Descargado el: 18-11-2026 ISSN 1727-897X

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Aproximación a las mediciones a nivel nano, con énfasis en la biomedicina

Approach to measurements at the nano level, with an emphasis on biomedicine

Ernesto José López González[1] Yolanda Cabrera Macías[1] Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez[2] Marle Pérez de Armas[3] Ernesto López Cabrera[4]

[1] Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos, Cuba
[2] Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba
[3] Universidad Carlos Rafael Rodríguez de Cienfuegos, Cuba
[4] Hospital Pediátrico Universitario Paquito González Cueto, Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

Cómo citar este artículo:
López-González E, Cabrera-Macías Y, Escoriza-Martínez T, Pérez-de-Armas M, López-Cabrera E. Aproximación a las mediciones a nivel nano, con énfasis en la biomedicina. **Medisur** [revista en Internet]. 2023 [citado 2026 Nov 18]; 21(4):[aprox. 13 p.]. Disponible en: https://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/5693

Resumen

Este artículo pretende alertar acerca de la relevancia de las nanociencias y la nanotecnología acompañada por la nanometrología para el desarrollo de las naciones en el siglo XXI. Se utilizó SciElo como base de datos, con las palabras clave: nanotecnología, nanomedicina, unidades de salud cubanas. El artículo realiza una aproximación a la nanotecnología con enfoque internacional y regional. Describe algunas aplicaciones de las nanotecnologías, con énfasis en la nanomedicina, así como los dilemas y consideraciones éticas asociadas a estas. Advierte acerca de la nocividad para la salud del hombre de algunos de estos desarrollos. Defiende la idea de que la nanometrología, resulta imprescindible para el logro de desarrollos tecnológicos, con mayor relevancia en el campo de la nanomedicina, así como que la nanotecnología debe ser tratada como la ciencia del siglo XXI por el impacto social, cultural y económico que tendrá, y con esto puede cambiar al mundo.

Palabras clave: nanociencias, nanotecnología, nanometrología, nanomedicina

Abstract

This article aims to alert about the relevance of nanosciences and nanotechnology accompanied by nanometrology for the nations development in the 21st century. Scielo was used as a database, with the keywords: nanotechnology, nanomedicine, Cuban health units. The article makes an approach to nanotechnology with an international and regional approach. It describes some applications of nanotechnologies, with an emphasis on nanomedicine, as well as the dilemmas and ethical considerations associated with them. It advises about these developments' harmfulness to human health, also defends the idea that nanometrology is essential for the technological developments achievement, with greater relevance in the nanomedicine field, as well as that nanotechnology should be treated as the 21st century science due to the social, cultural and economic impact that will have, and this can change the world.

Key words: nanosciences, nanotechnology, nanometrology, nanomedicine

Aprobado: 2023-04-06 11:48:10

Correspondencia: Ernesto José López González. Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos. Cuba. asesorf@ucm.cfg.sld.cu

INTRODUCCIÓN

La materia se agrupa de la manera más cómoda posible, y la manera más cómoda es una estructura regular. Los aparatos de análisis modernos han podido hacer visibles estos componentes de la materia viva, enormemente complejos, a una escala nanométrica.[1]

El principal desarrollo de la nanomedicina se remonta hacia el año de 2009; sin embargo, la idea de la nanotecnología se originó en el año de 1959 cuando Richard Phillips Geyman, explicó la hipótesis de manipular átomos directamente y las posibilidades que esta capacidad ofrecería;[2] no obstante, lo que abrió la puerta al desarrollo de la nanociencia fue el microscopio de efecto túnel en la década de los 80 con el cual se obtuvo por primera vez la visualización y manipulación de objetos de tamaño nanométrico.[3] En consecuencia, Schulenburg expresa que "¡Había sonado la hora de la nanotecnología!".[1]

Terrones[4] explica que en el siglo XX los científicos trabajaban de manera unidisciplinaria. En sus finales, universidades europeas, de los Estados Unidos, de Japón, entre otras, se dieron cuenta de que había que fomentar la ciencia como una actividad multidisciplinaria. Uno de los temas que más promete como actividad multidisciplinaria es el que concierne al término nanociencia, tan utilizado actualmente. La nanociencia consiste en la capacidad de controlar átomos y moléculas para formar nuevas estructuras y nuevos materiales de acuerdo con necesidades específicas. El prefijo nano se refiere a escalas de tamaño mil millones más pequeñas que las que se observan a simple vista ($1x10^{-9}$m). La aplicación de la nanociencia es tratada en la literatura científica como nanotecnología.

Las nanotecnologías son consideradas tecnologías clave de los inicios del siglo XXI, cuyas aplicaciones podrían impactar en numerosos ámbitos de la vida cotidiana.[5,6] Se erigen prioritarias en agendas y políticas de investigación e innovación en numerosos países industrializados,[7] y en vías de desarrollo.[8]

Se puede considerar que el núcleo cultural de la nanotecnología radica en la fusión de nuevos conceptos y nuevas arquitecturas (frecuentemente inspirados en sistemas naturales y biológicos), con nuevos materiales (en la mayoría de los casos operacionales o diseñados apropiadamente a nanoescala) y nueva fabricación y manipulación, nuevos procesos e instrumentos de medición a nanoescala. Este enfoque tan complejo permite desarrollar disciplinas totalmente diferentes. Además de la investigación básica de los fenómenos cuánticos fundamentales, la nanotecnología impulsa otras ramas fundamentales y aplicadas.[9,10] La nanomedición y la nanometrología, que en parte pertenecen a la ingeniería mecánica, desempeñan un papel muy importante en los procesos de control en toda la nanotecnología.[11]

DESARROLLO

Nanometrología. Consideraciones necesarias

Aublant,[12] explica que en las ciencias físicas, el primer paso esencial hacia el aprendizaje de cualquier tema consiste en encontrar los principios, el cálculo numérico y los métodos prácticos para medir cierta cualidad relacionada con ese tema.

