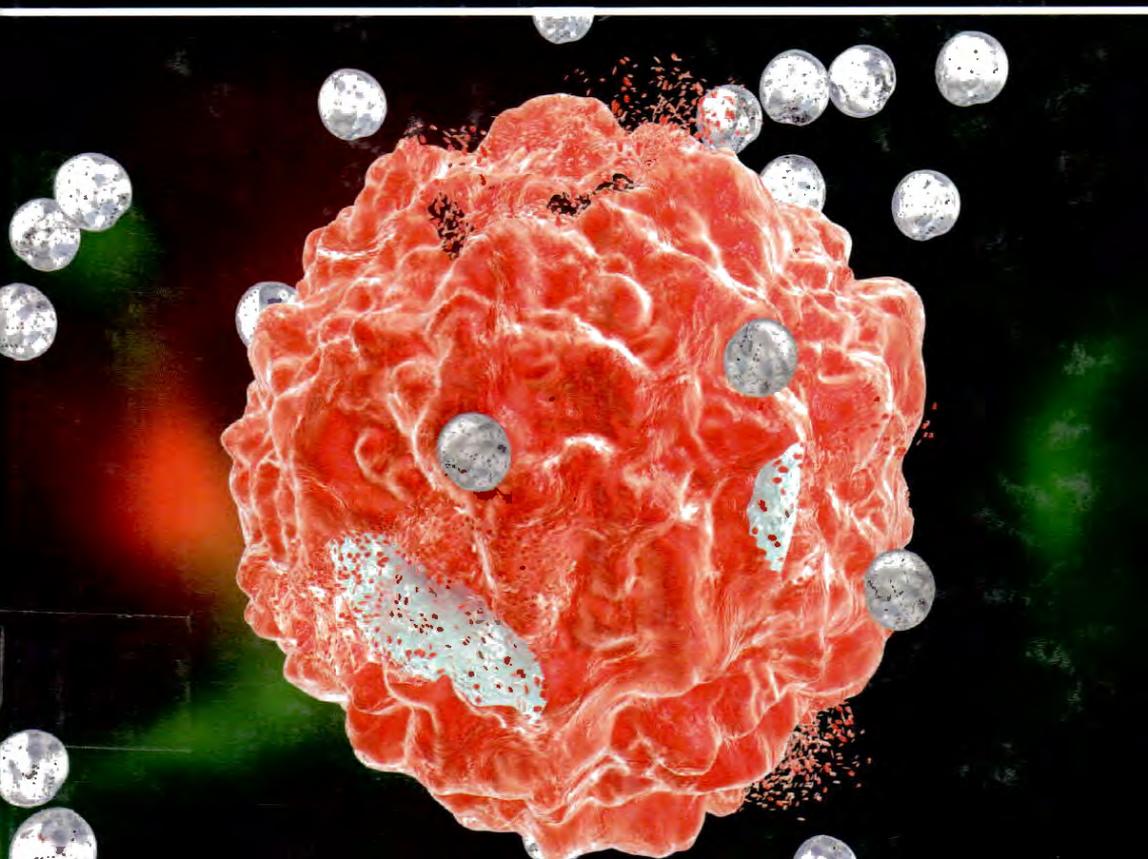


 NATIONAL GEOGRAPHIC

LA NANOMEDICINA

La revolución de la medicina
a escala molecular



La capacidad que ofrece la nanotecnología de manipular a escala molecular y atómica está llamada a marcar un antes y un después en la práctica de la medicina en sus tres áreas básicas: el diagnóstico, el tratamiento y la regeneración. Así, la nanomedicina está permitiendo ya obtener información del organismo enfermo en tiempo real gracias a nanobiosensores incorporados al cuerpo. Más allá del diagnóstico, esta tecnología promete ofrecer también el mejor tratamiento para restablecer la salud gracias a nanovehículos que portarán los fármacos al lugar y en la dosis requerida, lo que aumentará su efectividad. Igualmente, permitirá recuperar la correcta funcionalidad de los órganos o tejidos dañados. El desarrollo, en último término, de nanobots presenta un potencial increíble que podría, incluso, controlar el envejecimiento.

