

Nanomedicina: cuando lo pequeño puede cambiar la forma de tratar una enfermedad

EDNA VÁZQUEZ VÉLEZ Y JOSSELYNE GUADALUPE TRANSITO MEDINA

La Dra. Vázquez Vélez es Doctora en Ciencias Químicas. Es académica del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, donde trabaja en el desarrollo de nanomateriales y biomateriales para la liberación controlada de fármacos. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), Nivel 1.

La Mtra. Transito Medina es Maestra en Ingeniería, y Nanotecnóloga enfocada en biomateriales. Actualmente cursa el Doctorado en Ciencias de la UNAM, donde desarrolla investigación con énfasis en el diseño y la caracterización de nanomateriales para aplicaciones biomédicas y de liberación controlada de fármacos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

¿Alguna vez te has puesto a pensar en todo lo que ocurre después de ingerir una pastilla, aplicar una crema o recibir una inyección? ¿Has imaginado cómo es el proceso que debe seguir un medicamento para producir el efecto que esperamos? Una vez administrado, el *fármaco*, es decir, el principio activo responsable del efecto terapéutico, debe atravesar distintas barreras, llegar a los tejidos donde se necesita y alcanzar una concentración suficiente para ejercer su acción. Al mismo tiempo, el organismo puede transformarlo, distribuirlo hacia otros sitios o eliminarlo antes de que pueda actuar. Esto plantea un reto importante: desarrollar un medicamento no consiste únicamente en encontrar un fármaco capaz de actuar contra una enfermedad. También es necesario diseñar una formulación y una vía de administración que permitan que el fármaco esté disponible en la cantidad, el lugar y durante el tiempo adecuados, procurando reducir su exposición innecesaria en otros tejidos.

La historia de la medicina también ha mostrado la importancia de evaluar cómo un medicamento se comporta en el organismo. Uno de los casos más conocidos es el de la *talidomida*, utilizada a finales de la década de 1950 para aliviar las náuseas durante el embarazo. Sus graves efectos sobre el desarrollo fetal, causantes de malformaciones, pusieron de manifiesto las consecuencias de una evaluación insuficiente de la seguridad de un medicamento y contribuyeron a transformar la regulación farmacéutica. Hoy, la búsqueda de formas más controladas de administrar los fármacos reúne conocimientos de muchas disciplinas como la física, la química, la biología, la farmacología y la ciencia de materiales. De esta interacción surge la *nanomedicina* (es decir, con dimensiones del orden de los *nanómetros*, donde un nanómetro equivale a

una millonésima de milímetro), un campo que explora cómo las propiedades de los materiales a escala nanométrica pueden aprovecharse para desarrollar nuevas estrategias de diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades. En este artículo exploraremos cómo estas estrategias buscan modificar el recorrido de un fármaco dentro del organismo y qué tan cerca estamos de convertirlas en tratamientos para los pacientes.

¿Qué es la nanomedicina? La nanomedicina es un campo interdisciplinario que estudia y utiliza materiales y estructuras de dimensiones nanométricas para desarrollar estrategias de diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades. Trabajar a esta escala permite diseñar materiales cuyas dimensiones son comparables a las de algunas estructuras biológicas y aprovechar sus interacciones con las células y otros componentes del organismo. A partir de estas propiedades, se han desarrollado sistemas capaces de incorporar un fármaco y modificar su comportamiento dentro del organismo. La idea central es sencilla de explicar, aunque compleja de llevar a la práctica: *¿podemos conseguir que un fármaco llegue de manera más selectiva al sitio donde se necesita, en la cantidad y durante el tiempo adecuados?* Para acercarse a este objetivo, la nanomedicina explora sistemas que pueden proteger un fármaco durante su recorrido, favorecer su interacción con determinados tejidos o promover su liberación local.