Simultáneamente, Afjehi-Sadat[11] declara que, por ejemplo, la industria basada en la nanotecnología requiere una instrumentación que sea tan exacta, barata y fiable como sea posible y que se asocie con las normas internacionalmente aceptadas. Los fabricantes, las autoridades públicas y las organizaciones no gubernamentales también demandan métodos de prueba y muestreo, mediciones e instrumentaciones, regulaciones y normas para evitar que los seres humanos padezcan por este nuevo desarrollo nanotecnológico. En cualquier caso, la medición y la caracterización son necesarias en la fase superior de cualquier proceso. Con respecto a las nanotecnologías, donde todo se realiza a nanoescala sin importar la esfera en cuestión (física, química, biología, mecánica, diagnóstico médico, etc.), ha quedado demostrado rápidamente que existe un gran avance en las capacidades de medición e instrumentación para probar los materiales y los fenómenos, lo que trae como resultados

Afjehi-Sadat[11] defiende la idea de que los ensayos mecánicos a micro y nanoescalas constituyen todo un reto. En vista de que las dimensiones físicas de las muestras varían desde unos pocos cientos de micrómetros hasta algo tan pequeño como 1,0 nanómetro, se han desarrollado métodos novedosos de ensayos mecánicos para medir con éxito sus propiedades. Las muestras de ese tamaño se dañan fácilmente

con la manipulación y resulta difícil colocarlas para garantizar una carga uniforme a lo largo de los ejes de las muestras. También resulta difícil fijarlas a los sujetadores de los instrumentos. Resulta evidente que las pruebas adolecen de una resolución de carga inadecuada y también tienen fórmulas de reducción de datos que son hipersensibles para precisar las mediciones dimensionales.

Afjehi-Sadat[11] aclara que junto a las disciplinas y las magnitudes físicas tradicionales, tales como la longitud, la masa, el magnetismo, etc. existen nuevos requisitos tecnológicos para caracterizar los nanomateriales debido a las nuevas propiedades que se manifiestan cuando los materiales tienen una o más dimensiones de nanoescala,. Esto puede concernir, por ejemplo, a la forma, el volumen, el área de superficie, la topografía, la adsorción, la porosidad, la resistividad, la resiliencia y la fuerza. Y por último, pero no menos importante, todas las mediciones deben ser trazables en cierta forma al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Aproximación a la nanotecnología

Enfoque internacional

Según Terrones,[4] alrededor del mundo se está invirtiendo gran cantidad de recursos económicos para desarrollar la nanociencia y la nanotecnología. En el año 2000, los Estados Unidos crearon una iniciativa para apoyar este campo del conocimiento científico, con una asignación de 500 millones de dólares sólo en ese año; así, en 2005 ese país invierte alrededor de 800 millones de dólares anuales. Sumas similares dedican la Comunidad Europea y Japón. Mientras que China y la India ya han comenzado a desarrollar esta nueva área del conocimiento activando recursos y políticas gubernamentales con la finalidad de estar preparados para lo que se ha denominado “la segunda revolución industrial”.

Sin embargo, en opinión de Saldívar,[13] la falta de regulación de las nanotecnologías y sus derivados puede ser una barrera para su desarrollo y comercio a nivel mundial en general. No obstante, existe la regulación blanda (reglas voluntarias explícitas con un carácter no vinculante, una forma de autorregulación, una alternativa a las leyes y políticas regulatorias de comando y control tradicionales, complementaria a la normativa existente, en ocasiones se vuelven obligatorias y/o modifican las expectativas de lo que es un comportamiento apropiado) encontrándose entre sus modalidades: recomendaciones o guías, protocolos, convenciones etc. Ante la diversidad de productos y aplicaciones, retos, e intereses que rodean la nanotecnología y sus derivados, es necesario que se adopten estilos más incluyentes y flexibles y que se hable de una gobernanza, donde los distintos actores: gobiernos, empresarios, científicos, trabajadores, consumidores, ciudadanos y voceros ambientales deliberen y decidan cómo gestionar y controlarlos en beneficio común.

En el orden de las ideas anteriores, luego de una síntesis del panorama general global de las nanotecnologías, resultaría oportuno acercarse al mundo nano en la región latinoamericana.

Breve mirada al panorama nano en América Latina

Invernizzi y Vinck,[8] explican que muchos de los temas abordados desde los estudios sociales de la nanotecnología en América Latina, son prácticamente los mismos que se discuten en Europa y Estados Unidos, tales como la construcción de redes de cooperación y plataformas tecnológicas, las relaciones entre la investigación y la industria, la aceptación social y el debate público, etc. Sin embargo, los trabajos latinoamericanos muestran interesantes especificidades, resultantes de las condiciones particulares de la región, que generan, al mismo tiempo, análisis diferentes frente a preocupaciones similares. Tales diferencias no se explican solamente por condiciones recurrentes en los países de América Latina –como la pobreza, el analfabetismo o la falta de inversiones e infraestructura–, sino también por la forma particular en que estos países se inscriben en la división internacional del trabajo científico,[14] y del desarrollo industrial,[15] así como por la escasez de instrumentos financieros capaces de influir en las tendencias mundiales. En el orden de las ideas anteriores, se necesita exponer ejemplos de las actividades de algunas naciones de la región en el ámbito nanotecnológico.

Argentina

Los trabajos de Matthieu,[16] en Argentina, ponen en evidencia el doble proceso, científico y político de la nanociencia y la nanotecnología como temática prioritaria. A nivel científico, se identifican varios mecanismos que, combinados, producen la (re)orientación de las agendas de

investigación hacia la nanociencia y nanotecnología. A nivel político, se distinguen instrumentos que permiten la institucionalización de la nanociencia y nanotecnología en Argentina.

Además, aunque esos instrumentos de política promueven desde 2003 (sobre todo a partir de 2009) el fortalecimiento de las relaciones entre ciencia e industria, el impacto socio-económico de ese conjunto de nuevas tecnologías parece todavía lejos de las expectativas y de la inversión masiva de fondos públicos en este campo.

Sin embargo, Spivak y Hubert,[17] opinan que los instrumentos de política producen cambios sensibles en las comunidades científicas involucradas (por la estructuración temática que esos instrumentos permiten o facilitan) –y probablemente, en las trayectorias individuales de los investigadores que se involucran en esas temáticas.