Daniel Closa es biólogo, escritor
y divulgador científico.

LA **NANOMEDICINA**

La revolución de la medicina
a escala molecular

SUMARIO

| | | |
|----|---|-----|
| | Introducción | 7 |
| 01 | Un mundo en miniatura para una nueva medicina | 13 |
| 02 | Afinar el diagnóstico | 37 |
| 03 | Un nanoejército para mejorar nuestra salud | 59 |
| 04 | Potenciando la regeneración | 81 |
| 05 | El futuro de la medicina: menos será más | 109 |
| | Lecturas recomendadas | 135 |
| | Índice | 137 |

INTRODUCCIÓN

El arte, o la ciencia, de la medicina no ha dejado de evolucionar desde sus más remotos inicios, pues mantener la salud, o recuperarla cuando la perdemos, ha sido siempre una de las principales prioridades de los seres humanos. Resulta evidente que el incremento en la esperanza de vida y la mejora del estado de salud general de la población han ido de la mano de los avances científicos y tecnológicos. Una confluencia que ha aumentado en los últimos años gracias al desarrollo de la nanotecnología, un nuevo conjunto de tecnologías que operan a escala atómica y que aplicadas al campo de la medicina han dado lugar a la nanomedicina. Con ella, la capacidad de intervenir a escala tan pequeña abre la posibilidad, por primera vez, de tratar las células en lugar de actuar sobre los tejidos, de transportar los fármacos de manera individualizada a la zona exacta donde queremos que ejerzan su efecto en lugar de dejarlos actuar sobre todo el organismo y de introducir el laboratorio en el interior del cuerpo en lugar de tener que obtener muestras de sangre o tejido para analizarlas. Este cambio va a representar un antes y un después en la historia de la medicina porque por primera vez va a permitir in-

tervenir allí donde la mayoría de las enfermedades tienen su origen. Alteraciones en genes, modificaciones en proteínas o cambios en los elementos que constituyen las estructuras celulares son causas frecuentes de enfermedades que se manifestarán de diferentes maneras en función del tipo de moléculas implicadas. La consecuencia será una mejora de la calidad de vida de los seres humanos, no solo gracias a la innovadora forma de combatir la enfermedad, sino también a la posibilidad que brinda esta tecnología de una medicina personalizada a distancia en el propio hogar del paciente.

La manera de ejercer la medicina, por tanto, se verá profundamente modificada, ya que se deberá operar con nuevas herramientas adaptadas a la escala atómica, que se rige por reglas diferentes a las que estamos habituados. Es un error pensar que se trata, simplemente, de disponer de instrumentos más pequeños pero que actúan de la misma manera. Las leyes de la física que rigen a escala molecular son diferentes de las que modulan el comportamiento de las cosas a escala macroscópica. A escala molecular el mundo ya no se percibe como un continuo a nuestro alrededor y basta con imaginar lo que nos sucedería al mover un objeto del tamaño de unos pocos átomos a través del agua. Lo que detectaríamos no será un fluido que nos envuelve, sino moléculas individuales de agua que nos golpean interminablemente. Cuando encontrásemos una superficie, lo más importante que deberíamos tener en cuenta serían las cargas eléctricas que presente, ya que de ello dependerá el quedar atrapado o el salir repelido. Se trata de unos detalles del mundo nanométrico que ya intuyeron los primeros investigadores que se atrevieron a soñar con estas posibilidades, como el físico estadounidense Richard Feynman. Estas peculiaridades, que podían parecer obstáculos que impedirían el desarrollo práctico de la nanomedicina, se han aprovechado para diseñar sistemas de transporte de medicamentos, para identificar células individuales o para conseguir que zonas de tejido dañado queden ocultas al sistema inmunitario.

