

LA NANOTECNOLOGÍA MÉDICA

Ruiz-Posadas, L.M.^{1,2};
Salazar-Aguilar, S.^{1,2}

¹Programa de Botánica, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, CP. 56230. ²LPI 13: Comunidades Rurales Agrarias, Ejidos y Conocimiento Local del Colegio de Postgraduados.

Autor responsable:
lucpo@colpos.mx



RESUMEN

La nanotecnología ofrece grandes oportunidades en el tratamiento de enfermedades humanas que pueden ahorrar desde tiempo y recursos financieros, hasta incrementar notablemente la eficiencia misma del tratamiento y prevenir padecimientos a través de la detección, aun sin presentar síntomas; sin embargo, su uso debe ser monitoreado y evaluado para no rebasar los límites de la ética y los posibles efectos colaterales que pueden darse. Una de las limitantes en países menos desarrollados puede ser su acceso a un mayor número de habitantes, así como la presencia de especialistas que desarrollen investigación y aplicación de la misma.

Palabras Clave: nanomedicina, bioética, diagnóstico, salud pública.

INTRODUCCIÓN

Una enfermedad es el conjunto de trastornos psíquicos y/o fisiológicos provocados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos, y puede ser identificada y clasificada de acuerdo con signos, síntomas y/o estudios auxiliares de diagnóstico (Vélez, 2003; NOM-017-SSA2, 1994). Comprender a la enfermedad como un proceso dinámico que se inicia por el desorden de una estructura específica e individual (alteración de la estructura-función) (Núñez-Cortés y Del Llano, 2012) es uno de los principales objetivos de la salud pública, a través de observaciones e investigaciones bien diseñadas (UNAM, 2011). Tanto la salud como la enfermedad son influenciadas por factores sociales, culturales, económicos, ambientales y genéticos. Este último tiene gran importancia por su participación en enfermedades como: cáncer, diabetes, Alzheimer, artritis, enfermedades cardiovasculares y malformaciones congénitas, entre otras (Piédrola, 2002).

Importancia de la tecnología

Aunque mucho se ha hablado de que el desarrollo tecnológico afecta las relaciones médico-paciente (Moreno, 2006), es inevitable aceptar que gracias a eso los diagnósticos, tratamientos y seguimiento de las enfermedades son cada día más eficaces y seguros. Durante los últimos 30 años el desarrollo tecnológico ha permitido que los diagnósticos médicos se realicen con mayor precisión y que algunos problemas de salud se puedan detectar en etapas muy tempranas de desarrollo. De la misma manera, el tiempo en que se realizan las operaciones y que necesita el paciente para recuperarse ha disminuido notablemente. Aunado a lo anterior, el desarrollo de redes mundiales de información sanitaria y la automatización de registros permiten a los médicos mayor competitividad en el tratamiento de las enfermedades (Alfonso *et al.*, 1999). En los últimos años, con el desarrollo de la nanotecnología se han introducido nuevos métodos de diagnóstico que prometen ser menos invasivos y más precisos. De aquí que los principales objetivos de la nanotecnología médica se pueden resumir de la siguiente manera: diagnóstico y tratamiento temprano de enfermedades desde el interior del organismo, así como el monitoreo de las funciones biológicas a escala celular, molecular y atómica, con el fin de preservar la salud y bienestar del ser humano (Clavijo *et al.*, 2008).

Diagnóstico

El diagnóstico temprano se logra gracias al uso de aparatos a nano escala que permiten a los médicos especialistas identificar la presencia de enfermedades, incluso si los pacientes no presentan ningún síntoma; de esta manera, los tratamientos pueden ser menos largos y más exitosos. Las imágenes obtenidas mediante fluoroscopia, puntos cuánticos (constituidos por cristales semiconductores que brillan o fluorescen cuando reciben luz láser), resonancia magnética, cámaras gama y ecografía presentan mejor resolución, gracias al uso de nanopartículas como las superparamagnéticas de óxidos metálicos de hierro

y cobalto, usadas como agentes de contraste (Brewer *et al.*, 2007; Castagnino, 2008; Clavijo *et al.*, 2008), lo que permite observaciones en diferentes planos para realizar la detección y el monitoreo preciso del desarrollo de enfermedades y de la liberación y acción de algunos fármacos.