Por otro lado, Matthieu[16] afirma que las disciplinas y especialidades preexistentes conservan su importancia y, tanto en Argentina como en otros países, el desafío de las investigaciones en nanociencia y nanotecnología es más bien crear nuevos subcampos (como la nanomedicina, por ejemplo) o integrar avances científicos y técnicos en las disciplinas y especialidades preexistentes (las técnicas de nanoscopía, por ejemplo), fundirlas en un campo unificado (como lo sugiere la idea de "convergencia").

Andrini y Figueroa,[18] dan a conocer que en noviembre de 2004, en Buenos Aires, se llevó a cabo la reunión "Ciencia, Tecnología y Sociedad", promovida por la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC) y la Sociedad Brasilera para el Progreso de las Ciencias (SBPC). Más adelante, Salvarezza et al.[19] expresan que como resultado del debate, se decidió "proponer a las autoridades argentinas y brasileñas la creación de un Centro Binacional de Nanociencia y Nanotecnología". En el mismo sentido, la Nación.com,[20] asevera, que más adelante se firma un acuerdo de cooperación entre los dos países.

Consecuentemente, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) [21] abrió la convocatoria para la presentación de proyectos para las siguientes áreas: sustentabilidad de la producción agropecuaria y forestal; tecnologías biomédicas; recursos del mar y de la zona costera; nanotecnologías; energía; contaminación ambiental; aeronáutica; estado y sociedad. El resultado fue la asignación de 3.553.982 pesos argentinos (23 % del total de fondos asignados) para subsidiar los cuatro proyectos de Nanociencia y Nanotecnología (NyN) presentados todos en el área de vacancia tipo II 5.

Venezuela

López, Hasmy & Vessuri[22] explican que en Venezuela, la RedVnano ha logrado identificar los temas más estudiados por sus miembros, siendo las más demandadas las áreas de energía (producción de celdas solares basadas en nanodispositivos; sistemas de almacenamiento de hidrógeno de nanotubos de carbono y medios porosos; nanocatálisis para la bioremediación de crudo), alimentos (materiales porosos nanoestructurados para el suministro y dosificación eficiente de agua y fertilizantes de cultivos; nanobiosensores para detectar antígenos y patógenos contaminantes; cultivos genéticamente modificados), salud (nanomateriales para dirigir fármacos a órganos específicos del cuerpo; modelaje teórico y computacional para el diseño de nuevos fármacos; puntos cuánticos para el diagnóstico de enfermedades), medio ambiente (nanodispositivos para la separación de gases contaminantes; nanocatalizadores para mayor eficiencia y control de conversores catalíticos; zeolitas; polímeros nanoporosos; nanopartículas magnéticas y membranas para la purificación, desalinización y desintoxicación de aguas), y otras áreas como nanocircuitos para la industria electrónica de procesadores, discos duros y lectores de memoria; estructuras moleculares para asfalto y concreto robustos a la filtración de agua; materiales nanoestructurados más resistentes y duraderos para la industria de la construcción, transporte y metal-mecánica en general; métodos estandarizados para control de calidad de bienes y servicios. Concluyen, acerca de las capacidades científico-técnicas en nanociencia y nanotecnología, que Venezuela tiene una base de investigadores pequeña cuya producción de proyectos, informes técnicos y trabajos de ascenso es incipiente y dispersa, y las líneas de investigación obedecen a iniciativas de los investigadores, cuyas líneas de trabajo no necesariamente están vinculadas a las necesidades del país, en parte porque dependen de la colaboración internacional para acceder a la infraestructura necesaria. Sin embargo, la consolidación del programa interinstitucional de postgrado permitirá incrementar de manera

sustancial la formación de personal calificado.

México

Dentro del ámbito de las nanomediciones, González et al.,[23] consideran que las mediciones siempre han sido una herramienta fundamental en el desarrollo sustentable en la aplicación de las tecnologías, particularmente de las nuevas. El Programa de Metrología para las Nanotecnologías del Centro Nacional de Metrología de México (CENAM), está orientado a contribuir con la componente metrológica estableciendo métodos y patrones de medida para los diferentes usuarios, desde la metrología primaria, los laboratorios de calibración y ensayos y la industria; su éxito depende del compromiso del estado para aprovechar los beneficios de las nanotecnologías a plenitud de una manera sustentable que proteja el ambiente y la salud de la sociedad mexicana.

Por otra parte, Delgado et al.,[24] opinan que el potencial que tiene la nanociencia y la nanotecnología (NyN) para prevenir, diagnosticar y tratar la enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2 en sus diversas variantes, pero también otras enfermedades, la hace un área no solo relevante sino estratégica para México, sobre todo, dada su dependencia a la importación de insumos, fármacos, instrumental y equipo médico. Es también una oportunidad para avanzar aún más en materia de normalización y regulación, así como para propiciar mejores prácticas de investigación, docencia, administración y gestión institucional.

En opinión de Saldívar,[25] se debe desarrollar en México una adecuada plataforma para conformar una política pública en materia de N+N, es decir un plan nacional de NT y una ley de nanoseguridad que aporten al desarrollo sustentable, responsable y seguro de N+N. De esta manera, el Estado mexicano estaría desarrollando una respuesta no solo a su obligación de proteger a sus ciudadanos, sino a las voces de otros actores que demandan certidumbre, orden y seguridad en el desarrollo y despliegue de la NT y el uso de sus derivados.

En el mismo orden de ideas anteriores, Arteaga et al.,[26] expresan que, actualmente, las nanotecnologías son aplicadas al sector energético en México, desde la Investigación y Desarrollo (I+D) hasta las patentes y dispositivos en el mercado, y explican que entre 2000 y 2019 se han realizado 82 publicaciones, así como que existen proyectos de investigación en más de 50 centros públicos; asimismo, hay empresas nacionales e internacionales que patentan y ofrecen productos nanohabilitados para la generación, almacenamiento y distribución de energía. Sin embargo, actualmente no se cuenta con una estrategia nacional sobre nanotecnologías en el país.