Los sistemas de administración: ¿cómo llega el fármaco? No todos los fármacos presentan las mismas necesidades de administración. Algunos pueden ser poco solubles en agua o degradarse con facilidad; otros requieren permanecer más tiempo en el organismo o liberarse de forma gradual. En algunos tratamientos puede ser conveniente, además, administrar el fármaco directamente en el sitio donde se necesita. Para responder a estas necesidades, se han desarrollado diferentes sistemas de administración, con arquitecturas y propiedades que pueden adaptarse a cada aplicación [1]. Algunos tienen una estruc-

tura particulada, como los liposomas, las micelas y las nanopartículas poliméricas; otros forman redes, como los nanogeles y las nanofibras (Figura 1). Aunque todos pueden utilizarse para incorporar y administrar un fármaco, su estructura determina cómo lo contienen, cómo interactúan con el entorno y cómo puede liberarse.

Liposomas

Son pequeñas vesículas formadas por lípidos similares a las de las membranas celulares. Su estructura permite incorporar sustancias hidrosolubles en su región acuosa y otras moléculas poco solubles en agua en su región lipídica. Un ejemplo conocido son las *nanopartículas lipídicas*, utilizadas en algunas vacunas contra la COVID-19, que protegen el ARNm y favorecen su entrada en las células [2].

Micelas

Se forman a partir de moléculas que tienen una parte que interactúa favorablemente con el agua y otra que interactúa con las grasas. Al organizarse en agua, las partes que evitan el contacto con ella quedan orientadas hacia el interior, donde pueden alojarse moléculas poco solubles en agua.

Nanopartículas poliméricas

En estos sistemas, el fármaco puede incorporarse a una estructura polimérica. La elección del material y el diseño de la nanopartícula permiten modificar características como la cantidad de fármaco incorporado y la velocidad de su liberación. **Puntos de carbono** Los puntos de carbono son nanoestructuras basadas en carbono que pueden presentar propiedades ópticas y superficiales particulares. Su pequeño tamaño y la posibilidad de modificar químicamente su superficie han permitido explorar su uso en diagnóstico, imagen y administración de fármacos, así como en sistemas que combinan más de una función.

Hidrogeles y Nanogeles

Los *hidrogeles* son redes tridimensionales de polímeros capaces de retener grandes cantidades de agua. Cuando estas redes tienen dimensiones nanométricas se denominan *nanogeles*. Un fármaco puede incorporarse a la red y su liberación dependerá de la estructura del material y de

las condiciones del medio.

Nanofibras

En las nanofibras, el fármaco no se encuentra necesariamente dentro de una partícula aislada, sino que está incorporado en una red de fibras de diámetro nanométrico. Esta estructura puede actuar como una matriz de liberación, favoreciendo la administración localizada y prolongada del fármaco. Por ello, las nanofibras resultan especialmente interesantes para aplicaciones en las que se busca una *administración localizada*, como algunos sistemas destinados al tratamiento de lesiones o enfermedades de la piel [3]. La elección de uno u otro sistema depende del problema que se quiera resolver. *No existe un nanosistema universal*: el material, la estructura y la forma de administración deben diseñarse de acuerdo con el fármaco y con la aplicación que se busca.

¿Qué determina el comportamiento de un sistema nanométrico?

Diseñar un nanoacarreador no consiste únicamente en decidir qué material utilizar. Su tamaño, forma y características superficiales pueden influir en la manera en que interactúa con el organismo, desde su distribución y permanencia hasta su interacción con proteínas y células (Figura 2).

