades neurodegenerativas. La inteligencia artificial (IA) ha revolucionado una amplia variedad de sectores, y uno de los campos en constante evolución es el cuidado de la tercera edad. A medida que la población envejece en muchas partes del mundo, surgen nuevas preguntas y desafíos sobre cómo brindar una atención adecuada a las personas mayores. En este contexto, se plantea la intrigante cuestión de si los robots pueden desempeñar un papel significativo en el cuidado de nuestros mayores. Incluso ya existen inmensos avances relacionados entre la inteligencia artificial y la atención a la tercera edad, lo que permite examinar las posibilidades y limitaciones de esta innovadora tecnología en el cuidado de las personas mayores. La inteligencia artificial (IA) y la robótica han avanzado considerablemente en las últimas décadas, lo que ha abierto la puerta a una serie de aplicaciones en la atención de la tercera edad. Si bien los robots aún no pueden reemplazar por completo la atención humana de las personas mayores, pueden desempeñar un papel complementario importante en diversas áreas. Los robots pueden ayudar a las personas mayores en tareas cotidianas como la limpieza, la preparación de comidas y la movilidad. Los robots de asistencia personal pueden ser programados para recordar tomar medicamentos o realizar un seguimiento de las citas médicas. La soledad y el aislamiento social son problemas comunes entre las personas mayores. Los robots pueden actuar como compañeros, interactuando con las personas mayores a través de conversaciones simples, juegos, música y entretenimiento. La IA puede utilizarse para supervisar la salud de las personas mayores, alertando a los cuidadores o profesionales de la salud en caso de anomalías o emergencias médicas.: Los robots también pueden ayudar en la rehabilitación física y cognitiva, proporcionando ejercicios personalizados y seguimiento de progreso. Los robots equipados con sensores pueden detectar caídas y enviar alertas a familiares o cuidadores.

Un equipo de investigadores del centro de innovaciones ruso Skólkovo ha presentado al público un dispositivo que podría cambiar para siempre las vidas de las personas invidentes. El aparato, bautizado como Elvis (Electronic Vision) está integrado por un implante neural, una diadema equipada con dos cámaras y un pequeño ordenador. Un microchip, implantado en el cerebro, estimula la corteza visual, algo que le da a una persona ciega la impresión de poder ver. Luego, un microordenador analiza en tiempo real las imágenes captadas por las cámaras instaladas en la diadema y define sus contornos con la ayuda de la inteligencia artificial. Finalmente, vuelve a enviar los datos al

implante. Los creadores del dispositivo afirman que será de gran ayuda a las personas que perdieron la visión por un trauma o sufren de desprendimiento de retina o de atrofia del nervio óptico. Al mismo tiempo, todavía no se sabe si funcionará de la misma manera en los ciegos de nacimiento. El director del proyecto, Denis Kuleshov, recuerda que hay alrededor de 300.000 personas invidentes solo en Rusia. Hasta la fecha, los investigadores están llevando a cabo las pruebas del implante en ratones de laboratorio. Sin embargo, cuando obtengan la autorización correspondiente tienen previsto instalarlo en personas voluntarias. Cualquier persona invidente tiene la oportunidad de participar en los ensayos clínicos del aparato. «*Si bien esto todavía no se puede calificar como un sustituto de la vista, es algo que definitivamente mejorará la calidad de vida de los invidentes*», declaró el vicepresidente de Skólkovo, Kiril Kayom, quien compara el invento con los implantes cocleares que devuelven el oído a las personas con dificultades auditivas. El futuro de la inteligencia artificial (IA) no consistirá en crear inteligencias capaces de sustituir a la inteligencia humana, sino hacerlas complementarias a ésta, según analistas tecnológicos. Por ejemplo, las personas con discapacidad visual podrían beneficiarse si se logra mejorar la IA aplicada al reconocimiento de imágenes. Por ello, los investigadores de Facebook, AI Research y del Instituto de Tecnología de Georgia, se unieron para desarrollar un sistema capaz de analizar la información escrita en nuestro entorno. Un primer enfoque fue la creación del *Visual Question Answering (VQA)*, un artefacto con IA que responde preguntas sobre imágenes. Los investigadores buscan que sea eficaz al analizar la información escrita en nuestro entorno. Esto surgió porque al efectuar preguntas que exigen interpretar información textual, los VQA fallan con frecuencia. La misión de los expertos es que sea posible que un usuario ciego pueda interactuar con la información escrita hasta incluso poderse poner ante una carta de un restaurante equipado con una cámara y poder preguntar a la IA cuáles son los platos y sus precios.