De igual forma, Sampedro et al.,[27] realizan un estudio en México para explicar los mecanismos de coordinación institucional entre la creación de conocimiento y su movilización hacia un ámbito de aplicación en el campo denominado nanomedicina catalítica, para resolver heridas crónicas de pacientes con diabetes, y concluyen que existen brechas y rigidez en los mecanismos de coordinación institucional para la creación de conocimiento y su movilización hacia un ámbito de aplicación concreto.

Según Valdez et al.,[28] el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en cooperación con el Centro de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala (CITLAX) desarrollan un filtro para hemodiálisis, a partir de un nanocompuesto de Nylon 6 con la incorporación de nanopartículas de grafeno y carbon black (negro de humo), siendo este un gran avance en comparación con los filtros comunes.

Por otro lado, López[29] encuentra que sistemas como las nanopartículas lipídicas sólidas, nanopartículas, micelas, nanoemulsiones y ciclodextrinas, son capaces de mejorar la biodisponibilidad de la curcumina (fórmula famacéutica utilizada para el tratamiento de enfermedades inflamatorias, metabólicas, neurológicas, alteraciones en la piel, diferentes tipos de cáncer) en humanos y modelos animales.

Cuba

Ting et al.,[30] explican que en Cuba se trabaja en el desarrollo de equipos y metodologías para la caracterización de materiales nanométricos para la industria biotecnológica (encapsulamiento de fertilizantes y factores de crecimiento agrícola, con experimentos en hortalizas, método para purificar el agua mediante materiales zeolíticos, entre otros).

Por su parte, Clavijo et al.[31] expresan que, en Cuba, la administración central del Estado, creó el Grupo Ad-Hoc sobre Seguridad de las Nanociencias y la Nanotecnología para la Salud, la Alimentación y el Medio Ambiente, con los

objetivos de realizar la introducción de las regulaciones y desarrollo de buenas prácticas, normas de laboratorio, sistemas de protección y otros establecidos al nivel internacional, en los respectivos campos de aplicación, a fin de minimizar los impactos negativos de la nanotecnología, así como identificar experiencias nacionales y regulaciones afines existentes que puedan servir de base al establecimiento de un sistema regulatorio y guías para el trabajo seguro en nanotecnología.

En el mismo orden de ideas, López[32] explica que en Cuba, desde el año 2001, se realizan talleres de nanociencias y nanotecnología, y se trabaja en el Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) sobre este tema que resulta estratégico para el país. Así, Castro Díaz-Balart,[33] explica que Cuba avanza no solo en el estudio de la nanotecnología, sino en su aplicación en la producción biofarmacéutica. El Polo Científico y la Industria farmacéutica, son organizaciones empresariales, de alta tecnología y productividad, con una calificada fuerza laboral. Continúa López[32] enunciando, además, que el Observatorio Iberoamericano de Ciencia y Tecnología reconoce a Cuba en un lugar destacado respecto a la producción de artículos científicos. Así, se realizaron dos eventos de obligatoria referencia: La Conferencia Internacional, bajo el rubro Ciencia de los Materiales en la Era de la Sostenibilidad, y el V Seminario Internacional sobre Nanociencias y Nanotecnologías celebrados ambos en 2015.

El Centro de Estudios Avanzados (CEA), realiza investigaciones de alto nivel científico en el campo de las nanociencias, en especial sus aplicaciones a las ciencias de la vida. Entre las líneas de trabajo se pueden mencionar "Nuevos materiales y formulaciones" (producto o adquisición de conocimiento en la rama biomédica; estudios de toxicidad y biodistribución de nanoformulaciones en modelos de animales) y "Materiales Multifuncionales" (obtención de nanomateriales que presentan diversas propiedades, denominándose materiales multifuncionales, los cuales son utilizados para disimiles aplicaciones). Sus principales líneas de investigación están relacionadas con nuevos sistemas de administración controlada de fármacos, nanorecubrimientos con propiedades multifuncionales, nanopartículas con propiedades superparamagnéticas; obtención de nuevos materiales basados en estructuras poliméricas cargadas con nanomateriales compuestos para ser aplicados como recubrimientos en disímiles ramas de la vida como son la obtención de superficies resistentes a la erosión o el diseño de superficies capaces de apantallar la radiación infrarroja o de microondas; obtención de nanomateriales multifuncionales para aplicaciones que van desde la purificación de aguas contaminadas con metales pesados, hidrocarburos o compuestos radiactivos, hasta el diseño de materiales compuestos capaces de purificar a ADN. Entre los principales servicios que presta pueden mencionarse microscopia electrónica de barrido; microscopia de fuerza atómica; microscopia óptica; difracción de rayos X; fluorescencia de rayos X; espectrofluorímetro; espectrofotómetro Raman; espectrofotómetro UV-Vis; espectrometría infrarroja de Fourier; espectrometría de absorción atómica; cromatografía líquida de alta resolución (HPLC); cromatografía de líquidos con espectrómetro de masas (HPLC-MS). Se destaca como su producto de mayor relevancia el sistema de extracción magnética de ARN a partir de muestras biológicas (CEA-NANO+ RNA3.0; es el primer producto nanotecnológico 100 % cubano).[34]

Aplicaciones

Navarro,[35] opina que la nanotecnología y los nanomateriales pueden aplicarse en todo tipo de sectores. Normalmente se encuentran en estas áreas:

Nanomateriales

En el ámbito de los nanomateriales, un equipo de investigadores aprovechó la luz solar para purificar el agua. Utilizando un "gel jerárquicamente nanoestructurado" aprovecharon la energía solar para destilar agua a un ritmo récord de 18-23 litros por hora y por metro cuadrado.

Ingeniería mecánica

Afjehi-Sadat,[11] defiende la idea de que una de las áreas de la nanotecnología más importantes, la constituye la ingeniería mecánica. La nanoproducción, la nanofabricación y la nanomecanización permiten desarrollar y construir nuevas máquinas e instrumentos para las aplicaciones de la nanotecnología.