Otro gran avance en la medicina es la mayor sensibilidad de los aparatos utilizados para realizar diagnósticos, ya que gracias a ello el tamaño de las muestras para las pruebas ha disminuido y el tiempo de espera es menor, lo que ha incrementado la precisión de los mismos. En la actualidad existe una gran cantidad de enfermedades que tienen repercusión en la salud pública; es decir, padecimientos que presentan alto impacto en la salud colectiva (Cuadro 1), tales como: diabetes mellitus, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y diferentes tipos de cáncer.

En este contexto, la nanotecnología se vislumbra como una herramienta muy importante para reducir el número de fallecimientos ya que, al diagnosticarse a tiempo, es decir, en etapas tempranas del desarrollo de la enfermedad, el tratamiento que se proporcione al paciente será mucho más efectivo.

Cuando existe una enfermedad se presentan cambios metabólicos que producen moléculas que pueden ser identificadas como características de ciertos desórdenes fisiológicos; a estas sustancias se les conoce como marcadores y pueden afectar las funciones celulares, la transducción de señales y hasta el ciclo celular. Para

Cuadro 1. Estimación de muertes a nivel mundial en países en desarrollo en 2008 (World Health Organization, 2011)

Causa	Número estimado de muertes (millones)	Total de muertes (%)
Cardiopatía isquémica	7.25	12.8
Afección cerebrovascular	6.15	10.8
Infecciones de las vías respiratorias inferiores	3.46	6.1
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	3.28	5.8
Enfermedades diarreicas	2.46	4.3
VIH/SIDA	1.78	3.1
Cáncer de tráquea, bronquios o pulmón	1.39	2.4
Tuberculosis	1.34	2.4
Diabetes mellitus	1.26	2.2
Traumatismos por accidentes de tráfico	1.21	2.1

realizar diagnósticos efectivos se realiza la producción de instrumentos a nanoescala que pueden atravesar los vasos sanguíneos y circular por todo el cuerpo, de tal manera que podrán identificar los marcadores relacionados con la enfermedad específica. A estos dispositivos se les da el nombre de “laboratorio en un chip”; entre sus aplicaciones se incluyen la detección de microorganismos, el monitoreo de metabolitos en líquidos corporales, y la detección de patología tisular, como el cáncer (Cuadros *et al.*, 2009; De Silva, 2007; Zuo *et al.*, 2007).

Terapias

Con la información recabada, se pasa de inmediato al tratamiento de la enfermedad, que en la mayoría de los casos consiste en sistemas de liberación controlada que actúan en estructuras celulares específicas del cuerpo humano y que tienen mayor biodisponibilidad (Munoa, 2009). Para esto se utilizan nanoestructuras transportadoras del fármaco, como nanopartículas, implantes activos, dendrímeros, liposomas, microgeles, nanoemulsiones, nanotubos, e ingeniería tisular (Figura 1). Cuando los bio

receptores han reconocido el sitio de acción (se reconoce el marcador), se produce una reacción que propicia el inicio de la liberación controlada del fármaco (Brewer *et al.*, 2007; De Silva, 2007; Irache, 2008; Lechuga, 2011; Lollo *et al.*, 2011).

En el caso del tratamiento del cáncer, enfermedad que hasta la fecha es la responsable de millones de muertes a nivel mundial, los tratamientos actuales se limitan a radiación, quimioterapia y operaciones altamente invasivas que consisten en la extirpación de zonas del cuerpo que, por su tamaño, en ocasiones conllevan consecuentemente a una alteración de la salud integral del paciente, quien necesitará de apoyo psicológico para poder reincorporarse a su actividades cotidianas. Una de las principales dificultades se presenta con el uso de la quimioterapia (administración de compuestos citotóxicos), que pueden ocasionar problemas orgánicos diversos debido a la inespecificidad de los químicos administrados, ya que no sólo atacan a las células cancerígenas, sino que debilitan grandemente al sistema inmunológico (Blasco e Inglés, 1997).

Para estos pacientes la nanotecnología médica ofrece alternativas, como el uso de nanopartículas y nanotubos magnéticos que se colocan en las células y que, por exposición a un campo magnético alterno, se calientan y alcanzan temperaturas entre 40 y 45 grados Celsius (°C), provocando la muerte de las células cancerosas (Jordan *et al.*, 1999). El uso de nanomedicamentos de liberación controlada es otra de las opciones que ya se está manejando, lo que ayuda a reducir tanto la dosis administrada como la toxicidad producida, debido a que se fabrican con materiales biodegradables (Oropesa y Jáuregui, 2012).