La visión es uno de los sentidos más importantes para el ser humano, pero también uno de los más vulnerables. Según la Organización Mundial de la Salud, hay alrededor de 253 millones de personas con discapacidad visual en el mundo, de las cuales 36 millones son ciegas. Estas cifras podrían aumentar debido al envejecimiento de la población y a las enfermedades oculares degenerativas, como la retinosis pigmentaria, el glaucoma o la degeneración macular asociada a la edad. Sin embargo, la ciencia y la tecnología no se rinden ante este desafío y están desarrollando soluciones innovadoras para restaurar la visión en las personas que la han perdido o que nunca la han tenido. Estas soluciones se basan en implantes de retina artificial o lentes de contacto inteligentes que estimulan el nervio óptico o proyectan imágenes directamente en el ojo. La retina artificial es un dispositivo médico que se implanta quirúrgicamente en el ojo para sustituir a la retina natural, que es el tejido nervioso que recibe la luz y la convierte en señales eléctricas que viajan al cerebro. La retina artificial está formada por un conjunto de electrodos que se colocan en contacto con las células nerviosas de la retina que aún están sanas y que se encargan de transmitir la información visual al cerebro. La retina artificial se conecta a una cámara externa que se coloca en unas gafas especiales y que capta las imágenes del entorno. Estas imágenes se procesan y se envían de forma inalámbrica a un chip que se implanta en el ojo y que estimula los electrodos de la retina artificial. De esta forma, se genera una percepción visual artificial que el paciente debe aprender a interpretar con la ayuda de un entrenamiento específico. La retina artificial no restaura la visión normal, sino que proporciona una visión parcial que permite al paciente reconocer formas, contrastes, movimientos y colores básicos. La calidad de la visión depende del número de electrodos que tenga la retina artificial y de la resolución de la cámara. Actualmente, existen varios modelos de retina artificial en el mercado o en fase de desarrollo.

Las lentes de contacto inteligentes son otro tipo de dispositivo médico que se colocan sobre la córnea del ojo para mejorar la visión de las personas con discapacidad visual. A diferencia de la retina artificial, las lentes de contacto inteligentes no requieren una intervención quirúrgica, sino que se pueden poner y quitar como unas lentes de contacto convencionales. Las lentes de contacto inteligentes también se conectan a una cámara externa que se coloca en unas gafas especiales y que capta las imágenes del entorno. Estas imágenes se procesan y se proyectan directamente sobre la superficie de la lente de contacto, que actúa como una pantalla. De esta forma, se crea una realidad