Electrónica

Los nanotubos de carbono están cerca de

reemplazar al silicio como material para fabricar microchips y dispositivos más pequeños, rápidos y eficientes, así como nanocables cuánticos más ligeros, conductivos y fuertes. Las propiedades del grafeno lo convierten en un candidato ideal para el desarrollo de pantallas táctiles flexibles.

Energía

Navarro,[35] asegura la existencia de un nuevo semiconductor que permite fabricar paneles solares que duplican la cantidad de luz solar convertida en electricidad. La nanotecnología también reduce los costos, produce turbinas eólicas más fuertes y livianas, mejora la eficiencia del combustible y, gracias al aislamiento térmico de algunos nanocomponentes, puede ahorrar energía.

Biomedicina

Cancino et al.,[3] explican que la definición más aceptada actualmente de nanomedicina, es aquella que la considera como la ciencia que emplea nanomateriales para el desarrollo, diagnóstico, tratamiento y prevención de aplicación médica específica; esta definición fue establecida por el National Institute of Health of the United States y la European Science Foundation.

Martínez et al.[36] consideran que la nanomedicina se aplica en tres áreas principales: el nanodiagnóstico, la liberación controlada de fármacos o nanoterapia y la nanomedicina regenerativa. Relacionado con lo anterior, explican que el nanodiagnóstico se refiere a la identificación de enfermedades en sus estados iniciales en el nivel celular o molecular mediante la utilización de nanodispositivos y sistemas de contraste. Una identificación temprana permitiría una rápida capacidad de respuesta y la inmediata aplicación del tratamiento adecuado, ofreciendo así mayores posibilidades de curación.

Duncan y Gaspar,[37] enuncian que la nanoterapia es parte de la nanomedicina, y consistente en la creación de nanosistemas que contengan elementos de reconocimiento para actuar, transportar y liberar medicamentos solo dentro de las células o áreas afectadas, esto con el fin de conseguir un tratamiento más efectivo y minimizar los posibles efectos secundarios. Busca diseñar y aplicar los diferentes nanomateriales que puedan identificar diferentes patologías y éstas liberen moléculas terapéuticas simultáneamente y de una forma controlada para que así estas puedan calmar estas enfermedades. Explican que, en general, los sistemas de liberación se han desarrollado para cambiar la vía de administración a favor del paciente, mejorar la biodisponibilidad, innovar en el perfil de liberación o mejorar una formulación para una nueva presentación y línea de venta.

En contraste con lo anterior, Maity y Stepensky[38] explican que la nanomedicina cambia este paradigma y propone que estos sistemas deben ser desarrollados para identificar los sitios blancos desde un órgano, una célula, un compartimiento celular o incluso un organelo. Sin embargo, Rojas et al.[39] consideran que los sistemas y las tecnologías que se han utilizado para la construcción de nanosistemas de liberación de fármacos son muy diversos.

Echevarría[40] considera que la nanomedicina regenerativa se ocupa de la reparación o sustitución de tejidos y órganos dañados mediante la aplicación de métodos procedentes de la terapia génica, la terapia celular, la dosificación de sustancias bioregenerativas y la ingeniería de tejidos, para estimular los propios mecanismos reparadores del cuerpo humano. Por otro lado, Martínez et al.[36] explican que la idea de esto es diseñar estructuras apropiadas para favorecer el crecimiento de tejidos en las zonas dañadas, así como la producción y organización de la matriz extracelular. No obstante, una de las principales dificultades radica en el encontrar materiales adecuados que permitan la fabricación de estructuras que mantengan activo el órgano afectado mientras se regenera la zona dañada. Entre los materiales más utilizados resaltan los nanotubos de carbono, nanopartículas como hidroxiapatita o zirconio, las nanofibras de polímeros biodegradables, nanocompuestos, entre otros.

Hernando et al.[41] opinan que se han descubierto diversos usos que puede tener la nanomedicina para el tratamiento de diferentes enfermedades, como el Alzheimer y el Parkinson. El uso de nuevas moléculas como factores de crecimiento, antioxidantes y quelante de metales (sustancia que forma complejos con iones de metales pesados), se han manifestado como nuevos enfoques terapéuticos. Sin embargo, estas moléculas tienen dificultades para atravesar la barrera hematoencefálica (BHE), lo que limita su efecto terapéutico. El desarrollo de sistemas de suministro de fármacos nanométricos puede permitir una liberación dirigida y sostenida de tratamientos que ofrecen una forma innovadora

para tratar estos trastornos neurodegenerativos.

Mazur et al.[42] dan a conocer que otras de las enfermedades en las que se ha buscado emplear el uso de la nanomedicina es en el cáncer de cerebro; esta es una enfermedad con un alto grado de riesgo de morir y para la cual no existen terapias para poder combatirla debido a la BHE dicha anteriormente, aunque actualmente hay una posibilidad de realizar usos terapéuticos contra el cáncer gracias a las nanopartículas que tienen la capacidad de pasar las barreras fisiológicas; estas incluyen tratamientos por liposomas pegilados (medicamento que se emplea en el tratamiento de la hepatitis B crónica y la hepatitis C crónica) dirigidos al glutationa (antioxidante que participa en la inhibición enzimática, reducción de ROS e inactivación de xenobióticos, controla la permeabilidad de la membrana y el transporte de aminoácidos), por nanopartículas de oro y de óxido de hierro, así como fármacos con albumina unida con nanopartículas. Además de que se ha investigado una proteína llamada survivina que también tiene el potencial como terapia contra el cáncer.

Srikanth et al.,[43] agregan que son evidentes los diferentes avances que ha tenido la nanotecnología para tratar diversas enfermedades, entre los que se encuentran las aplicaciones de nanopartículas magnéticas (MNP), que tiene diversas modalidades como los agentes fototérmicos o quimioterapéuticos, los antimicrobianos y los biosensores, por sus propiedades de estabilidad y biocompatibilidad, entre otras. Se han investigado y desarrollado diversas modalidades de las MNP con respecto a la imagen, como la resonancia magnética y la tomografía computarizada; estas modalidades se encuentran en pruebas clínicas y se utilizaràn en entornos médicos.