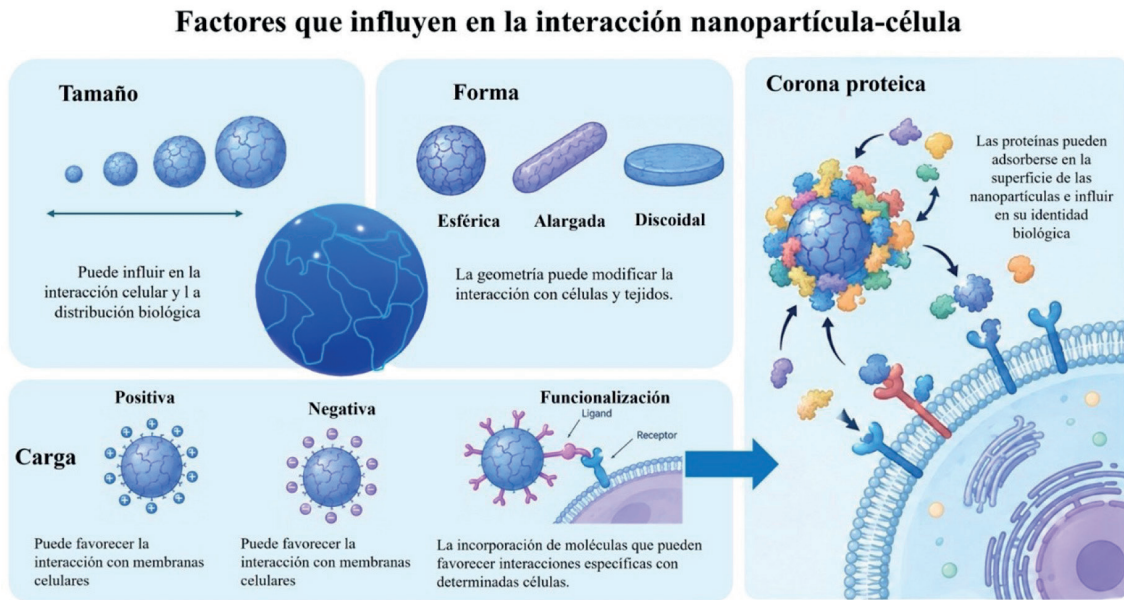


FIGURA 2. FACTORES que influyen en el comportamiento de una nanopartícula. El tamaño, la forma, la carga y las características de la superficie pueden modificar sus interacciones con el organismo. Las proteínas pueden adsorberse sobre su superficie y formar una corona proteica.

El *tamaño* puede afectar la distribución del sistema, su permanencia en circulación, su eliminación y la manera en que interactúa con las células. La *forma* también puede modificar su comportamiento, ya que una partícula esférica, alargada o discoidal puede experimentar interacciones distintas con las células y los tejidos. La *superficie* es igualmente importante. Su composición y carga pueden influir en la manera en que la nanopartícula interactúa con las proteínas y otros componentes presentes en los fluidos biológicos. Y aquí aparece un fenómeno particularmente interesante: la corona proteica. Cuando un

nanoacarreador entra en contacto con un fluido biológico, las proteínas presentes en ese medio pueden adsorberse sobre su superficie y formar una capa conocida como *corona proteica*. Esto puede modificar las características que el sistema presenta frente al organismo y, en consecuencia, influir en su distribución, reconocimiento y eliminación [4]. Por ello, un nanoacarreador diseñado en el laboratorio no necesariamente conserva exactamente la misma “identidad” al entrar en contacto con el organismo. El entorno biológico puede modificar su superficie y, con ella, su comportamiento. *Diseñar a escala nanométrica implica considerar no solo qué construimos, sino también qué ocurre con ese sistema cuando entra en contacto con un organismo.* **¿Podemos ponerle una señal?** Una de las preguntas centrales de la nanomedicina es si podemos conseguir que un sistema de administración favorezca que un fármaco llegue de modo más dirigido a las células o tejidos donde se necesita. Una estrategia consiste en modificar la superficie de un nanoacarreador e incorporar moléculas capaces de reconocer estructuras presentes en las células que se desea alcanzar.

puede conseguir dentro del organismo. Que una nanopartícula tenga un ligando no significa que llegue exclusivamente al tejido enfermo. Antes de encontrar su posible receptor, el sistema debe atravesar el medio biológico, interactuar con proteínas, distribuirse por el organismo y superar distintas barreras. Por ello, el direccionamiento activo no convierte a una nanopartícula en un pequeño misil que encuentra una célula enferma y entrega allí su contenido. Su función es más sutil: favorecer una interacción determinada dentro de un organismo complejo. Conseguir que esa selectividad se traduzca en una ventaja terapéutica real continúa siendo uno de los grandes desafíos de la nanomedicina. **¿Qué ya llegó al paciente y qué sigue en investigación?** Hablar de nanomedicina puede hacernos pensar en una tecnología que todavía pertenece al futuro. Sin embargo, algunas estrategias basadas en nanotecnología ya forman parte de los medicamentos que reciben los pacientes. Entre ellas se encuentran diferentes formulaciones liposomales, que permiten modificar la manera en que algunos fármacos se administran y se comportan en el organismo [5].