aumentada que se superpone a la visión natural del paciente. Las lentes de contacto inteligentes no sustituyen a la retina natural, sino que la complementan con información adicional que puede ayudar al paciente a orientarse, a leer, a reconocer rostros o a detectar obstáculos. La calidad de la visión depende de la resolución de la lente de contacto y de la cámara. Actualmente, existen varios proyectos de investigación que están trabajando en el desarrollo de lentes de contacto inteligentes. Estas tecnologías pueden suponer una gran mejora en la calidad de vida de las personas con discapacidad visual, ya que les permiten recuperar parte de su autonomía, su seguridad y su autoestima. Algunos de los beneficios que pueden obtener los pacientes son: 1) Mejorar su movilidad y su orientación espacial, al poder detectar bordillos, escaleras, semáforos, cruces o vehículos. 2) Aumentar su independencia y su capacidad de realizar actividades cotidianas, como leer, escribir, usar el ordenador, el móvil o el televisor, o reconocer objetos, alimentos o dinero. 3) Potenciar su interacción social y su comunicación, al poder identificar rostros, expresiones, gestos o emociones de las personas que les rodean, o seguir una conversación en un grupo. 4) Enriquecer su experiencia sensorial y su disfrute de la vida, al poder apreciar los colores, las formas, las luces o las sombras de su entorno, o contemplar un paisaje, una obra de arte o una película. Pero a pesar de los avances y los beneficios que ofrecen estas tecnologías, también presentan algunos desafíos y limitaciones que hay que tener en cuenta. Algunos de los inconvenientes que pueden encontrar los pacientes son: 1) La necesidad de cumplir unos requisitos médicos específicos para poder optar a estas tecnologías, como tener una discapacidad visual severa, conservar algunas células nerviosas en la retina, no tener otras patologías oculares o sistémicas que impidan el implante o el uso de las lentes, o tener una edad mínima y máxima establecida. 2) La dificultad de adaptarse a una visión artificial que no es igual a la visión natural, sino que es más limitada, borrosa, pixelada o distorsionada. Esto requiere un proceso de aprendizaje y de entrenamiento que puede ser largo, costoso y frustrante para el paciente y su familia. 3) La posibilidad de sufrir efectos secundarios o complicaciones derivadas del uso de estas tecnologías, como infecciones, inflamaciones, rechazos, desplazamientos, roturas, interferencias o alergias. Estos problemas pueden requerir revisiones médicas periódicas, ajustes técnicos o incluso la retirada del dispositivo. 4) El alto coste económico que supone acceder a estas tecnologías, que no están cubiertas por la seguridad social ni por la mayoría de los seguros privados. El precio de estos dispositivos puede variar según el modelo, el país o la clínica, pero suele oscilar entre los 50.000 y los 150.000 euros. No obstante, la tecnología capaz de restaurar la visión es una realidad que está cambiando la vida de muchas personas con discapacidad visual. Gracias a los implantes de retina artificial o las lentes de contacto inteligentes los pacientes pueden recuperar una visión funcional que les permite realizar actividades que antes no podían hacer o que les resultaban muy difíciles. Sin embargo, estas tecnologías también tienen sus limitaciones y sus riesgos, por lo que es importante informarse bien y consultar con un especialista antes de decidirse por una de ellas.

Un periodista del periódico *La Voz de Galicia* quiso experimentar en primera persona cómo se desenvuelve una persona invidente durante 24 horas y recoger sus sensaciones en un reportaje. El documento, inspirado por la ceguera casi total de su propia madre, es tan gráfico que solo hace falta leer las primeras líneas para descubrir la angustia que pueden llegar a sufrir las personas privadas de visión. Y no es para menos, ya que la vista es el sentido más evolucionado e importante. Gracias a ella absorbemos y procesamos hasta el 85% de los estímulos y de la información que recibimos, lo que nos permite desenvolvemos con soltura en nuestra vida diaria. Por eso, la pérdida de la visión es una de las lesiones más angustiosas que puede sufrir una persona. Por desgracia, hoy en día los trasplantes de ojos son inviables y todavía falta mucho para conseguir una técnica tan espectacular como la que se muestra en la película *Minority Report*. Hasta que se desarrolle una intervención parecida, la tecnología aplicada al campo de la oftalmología continúa trabajando para desarrollar dispositivos que permitan devolver la vista a las personas que la han perdido. Uno de los proyectos más recientes consiste en un dispositivo de visión cortical denominado *Cortical Frontiers*, que está compuesto por un arnés, una cámara y un transmisor, así como por varios implantes electrónicos inalámbricos en miniatura colocados en la superficie del cerebro. Este dispositivo actúa entre la retina y la parte del cerebro encargada de procesar las imágenes y funciona con estimulación eléctrica. En concreto, la cámara de vídeo envía la señal a un procesador de