Sabu y Pramod,[44] agregan que, entre otros tratamientos donde se utilizan los avances de la nanotecnología se encuentra la administración de insulina oral, pues las nanopartículas poseen ventajas como son el acceso a pequeñas zonas de la célula o la resolución en volúmenes pequeños del componente analito (componente de interés analítico de una muestra que se separa de la matriz); esta terapia es muy eficiente al momento de tratar la diabetes. Como algunos de los avances más recientes de la administración de insulina nanoestructurada, las nanopartículas cristalinas líquidas, los hidrogeles con impresión molecular, los transportadores a base de lípidos, los transportadores poliméricos, las nanopartículas de sílice, las nanopartículas de óxido de hierro y las nanopartículas de oro, estas dos últimas se utilizan para tratar el cáncer cerebral. Algunos de los avances en que se pueden hablar a detalle son las nanopartículas de polímero biomimético molecularmente impreso (MIP) que actúan como una forma potencial de sistema de administración de insulina oral debido a la selectividad de la impresión al polímero, mientras que las nanopartículas cristalinas líquidas actúan como estructura termodinámicamente estable en la administración de insulina

Así, Martínez et al.,[36] añaden que, otros temas interesantes son los que involucran el tratamiento de ataques hemorrágicos e isquémicos o las aplicaciones de la nanomedicina para cirugías plásticas y reconstructivas, pero son temas que se extienden demasiado y que todavía están en etapas muy tempranas de su desarrollo, pero que en un futuro se verá su implementación en entornos clínicos.

En otro orden de ideas, Olalla[45] explica que las bacterias multirresistentes (ejemplo: grupo ESKAPE, compuesto por bacterias de alta prioridad declaradas por la Organización Mundial de la Salud, OMS) están aumentando su capacidad de resistencia y son necesarios fármacos de última generación para tratarlas. La aplicación de nuevas tecnologías con aplicaciones bactericidas como la nanotecnología, el empleo de bacteriófagos o el uso del sistema CRISPR-Cas, pueden permitir la implantación de nuevos tratamientos no dependientes de antibióticos o usarse para eliminar la resistencia de las mismas. Luego, Lima et al.,[46] expresan que el uso de nanomateriales con antibióticos puede potenciar su eficacia mejorando sus propiedades como biodisponibilidad y velocidad de absorción, ayudando en el transporte del antibiótico al interior celular. Esta última utilización podría aplicarse para ayudar en el método de transporte del sistema CRISPR-Cas antes mencionado. También pueden ayudar a la acción del antibiótico atacando conjuntamente a la bacteria, mediante la utilización de nanopartículas metálicas para atacar funciones celulares y debilitar la célula. El problema de la aplicación de esta tecnología es su potencial tóxico para el uso en tratamientos de infecciones y la falta de estudios al respecto.

Por otro lado, Navarro[35] expresa que los investigadores han podido examinar la eficacia

de una vacuna de nanopartículas para la gripe con éxito en el ensayo clínico en la temporada de gripe (2019-2020). Tal vez se puedan utilizar formulaciones similares con diferentes antígenos para desarrollar vacunas potentes contra otros virus, como el coronavirus.

Medio ambiente

La purificación del aire con iones, la purificación de las aguas residuales con nanoburbujas o los sistemas de nanofiltración para metales pesados son algunas de sus aplicaciones respetuosas con el medio ambiente. También se dispone de nanocatalizadores para hacer las reacciones químicas más eficientes y menos contaminantes. [35]

Alimentos

En este campo, los nanobiosensores podrían utilizarse para detectar la presencia de patógenos en los alimentos o los nanocompuestos para mejorar la producción de alimentos y aumentar la resistencia mecánica y térmica, disminuyendo la transferencia de oxígeno en los productos envasados.[35]

Textil

La nanotecnología permite desarrollar tejidos inteligentes que no se manchan ni se arrugan, así como materiales más resistentes, ligeros y duraderos para fabricar cascos de motocicleta o equipos deportivos.[35]

Informática y aplicaciones computacionales

Cheang[47] opina que la progresión de crecimiento exponencial de la densidad de transistores, en un circuito integrado o un microprocesador de computadora, actualmente, parece indicar que la ley de Moore pasó de ser una profecía autocumplida por la industria microelectrónica a una obligación que los fabricantes de semiconductores deben de cumplir para poder vender sus productos a precios más competitivos.

Según Navarro,[35] el estudio de la disipación del plasmón a través del grafeno, esboza parámetros específicos que son responsables de la transmisión de señales ópticas a escala nanométrica, algo muy importante para los científicos que buscan mejorar los procesos de transferencia de datos de las tecnologías de sensores.

En opinión de los autores de este trabajo, más allá de la investigación y del medio empresarial, la nanociencia y la nanotecnología penetran de forma más amplia en la sociedad y lo hacen, en buena medida, a través de los medios de comunicación.

Dilemas y consideraciones éticas asociadas al nanomundo

Losego y Arvanitis[48] opinan que al igual que otras revoluciones tecnológicas, la nanotecnología traerá emparejadas, sin duda, transformaciones económicas y sociales, tales como una nueva división internacional del trabajo, cambios en la estructura industrial y reorganizaciones en el empleo. Ya se discute el surgimiento de nuevos riesgos para la salud y el ambiente asociados a los procesos y productos de la nanotecnología. Se redimensionan los dilemas éticos ante las nuevas posibilidades de control social y de las libertades individuales, los nuevos umbrales de intervención tecnológica en los seres humanos y el uso de la nanotecnología para la guerra.

En opinión de Serena,[49]la nanotecnología forma parte de las herramientas de las que disponen los seres humanos para enfrentar los mayores problemas como especie: el cambio climático, el deterioro del planeta y las grandes desigualdades sociales, creados por una inadecuada forma del crecimiento socioeconómico. En estos momentos la estrategia consensuada para abordar este reto está definida por la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y basa su planificación en el cumplimiento de los denominados Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Deben implementarse los adecuados sistemas de gobernanza y desenvolverse de forma rápida y sin mucho margen para el error.