Figura 1. La elaboración de nanopartículas como portadores de fármacos, será de suma utilidad para tratar la enfermedad en el lugar donde se desarrolla.

Es un hecho que gracias a la nanotecnología de materiales las características de las superficies se están mejorando enormemente, los aparatos e implantes introducidos al cuerpo humano tendrán mayor durabilidad, mejor biocompatibilidad y funcionamiento (lo que podrá incrementar el tiempo necesario para cambiarlo), y serán de menor tamaño, en caso de así requerirlo. Es muy importante su papel en la medicina regenerativa, ya que se pueden construir matrices estructuradas que sirvan de soporte para el desarrollo de tejidos. Estas matrices tienen el potencial de interactuar con componentes celulares y dirigir la proliferación, la diferenciación celular y la organización de la matriz extracelular (Mejias *et al.*, 2009); además, la encapsulación previa al trasplante brinda mayor probabilidad de éxito para la permanencia del tejido u órgano trasplantado (Santana, 2012).

Perspectivas

Se podrá consolidar la medicina personalizada y realizar el diagnóstico de enfermedades, incluso antes de que se manifiesten síntomas, además de seleccionar el tipo y dosis del medicamento que se administre con base en el estado general del paciente y, quizá, las visitas a los consultorios médicos serán cada día menos frecuentes, ya que se podrán realizar de manera remota a través de la conexión de un “laboratorio en chip” (Figura 2).

Se está trabajando en la posibilidad de condensar el ADN en nanopartículas que podrán ser ingresadas a las células con la finalidad de liberarlo en el núcleo. El objetivo de esto es la liberación de genes funcionales que podrán corregir trastornos genéticos como la hemofilia, la fibrosis quística y la distrofia muscular (Zuo *et al.*, 2007).

Otro aspecto relevante será la elaboración de nanovacunas que promuevan la captación del antígeno por las células presentadoras del antígeno que modularán la respuesta inmune, representando ventajas sobre las terapias tradicionales, al igual que la terapia génica que trata de inducir la expresión de una proteína terapéutica o, en caso contrario, suprimir la de una aberrante para la terapia de cáncer y diabetes mellitus (Lollo *et al.*, 2011).

En cuanto al tratamiento del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA), la terapia actual se basa en la administración de agentes antirretrovirales que no curan la enfermedad; sin embargo, se ha creado una vacuna *ex vivo* que



Figura 2. Con el tiempo, y gracias a la nanomedicina personalizada, las visitas a los consultorios médicos se harán menos frecuentes.

busca su remisión y que está diseñada para incrementar la respuesta inmune celular del *tipo Th1* específica del antígeno en personas portadoras (Nátz y Lisiewicz, 2012).

Otro avance importante se refiere al control del sangrado (Figura 3), para lo que se pueden utilizar soluciones nanohemostáticas, manteniendo la integridad de las células vecinas y, por lo tanto, que se acelere el proceso de regeneración (Clavijo *et al.*, 2008).

Todo lo anterior ayudará a que el control y tratamiento de las enfermedades sea más efectivo y con una notable reducción de efectos secundarios que muchos otros tratamientos convencionales provocan en el paciente (Mejias *et al.*, 2009).



Figura 3. El tratamiento de heridas será más eficaz con el uso de soluciones nanohemostáticas

Puntos a discusión

A pesar de que la nanotecnología se ha presentado como la panacea de este siglo como una herramienta que ayudará a resolver prácticamente todos los problemas, uno de los asuntos más discutidos gira alrededor del impacto que pueda tener en los sectores más pobres de los países en desarrollo. La polémica entre la dignidad humana y la justicia social inicia con la siguiente pregunta: ¿Estarán éstas tecnologías médicas al alcance de los sectores de la población con pocos ingresos económicos?

Para evitar desigualdad, la práctica de la nanotecnología médica o nanomedicina debe estar dirigida por una ética que considere el principio de equidad en el acceso a los procedimientos nanomédicos (Bawa y Johnson, 2007; Álvarez-Díaz, 2011; Cárdenas-Morales *et al.*, 2011). Replanteamientos en la ética médica son importantes, ya que se manejará mucha información que debe ser cuidadosamente transmitida al paciente y a sus familiares (Figura 4).

¿Qué tanto es bueno saber?

¿Cómo se manejará la información obtenida?