visión que se encarga de extraer la información que resulta más útil. Esos datos se transmiten de forma inalámbrica a un circuito ubicado en los implantes y los convierte en impulsos eléctricos que estimulan el cerebro mediante microelectrodos. El objetivo de este dispositivo consiste en restaurar la percepción visual de las personas invidentes mediante estímulos eléctricos enviados a la región del cerebro que recibe, integra y procesa la información visual. Por el momento, esta investigación, desarrollada por la Universidad de Monash, está pendiente de ensayo clínico. Otra investigación reciente se centra en la utilización de la inteligencia artificial como mecanismo de apoyo frente a la ceguera. *OrCam My Eye* es un avanzado dispositivo portátil de asistencia para personas invidentes o con discapacidad visual que utiliza la IA para leer texto, códigos de barras, reconocer rostros, identificar productos, monedas, colores e incluso la fecha y la hora, a través de un control de gestos intuitivo. Para ello el dispositivo cuenta con un sensor óptico avanzado que captura una imagen y transmite la información de forma audible, sin conexión a internet. Aunque estos dispositivos no devuelven la vista a los discapacitados visuales, sí constituyen un apoyo fundamental para que puedan desenvolverse con independencia. Entre otras cosas, *OrCam My Eye* ayuda a leer un libro, un mensaje en el teléfono móvil o la carta de un restaurante.

Entre todas estas innovaciones destaca la prótesis de retina que ha desarrollado el *Instituto Italiano de Tecnología*, y que ha publicado la revista *Nature*. Esta prótesis ha sido realizada con nanopartículas biocompatibles de un polímero denominado P3HT-NP que ha conseguido devolver la visión a ratas con retinosis pigmentaria. Sus responsables aseguran que, en caso de que esta solución demuestre su eficacia y seguridad, será menos invasiva porque evitará la realización de cirugía y la implantación de electrodos en la corteza visual. Esta tecnología es potencialmente efectiva frente a la retinosis pigmentaria y la degeneración macular asociada a la edad, una de las enfermedades oftalmológicas más frecuentes, que tiene carácter hereditario y que aparece principalmente a partir de los 60 años. Estas innovaciones pretenden dar respuesta a la pérdida de visión debido a enfermedades como el glaucoma o la retinosis pigmentaria, en lo que continúa siendo uno de los grandes retos de la medicina.

Vemos pues que nos encontramos al borde de una nueva revolución tecnológica impulsada por la digitalización y, sobre todo, por el desarrollo y la aplicación en múltiples campos de la Inteligencia Artificial (IA). Se trata de un tipo de tecnología que ha desarrollado la capacidad de aprender y actuar en respuesta al entorno. Esta nueva ciencia simula un proceso que permite a las máquinas tomar decisiones y realizar tareas que originalmente son propias del ser humano o que incluso las personas no son capaces de realizar por sí mismas. Todo ello es posible gracias a algoritmos inteligentes capaces de reconocer y analizar datos no estructurados para convertirlos en información relevante y útil. La implantación de esta tecnología ha adquirido presencia en diferentes áreas del panorama científico, como la medicina. En la actualidad, los avances en IA permiten la detección precoz de enfermedades como el Alzheimer, una patología neurodegenerativa que modifica el cerebro y provoca alteraciones que afectan a la memoria, el entendimiento, el juicio, la conducta y la actividad funcional. Aunque se está investigando, en la actualidad, no existe cura para esta patología, por lo que la detección precoz es clave para aminorar su impacto. Gracias a los progresos recientes en el desarrollo y la aplicación de la IA, es posible detectar casos de Alzheimer hasta con 15 años de antelación, a través del estudio genético y la monitorización del paciente. Además, se prevé que, en el futuro, esta herramienta sirva también para predecir otras enfermedades de carácter mental como la depresión o incluso alertar a los profesionales de posibles tendencias suicidas. Recientemente han surgido diversas propuestas basadas en IA que permiten detectar las primeras señales de alarma respecto a la aparición del Alzheimer. Investigadores de la Universidad de California, en San Francisco (UCSF), por ejemplo, han desarrollado un algoritmo capaz de reconocer uno de los primeros signos de la enfermedad como puede ser la disminución del consumo de glucosa en el cerebro. De esta manera, la IA hace posible diagnosticar la enfermedad de forma precoz.