Así, el conocimiento y control de estas herramientas puede dar lugar a una auténtica revolución en las tres áreas de la medicina: el diagnóstico, el tratamiento y la regeneración. Para afinar el diagnóstico, se está trabajando en el diseño de sistemas equivalentes a un laboratorio analítico completo que quepa en la palma de la mano. Yendo un paso más allá, se podrán instalar en el cuerpo detectores de tamaño molecular que analicen determinados parámetros y nos mantengan informados de cualquier cambio en nuestro metabolismo. De esta manera, los médicos podrán disponer de «ojos» y «oídos» que monitoricen constantemente nuestro estado de salud. La capacidad de las nanosondas nos permitirá llevar un paso más allá los sistemas actuales de obtención de imágenes del interior del cuerpo, permitiendo detectar tumores cada vez más pequeños, células dañadas cada vez más escondidas y cambios fisiológicos cada vez más sutiles. La nanomedicina puede sacar partido de las sorprendentes propiedades cuánticas de algunos materiales con los que se pueden detectar, marcar y hacer brillar células individuales, lo que abrirá la vía a identificar una única célula cancerosa, con el potencial para generar un futuro tumor, oculta en un fondo de células sanas.

Por supuesto, identificar y conocer la enfermedad tan solo es el primer paso en el ejercicio de la medicina. A continuación hay que tomar las medidas oportunas para restablecer el funcionamiento correcto del organismo. En este proceso es donde las opciones ofrecidas por la nanotecnología promueven los cambios más destacados con respecto a la manera habitual de actuar. Con el uso de las nanoherramientas, la precisión de las actuaciones médicas alcanza unos niveles inimaginables hasta hace muy poco tiempo. Diseñando con precisión el tipo de estructuras moleculares que hay que sintetizar podemos, por ejemplo, disponer de sistemas para «empaquetar» los fármacos y dirigirlos con precisión hacia el tejido dañado, el vaso sanguíneo obstruido o el tumor que queremos destruir. Esto permite concentrar los efectos farmacológicos exclu-

sivamente donde se necesitan, sin afectar al resto del organismo y, en consecuencia, con unos efectos secundarios mucho menores. También se pueden aprovechar las características particulares del mundo nanométrico para actuar de maneras totalmente diferentes a las que estamos acostumbrados. Por ejemplo, ya se están fabricando partículas metálicas tan pequeñas que responden a campos magnéticos vibrando y generando una cantidad de calor que se puede controlar y usar, por ejemplo, para destruir células tumorales mediante una técnica denominada hipertermia. Por otra parte, la combinación de la nanotecnología con otras ramas emergentes de la ciencia, como la genómica, permite establecer mecanismos de terapia a nivel de los propios genes. Reparar enfermedades genéticas requiere introducir en las células las versiones corregidas de los genes defectuosos. En la práctica esto implica diseñar sistemas que permitan transportar con seguridad fragmentos específicos de ADN (la molécula que contiene la información genética) hasta las células adecuadas y conseguir que este material genético atraviese la membrana y alcance el núcleo. Para conseguir esto se están desarrollando sistemas basados en los nanotubos de carbono, unas estructuras a las que se puede unir el ADN y que estamos aprendiendo a guiar hasta su destino celular.

Las estrategias terapéuticas en la nanomedicina también tienen aplicación en la última etapa del proceso de sanación: la reparación de los tejidos tras la eliminación del proceso patológico. La destrucción de la infección, la eliminación del tumor o la disolución de los trombos en los vasos sanguíneos requieren un proceso posterior de reparación de las estructuras dañadas. El cuerpo dispone de mecanismos naturales de reparación, pero en muchas ocasiones no se consigue restablecer la normalidad en su totalidad. Por otra parte, existen enfermedades degenerativas en las que la terapia ha de consistir en la reparación de las estructuras dañadas. En algunas situaciones, como en el caso de las enfermedades neurodegenerativas, las estructuras afectadas pueden ser extremada-