Los nanoaparatos utilizados en el diagnóstico de enfermedades permitirán recoger un gran volumen de datos individuales, por lo que se debe garantizar la confidencialidad de los mismos (Bawa y Johnson, 2007).

Por lo tanto, la nanomedicina busca el bienestar del paciente mediante la detección temprana de enfermedades, un tratamiento menos traumático y un resultado clínico exitoso; sin embargo, será deber de todo profesional de la salud explicar adecuada-

mente al público los beneficios y los riesgos que el uso de esta nanotecnología conlleva (Bawa y Johnson, 2007; Castro, 2012).

Debido a que la terapia nanomédica implica el uso de dispositivos muy pequeños (nanopartículas, liposomas, nanotubos, etcétera), existe la posibilidad de que atraviesen la barrera hematoencefálica o entren fácilmente en las células y que, a largo plazo, ocasionen un daño en los tejidos sanos, ya que no existe un seguimiento de su comportamiento hasta el momento (Álvarez-Díaz, 2011; Bawa y Johnson, 2007).

Otro punto es el replanteamiento de la definición de las palabras enfermedad y salud, ¿desde qué nivel de complejidad (atómico, molecular, celular, genético) se podrá decir que la persona está enferma? (Bawa y Johnson, 2007). No se debe olvidar la situación socioeconómica de algunos países, ya

que para los más pobres el desarrollo de nanotecnología constituye un gran inconveniente, pues la inversión que representa es muy alta, aunado al hecho de que no sólo debe invertirse en el desarrollo tecnológico *per se*, sino en la capacitación de personas que puedan desarrollarla y manejarla.

CONCLUSIONES

El hecho de que los científicos e investigadores no estén acostumbrados a trabajar de manera interdisciplinaria, aunado a la poca vinculación entre los centros de investigación, universidades, industria, Estado y población, es sólo parte del problema. En México, un indicador fehaciente de ello es el bajo número de patentes registradas, lo que no es de extrañar si tomamos en cuenta que para 2011 sólo se invirtió 0.68% del Producto Interno Bruto (PIB) en los sectores de investigación y desarrollo, siendo que el Banco Mundial recomienda que los países deberían destinar entre 1 y 1.5% del PIB al desarrollo de ciencia y tecnología (Záyago-Lau y Foladori, 2010; Foladori e Invernizzi, 2006).



Figura 4. El manejo adecuado de la información recabada deberá ser regulado por códigos de ética médica.

La situación actual en muchos países en desarrollo hace que la aplicación práctica de los avances nanotecnológicos en medicina sea muy difícil debido a su alto costo. Además, se deberán implementar políticas y regulaciones para que se realice un monitoreo para conocer el destino, permanencia y consecuencias que las aplicaciones nanotecnológicas tienen en el ser humano y en el ambiente. De lo anteriormente expuesto, el apoyo para el desarrollo de centros de investigación nanotoxicológica que analicen desde distintas perspectivas los riesgos y ventajas reales de la nanotecnología, resulta una tarea preponderante (Álvarez-Díaz, 2011; Cárdenas-Morales *et al.*, 2011).