Por otro lado, Rubio[50] explica que los problemas éticos que plantean las aplicaciones de la nanotecnología en la atención a la salud son numerosos: la confidencialidad de los datos personales, la transparencia en la información sobre los posibles riesgos y la inequidad en el acceso a las nuevas posibilidades diagnósticas y terapéuticas, con el consecuente incremento en la brecha entre ricos y pobres. La lectura de aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud, ha supuesto un despertar del interés y la curiosidad por la materia, y es también motivo de inquietud y preocupación. La necesidad de hacer un llamamiento a la

responsabilidad moral de cada individuo se hace imperativa, pues la responsabilidad derivada de su acción alcanza su propio entorno, y de este entorno depende su propia existencia.

Pinceladas acerca de la nocividad de la nanotecnología

De Jong y Borm[51] explican que algunos científicos han expresado su preocupación acerca de los efectos a largo plazo asociados con las aplicaciones médicas de las nanotecnologías y de si los materiales nanoestructurados serían biodegradables o no. Además, el hecho que las partículas sean del tamaño de los componentes naturales o de algunas proteínas sugiere que se pudiesen evadir las defensas naturales del cuerpo humano y de otras especies, que causen daño a sus células. Ya se han reportado efectos negativos de algunas nanoestructuras como aparición de radicales libres, debido a partículas de dióxido de titanio/óxido de zinc usadas en filtros solares; respuestas tóxicas en pulmones de ratas, mayores que las producidas por polvos de cuarzo, en estudios de laboratorio con la utilización de nanotubos; comprobación de movimientos de nanopartículas de oro desde la madre hasta el feto a través de la placenta; daño al cerebro de peces y modificación de funciones de los genes causados por fullerenos (forma alotrópica del carbono, en la cual los átomos del elemento se enlazan formando una superficie esférica o cilíndrica. Una de las propiedades de esta configuración atómica es que pueden transportar átomos en su interior, formando una especie de caja transportadora).

Por otro lado, Guerrero et al.,[52] consideran que no se conocen en su totalidad los posibles mecanismos de acción inducidos por las nanopartículas (NPs) en el organismo. La nanotoxicología actual se centra en esclarecer posibles efectos nocivos de las NPs y sus mecanismos patogénicos a través de estudios *in vitro*, estudios de toxicodinámica y estudios *in vivo*. La exposición al rutilo (TiO2) conduce a daño del ADN, lipoxidación lipídica y formación de micronúcleos.

Farrás y Senovilla[53] enuncian que se han descrito efectos tóxicos, teratógenos, cancerígenos en modelos animales relacionados con las NPs, pero las cantidades de exposición empleadas en los ensayos de toxicidad pueden exceder con mucho las de exposición a nivel natural.

De igual forma, Echevarría[40] explica que el principal mecanismo subyacente al desarrollo de patologías relacionadas con la exposición a las NPs es el estrés oxidativo, dando lugar a la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que promueven procesos inflamatorios, daño tanto del ADN como a nivel de membranas, desnaturalización de proteínas, alteración del tráfico vesicular y daño mitocondrial, generando en última instancia la muerte celular.

Así, Zúñiga et al.,[54] explican que, de las NPs de sílice y con el amianto es bien conocida su capacidad de provocar enfermedades como la fibrosis o el cáncer. El dióxido de silicio (SiO2) se ha asociado a problemas como la trombosis, isquemia o la arritmia cardiaca, así como a problemas pulmonares y cáncer de pulmón. Los nanotubos de carbono igual que las NPs de metales tienen tendencia a acumularse en hígado y bazo, órganos muy sensibles al estrés oxidativo, lo que puede traducirse en lesiones inflamatorias y alteraciones de la actividad hepática. El negro de carbón, se encuentra asociado frecuentemente a fibrosis pulmonar y las partículas ultrafinas (PUFs) se relacionan con problemas de tipo coronario e infarto de miocardio.

Los autores de este trabajo afirman que, el conocimiento actual sobre el efecto toxicológico de muchas de las NPs es insuficiente.

Mirada al futuro no lejano. Retos

A continuación, algunos ejemplos de desarrollos de la nanotecnología que actualmente se encuentran en fase de prueba y no han sido generalizados: detector nanotecnológico para ataques cardíacos; nanomaterial a partir de silicio negro efectivo contra una serie de bacterias Gram-negativas y Gram-positivas, así como contra endosporas; baterías 3-D miniatura con «tintas», capaces de funcionar como materiales electroquímicamente activos; microrobot guiado magnéticamente diseñado para ser incrustado en el ojo humano y realizar cirugías de precisión o para desplegar cantidades precisas de fármacos; chips superflexibles que pueden rodear una hebra de cabello; electrodos biodegradables; introducción de pequeñas partículas de aleación de oro en el torrente sanguíneo y en las células cancerosas, donde pueden ser calentadas para matarlas; alcoholímetro de nanotecnología que puede detectar los niveles de acetona en el aliento, el cual está teorizado para correlacionarse con los niveles de glucosa en la sangre.[35]

Finalmente, los autores de este trabajo coinciden plenamente con los criterios de Navarro,[36] quien concluye que la nanotecnología es una vasta disciplina científica que abarca muchas áreas, en la cual se han dado grandes pasos y «avances» en todas sus facetas. De la misma manera, comparten opinión con Cheang,[47] quien expresa que la nanotecnología debe ser tratada como la ciencia del siglo XXI, la cual traerá innumerables desarrollos en la industria electrónica, de la información, en aplicaciones médicas, industriales y medioambientales. La misma abre el camino a la próxima revolución industrial. El impacto social, cultural y económico que tendrá en la vida diaria es imaginable; la nanotecnología bien puede cambiar al mundo.

Se puede concluir que se necesita enfatizar en que la nanometrología resulta imprescindible para el logro de todos estos desarrollos tecnológicos, con mayor relevancia en el campo de la nanomedicina, debido al impacto que tienen en la salud del hombre. Esto corrobora el indetenible desarrollo de las mediciones a nivel nano en la centuria corriente.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Ernesto José López González, Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez, Marle Pérez de Armas, Yolanda Cabrera Macías.