mente delicadas. Restablecer las conexiones nerviosas dañadas por enfermedades como el Alzheimer o los daños cerebrales causados por trombos o hemorragias intracraneales es aún un sueño, pero ya se empiezan a vislumbrar estrategias para guiar el crecimiento de fibras nerviosas de manera que conexiones perdidas se puedan restablecer, al menos parcialmente. Algunos nanomateriales se pueden usar como andamios que condicionan el crecimiento de células en fase de regenerar el tejido, dirigiéndolas hacia determinadas estructuras y previniendo crecimientos incontrolados que puedan condicionar la funcionalidad de los órganos en reparación. En otras ocasiones, interesa controlar los mecanismos de defensa del cuerpo, como la inflamación o la inmunidad, para permitir que el tejido en fase de regeneración pueda crecer sin ser atacado por las propias defensas del organismo. Esto se puede conseguir recubriéndolos con nanomateriales que presenten superficies diseñadas específicamente para evitar la unión de estas células.

En pocos años podremos disponer de robots moleculares que, inyectados en la sangre, podrán atacar las infecciones con eficacia similar a la del sistema inmunitario, o fabricar transportadores de oxígeno que suplan las funciones de los glóbulos rojos, haciendo innecesarias las transfusiones de sangre en casos de hemorragias o de determinadas intervenciones quirúrgicas. Hoy en día estamos aprendiendo a fabricar los componentes esenciales de esas máquinas moleculares. Muy pronto entraremos en la etapa de ensamblar estos componentes para fabricar los nanorrobots (o nanobots) que se requieran en cada ocasión: máquinas que eliminen toxinas de la circulación sanguínea, nanobots que reparen los vasos dañados o sistemas nanométricos para impulsar y guiar el crecimiento celular en la reparación de tejidos. Cuando llegemos a este punto será evidente la capacidad de ir un paso más allá de la «simple» reparación del organismo, dado que dispondremos de la capacidad para optimizar sus funciones más allá del óptimo fisiológico. Los nanorrobots podrán suplir y mejorar la capacidad de los sistemas de re-

generación del sistema inmunitario y del metabolismo en general, acercándonos así al sueño de la inmortalidad.

Es difícil establecer los límites de la nanomedicina, ya que aún estamos en las primeras etapas de esta tecnología. La capacidad para modular, reparar e intervenir en estructuras biológicas a una escala tan reducida permitirá una precisión que hará que, finalmente, podamos sanar el cuerpo de manera efectiva y con el mínimo de daños colaterales. Los cirujanos moleculares con los que algunos visionarios soñaron en una ocasión pronto serán una realidad y cambiarán radicalmente la manera de ejercer la medicina del futuro.

UN MUNDO EN MINIATURA PARA UNA NUEVA MEDICINA

En el momento en el que se dispuso de la capacidad de manipular los átomos y las moléculas a nivel individual, se hizo evidente el inmenso potencial que la nanotecnología tenía en medicina. Desde entonces se han desarrollado sistemas para transportar fármacos, cubrir estructuras, bloquear células, manipular genes o señalar tumores a una escala tan reducida que ha obligado a revisar cómo usamos las leyes de la física.

U nos pitidos despiertan a Carlos. ¿Suena el despertador? No, es el aviso de que ha llegado un mensaje de texto a su móvil. Carlos, todavía medio dormido, alarga la mano para alcanzarlo. «La eficacia del tratamiento ya no es óptima. Es necesario modificarlo. Cita en el hospital a las 13h. Liberados 10 miligramos de morfina para reducir el dolor», lee en la app *Treat&Check* (tratar y controlar). No es un mensaje escrito por un médico. O ¿en realidad sí? Todo depende de lo que entendamos por «médico» de aquí a unos años.

Carlos tiene 47 años y, desde hace diez meses, recibe tratamiento para combatir un cáncer de colon. En su torrente sanguíneo, un nanosensor patrulla para analizar cada ocho horas la presencia de ADN tumoral. Este ADN es el material que las células de su tumor expulsan al torrente sanguíneo. Son pequeños fragmentos del material genético del cáncer, una fuente de información muy valiosa, pues los cambios en ese ADN tumoral permiten saber si el tratamiento está siendo eficaz o si, por el contrario, el tumor avanza. Si el cáncer empeora o mejora, el material genético cambia. El