LITERATURA CITADA

- Alfonso S.I.R., Báez R.M., Tillán G.S., Alvero P.Y. 1999. Reflexiones: información, tecnología y salud. *Revista Cubana de Medicina General Integral*. versión On-line ISSN 1561-3038. 15(5).
- Álvarez-Díaz J. 2011. Retos de la Bioética en la Medicina del XXI. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 28(4): 657-63.
- Bawa R., Johnson S. 2007. Dimensiones éticas de la nanomedicina. *Medical Clinics of North America* 91:881-887.
- Blasco T., Inglés N. 1997. Calidad de vida y adaptación a la enfermedad en pacientes de cáncer durante el tratamiento de quimioterapia. *Anuario de Psicología*. Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona. 72(8):1-90
- Brewer M., Zhang T., Dong W., Rutherford M., Tian R. 2007. Futuros abordajes de la nanomedicina en la ciencia clínica. *Medical Clinics of North America* 91:963-1015.
- Castagnino J.M. 2008. Proteómica Y Nanotecnología. Editorial. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 42 (1): 1-3
- Cárdenas-Morales B., Cid-Velasco M. del C., Silva-García A. 2011. Implications Bioethics de la Nanobiotecnología y la Nanomedicina. En *Actas del VIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Bioética*. Bioética global, y debates al inicio y fin de la vida en Latinoamérica. Santiago de Chile. 17-24.
- Castro F. 2012. IX Encuentro Internacional de Intelectuales y Artistas en Defensa de la Humanidad. Panel: "Ciencia como paradigma de cultura?". *Nanotecnología, Cultura y Sociedad: Ética y Desarrollo Sostenible*. Río de Janeiro, Brasil. 25 p.
- Clavijo G.D., García G.A., Alfonso C.C. 2008. Nanotecnología en el diagnóstico y tratamiento médico. *Universidad de Medicina*. Bogotá (Colombia), 49 (3): 388-398
- Cuadros C.M., Llanos M.A., Villegas P.R. 2009. Nanotecnología en Medicina. Informe de síntesis de tecnología emergente. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía. (Colección: Informes, estudios e investigación. Ministerio de Sanidad y Política Social. Serie: Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias) 48 p.
- De Silva M.N. 2007. Nanotecnología y Nanomedicina: un nuevo horizonte para el diagnóstico y tratamiento médico. *Archivo de la Sociedad Española de Oftalmología*. 82:331-334.
- Foladori G., Invernizzi N. 2006. La nanotecnología: una solución en busca de problemas. *Comercio Exterior*. 56(4): 326-334.
- Irache J.M. 2008. Nanomedicina: nanopartículas con aplicaciones médicas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 31(1):7-10.
- Jordan A., Scholz R., Wust P., Fahling H., Roland F. 1999. Magnetic fluid hyperthermia (MFH): Cancer treatment with AC magnetic field induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 201:413-419
- Lechuga G.L. 2011. La revolución de la Nanomedicina. Grupo de Nanobiosensores del Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (CIN2: CSIC-ICN) y CIBER-BBN en Nanomedicina. *Sedisa* 5:38-43
- Lollo G., Rivera R.G., Torres D., Alonso M.J. 2011. Nanoterapias oncológicas: aplicaciones actuales y perspectivas futuras. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 77(4):76-98
- Mejias Y., Cabrera N., Toledo A.M., Duany O.J. 2009. La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico. *Revista Cubana de Salud Pública*. 35(3):1-9.
- Moreno R.M.A. 2006. Ética, tecnología y clínica. *Revista Cubana de Salud Pública*. Versión on-line ISSN 0864-346632(4).
- Munoa J.L. 2009. Nuevas cuestiones de Ética Médica. *Eguzkilore* 23:151-157.
- Nátz E., Lisziewicz J. 2012. Perspectivas de curación: DermaVir, una vacuna de ADN con efecto terapéutico contra el VIH/sida y desarrollada racionalmente. *Actualizaciones en SIDA*. Buenos Aires. 20(76): 38-47
- Norma Oficial Mexicana, NOM-017-SSA2. 1994, Para la vigilancia epidemiológica. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Salud.
- Núñez-Cortés J., Del Llano J.E. 2012. Ser Médico Los valores de una profesión. Unión Editorial. Universidad Complutense Madrid. Cátedra de educación Médica Fundación Lilly. España. 385 p.
- Oropesa Núñez R., Jáuregui-Haza U.J. 2012. Las nanopartículas como portadores de fármacos: características y perspectivas. *Revista CENIC de Ciencias Biológicas*. 43(3). Versión on line ISSN: 2221-2450
- Piédrola G. 2002. La salud y sus determinantes. En: *Medicina preventiva y salud pública*. 10ª edición. Masson:Barcelona. pp 1-12.
- Santana H.S.R. 2012. Aplicaciones de la nanotecnología en medicina regenerativa. *Revista de Química de la Universidad Pablo de Olavide*. 6: 117-119
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2011. Cáncer: Investigaciones de la UNAM. Boletín Informativo de la Coordinación de la Investigación Científica. *El Faro la luz de la ciencia* 3:124-125.
- Vélez L.A. 2003. Ética Médica. Interrogantes acerca de la medicina, la vida y la muerte. Corporación para investigaciones biológicas. Medellín, Colombia. p 58.
- World Health Organization. 2011. The top 10 causes of death. Documento electrónico. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/index.html>
- Záyago-Lau E., Foladori G. 2010. La nanotecnología en México: Un desarrollo incierto. *Economía, Sociedad y Territorio*. 10(32):143-178
- Zuo L., Wenchi W., Michael M., Jinchi W., Mikhail G., Chimimg W. 2007. Nuevas tecnologías y aplicaciones clínicas de la nanomedicina. *Medical Clinics of North America* 91:845-861.