Respecto al entorno de las patologías mentales, según numerosos expertos, en pocos años la mayoría de los servicios de psiquiatría contarán de forma normalizada con un refuerzo basado en IA que les permitirá diagnosticar con mayor eficiencia a los pacientes

y ofrecerles un tratamiento verdaderamente personalizado. Esta nueva tecnología ofrecerá al profesional información de manera objetiva, así como pronósticos con los que decidir cómo actuar de manera individualizada. Además, a través de esta tecnología, se podrá decidir qué fármaco y dosis son las idóneas para cada paciente, así como predecir los posibles efectos secundarios que tendrá cada medicamento en función de las características biológicas de cada persona. En suma, los expertos afirman que esta nueva tecnología puede revolucionar el tratamiento de las enfermedades mentales. A medida que la IA adquiere mayor presencia en nuestro día a día, comienza a considerarse su aplicación para la toma de decisiones trascendentales vinculadas con, por ejemplo, la medicina, lo que tendrá un elevado impacto en la vida de las personas. Todo ello plantea una serie de desafíos morales y éticos que deberán irse analizando al mismo tiempo que esta tecnología ocupa una posición relevante en nuestra sociedad. Vemos pues que la IA está irrumpiendo de una manera acelerada en el mundo de la salud.

Continuará en un segundo artículo.

Fuentes:

Asimov_Isaac – *El código genético*

Ray_Kurzweil – *Cómo crear una mente*

Ray Kurzweil – *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*

Minsky Marvin – *La Máquina de las emociones*

Rocío B. Ruiz, Juan D. Velásquez – *Inteligencia artificial al servicio de la salud del futuro*

Revista *Nature* – *La Inteligencia Artificial en el desarrollo de nuevos fármacos*

Félix Wong – *Cómo puede ayudar la inteligencia artificial en la búsqueda de la eterna juventud*

Inés Sánchez-Manjavacas Castaño – *Inteligencia artificial y tercera edad: ¿pueden los robots cuidar de nuestros mayores?*

Stanislas Dehaene – *La Conciencia en el Cerebro*

Diego Golombek – *Las neuronas de Dios*

María A. Blasco – *Morir joven, a los 140*

Facundo Manes – *Descubriendo el cerebro*

Francisco_Mora – *Se puede retrasar el envejecimiento del cerebro*

David_P_Barash – *El envejecimiento*

Joel de Rosnay – *Epigenética*

Jorge Dotto – *Genética*

José Viosca – *Cerebro*

Rafael Yuste – *Las nuevas neurotecnologías y su impacto en la ciencia, medicina y sociedad*

De Andres Argente Tirso – *Homo Cybersapiens: La Inteligencia Artificial y la Humana*

Ana B. Porto Pazos – *Advancing Artificial Intelligence through Biological Process Applications*

Christopher G. Langton: *Artificial Life: An Overview*

Botting, Eileen Hunt – *Artificial Life after Frankenstein*

Thomas Ming Swi Chang – *Artificial Kidney, Artificial Liver and Artificial Cells*

Ata Mahjoubfar – *Artificial Intelligence in Labelfree Microscopy Biological Cell*