administrar los dos fármacos manteniendo definida su relación en la formulación. En el ensayo clínico que respaldó su aprobación, la supervivencia global mediana de los pacientes fue de 9.6 meses con Vyxeos frente a 5.9 meses con el tratamiento convencional con daunorrubicina y citarabina. Onivyde, por su parte, es una formulación liposomal de irinotecán. El irinotecán es un fármaco utilizado en quimioterapia y Onivyde se emplea, en combinación con otros medicamentos, para tratar determinados pacientes con adenocarcinoma metastásico de páncreas. En este caso, la incorporación del irinotecán en un liposoma modifica su comportamiento farmacológico. En pacientes cuya enfermedad había progresado después de un tratamiento basado en gemcitabina, la combinación de irinotecán liposomal con fluorouracilo y leucovorina mostró una mayor supervivencia que el fluorouracilo y la leucovorina solos [6]. Estos ejemplos muestran que la nanomedicina no representa una sola tecnología ni ofrece una única ventaja. En cada caso, la nanoformulación se diseñó para resolver un problema diferente: modificar la distribución de un fármaco, reducir algunos efectos adversos o administrar dos principios activos en una relación definida. Estos ejemplos corresponden principalmente al área del cáncer, pero la nanomedicina clínica también abarca infecciones, vacunas, enfermedades cardiovasculares, trastornos neurológicos y otras enfermedades (Figura 3).

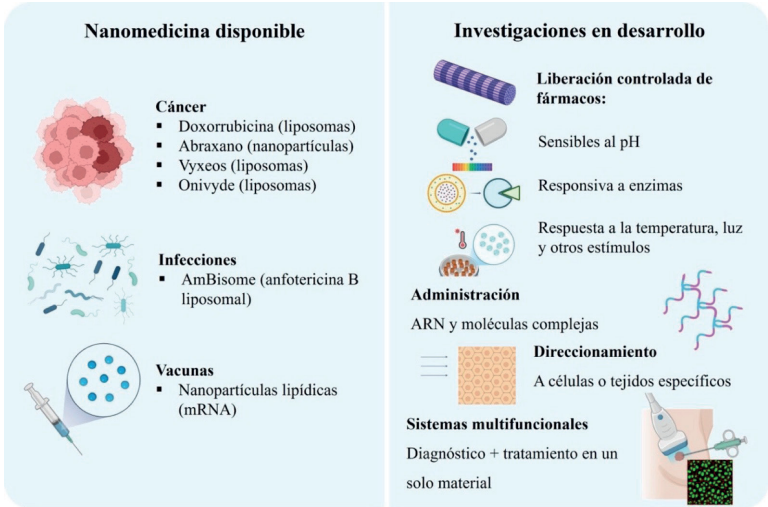


FIGURA 3. DE las aplicaciones actuales a las estrategias en investigación. La nanomedicina ya forma parte de algunos tratamientos y vacunas (izquierda), mientras que otras estrategias continúan en investigación clínica o preclínica (derecha).

Un ejemplo particularmente interesante es AuIX, una nanopartícula desarrollada en Francia que combina dos funciones: puede utilizarse para obtener imágenes mediante resonancia magnética y, al mismo tiempo, aumentar el efecto de la radioterapia. Esta tecnología ha sido evaluada en diferentes ensayos clínicos y algunos de sus estudios han avanzado hasta fase II en pacientes con cáncer. En junio de 2026, los ensayos de fase II se reanudaron en Estados Unidos. AuIX todavía no es un medicamento de uso rutinario, pero muestra cómo una tecnología nanométrica puede avanzar del laboratorio a la investigación clínica [7]. Al mismo tiempo, en los laborato-

rios se investigan nuevas estrategias para tener un mayor control sobre la administración de los fármacos. Algunas buscan que los sistemas respondan a cambios de pH, enzimas, temperatura o luz para modificar la liberación de su contenido. Otras se enfocan en administrar moléculas complejas, como ARN, o en combinar funciones de diagnóstico y tratamiento. Muchas de estas estrategias todavía deben demostrar que pueden fabricarse de manera reproducible, ser seguras y ofrecer una ventaja real frente a los tratamientos disponibles (Figura 3).

La nanomedicina también se investiga en Morelos La búsqueda de tratamientos más precisos no ocurre solamente en grandes centros internacionales. En Morelos también se desarrollan estrategias para resolver problemas relacionados con la administración de fármacos. En el Instituto de Ciencias Físicas (ICF) de la UNAM, el grupo de Biofísica ha trabajado durante más de una década en el estudio de la *anfotericina B*, un fármaco con actividad antifúngica y antiparasitaria cuyo uso puede verse limitado por su toxicidad sistémica. A partir de este trabajo se han desarrollado y patentado nuevos derivados, así como diferentes estrategias para mejorar su administración. Un ejemplo de que este problema puede abordarse mediante nanotecnología es AmBisome, una formulación liposomal de anfotericina B que ya se utiliza en pacientes (Figura 3). La estrategia que actualmente exploramos en el ICF es diferente: buscamos incorporar este fármaco

blema fundamental de la medicina: conseguir que un fármaco esté disponible en el lugar y durante el tiempo adecuados. Sin embargo, desarrollar un sistema nanométrico no garantiza por sí mismo un mejor tratamiento. Para llegar al paciente, una propuesta debe demostrar que es segura y estable, que puede producirse de manera reproducible y que ofrece una ventaja real frente a las alternativas disponibles. La nanomedicina reúne conocimientos de diferentes áreas de la ciencia para enfrentar este desafío. Más que una solución única, representa distintas estrategias para modificar la forma en que un fármaco interactúa con el organismo. La pregunta sigue abierta: ¿hasta dónde podemos controlar lo que ocurre con un fármaco después de administrarlo?

Bibliografía

1. Santillán, M. L. (2024). Nanomedicina: el futuro del control preciso de fármacos. *Ciencia UNAM-DGDC*. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/nanomedicina-el-futuro-del-control-preciso-de-farmacos/
2. Edna Vázquez Vélez, E. y A. Galván Hernández. (2022). Las nanopartículas y las vacunas contra el COVID 19, verdades y mitos. *La Unión de Morelos*, 16 de mayo de 2022. <https://acmor.org/publicaciones/las-nanopart-culas-y-las-vacunas-contr-el-covid-19-verdades-y-mitos>
3. Transito Medina, J. G., Á. Torres Islas y E. Vázquez Vélez. (2025) El futuro de la salud: nanofibras que transforman el tratamiento de enfermedades. *La Unión de Morelos*, 17 de febrero de 2025. <https://acmor.org/publicaciones/el-futuro-de-la-salud-nanofibras-que-transforman-el-tratamiento-de-enfermedades>
4. Saikia, T. (2026). Engineering the protein corona for cancer targeting: from biological obstacle to programmable delivery tool. *Bio-materials and Living Medicine for Pharmaceuticals*, 1: 100005. <https://doi.org/10.1016/j.bioliv.2026.100005>
5. Shan X, Gong X, Li J, Wen J, Li Y, Zhang Z. (2022). Current approaches of nanomedicines in the market and various stage of clinical translation. *Acta Pharm Sin B* 12(7):3028-3048. doi: 10.1016/j.apsb.2022.02.025.
6. Drozdov AS, Nikitin PI, Rozenberg JM. (2021) Systematic Review of Cancer Targeting by Nanoparticles Revealed a Global Association between Accumulation in Tumors and Spleen. *Int J Mol Sci*. 22(23):13011. doi: 10.3390/ijms222313011.
7. Lyon Entreprises. (2026). Cancer : une technologie née à Lyon relance ses essais cliniques aux Etats-Unis. <https://www.lyon-entreprises.com/actualites/article/aguix-essais-cliniques-etats-unis-cancer-lyon>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? [CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com](mailto:coord.comite.editorial.acmor@gmail.com)