Redacción: Ernesto José López González, Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez, Marle Pérez de Armas, Yolanda Cabrera Macías, Ernesto López Cabrera.

Revisión, redacción y edición: Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez, Marle Pérez de Armas.

Financiación

Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos. Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Schulenburg M. La nanotecnología. Innovaciones para el mundo del mañana. Comisión Europea [Internet]. Berlin: Forschung BMBF; 2004. [cited 4 Jul 2022] Available from: http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php.

2. Closa D. Nanomedicina [Internet]. Barcelona: RBA Libros, S.A; 2019. [cited 4 Jul 2022] Available from: https://www.agapea.com/Daniel-Closa/Nanomedicina-9788491873419-i.htm.

3. Cancino J, Marangoni VS, Zucolotto V. Nanotecnología em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações. Química Nova. 2017 ; 37 (3): 521-6.

4. Terrones H. Nanociencia y nanotecnología en México. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas [revista en Internet]. 2005 [cited 20 Jun 2021] ; 8 (1): 50-1. Available from: https://www.redalyc.org/pdf/432/43200806.pdf.

5. Roco M, Bainbridge W. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology. Information Technology and Cognitive Science. Dordrecht Kluwer [revista en Internet]. 2003 [cited 20 Jun 2021] ; 34: [aprox. 30p]. Available from: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/bioecon23SUPPNSF-NBIC.pdf.

6. Arnall A, Parr D. Moving the Nanoscience and Technology (NST) Debate Forwards: Short-Term Impacts, Long-Term Uncertainty and the Social Constitution. Technology in Society. 2005 ; 27: 23-38.

7. Schummer J. The Global Institutionalization of Nanotechnology Research: A Bibliometric Approach to the Assessment of Science Policy. Scientometrics. 2007 ; 70 (3): 669-92.

8. Invernizzi N, Vinck D. Nanociencias y nanotecnologías en América Latina. El desafío de articular la variedad de los estudios sociales sobre las nanociencias y nanotecnologías. Redes. 2009 ; 15 (29): 43-7.

9. Bhushan B. Handbook of Nanotechnology [Internet]. Switzerland: Springer Nature; 2010. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-02525-9.

10. Gazso A, Gressler S, Schiemer F. Nano – Chancen und Risikin aktueller. Technologien.

2007 ; XIV: 246-63.

11. Afjehi-Sadat A. Nanometrología en la nanotecnología y necesidad de desarrollar normas apropiadas. Boletín Científico Técnico INIMET [revista en Internet]. 2008 [cited 23 Dic 2021] ; 2: 1-6. Available from: https://www.redalyc.org/pdf/2230/223015192002.pdf.

12. Aublant J. Nanotechnologies: Metrology and the challenge of the nanoscale. ISO Focus. The Magazine of the International Organization for Standardization. 2007 ; 4 (4): 12-9.

13. Saldívar L. Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. Rev Mundo Nano. 2020 ; 13 (24): 1e-27e.

14. Kreimer P. ¿Dependientes o integrados? La ciencia latinoamericana y la división internacional del trabajo. Nomadas-clacso [revista en Internet]. 2006 [cited 23 Dic 2021] ; 24: [aprox. 9p]. Available from: https://www.redalyc.org/pdf/1051/105116598017.pdf.

15. Díaz E, Texera Y, Vessuri H. La ciencia periférica, Caracas, Monte Ávila. Estudios sociológicos. 2005 ; 3 (9): 595-600.

16. Matthieu H. La emergencia de la nanociencia y nanotecnología en Argentina [Internet]. Berlin: Researchgate.net; 2016. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.researchgate.net/publication/335207543_La_emergencia_de_la_nanociencia_y_nanotecnologia_en_Argentina.

17. Spivak A, Hubert M. Movilidad científica y reflexividad. De cómo los desplazamientos de los investigadores modelan modos de producir conocimientos. REDES. 2012 ; 18: 85-111.

18. Andrini L, Figueroa F. El impulso gubernamental a las nanociencias y nanotecnologías en Argentina [Internet]. Berlin: Researchgate.net; 2019. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.researchgate.net/publication/334469041_El_impulso_gubernamental_a_las_nanociencias_y_nanotecnologias_en_Argentina.

19. Salvarezza R, Pinto de Melo C, Alves O. Por un centro binacional Argentina-Brasil de nanociencia y nanotecnología [Internet]. Buenos Aires: CONICET; 2012. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.conicet.gov.ar/centro-argentino-brasileno-de-nanociencias-y-nanotecnologia-convocatoria-para-la-participacion-en-escuela-2012/.

20. UNCUYO. Investigadores argentinos y brasileños suman fuerzas [Internet]. Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo; 2004. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.uncuyo.edu.ar/prensa/la-nacion-investigadores-argentinos-y-brasilenos-suman-fuerzas.

21. Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Programa de Áreas de Vacancia. Convocatoria PAV [Internet]. Buenos Aires: ANPCyT; 2004. [cited 12 Dic 2021] Available from: http://www.agencia.secyt.gov.ar/convocatorias/documentosconvocatorias/pav2004_in.

22. López S, Hasmy A, Vessuri H. Nanociencia y Nanotecnología en Venezuela [Internet]. Berlin: Researchgate.net; 2012. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.researchgate.net/publication/316270709_Nanociencia_y_Nanotecnologia_en_Venezuela.

23. González N, Nava H, Lazos RJ. Retos de la metrología en México para tecnologías emergentes: la nanotecnología [Internet]. México, DF: Centro Nacional de Metrología; 2014. [cited 20 Dic 2021] Available from: https://scholar.google.es/scholar?start=10&q=NanotecnologiaMexico.

24. Delgado GC, Zanella R, Cota L, López R. Impacto de la pandemia COVID-19 en la investigación y docencia en las nanociencias y la nanotecnología en México. Rev Mundo Nano. 2021 ; 14 (27): 1e-19e.

25. Saldívar L. Recomendaciones de política pública de nanociencia y nanotecnología en México: privilegiar el bienestar humano y ambiental. Rev Mundo Nano. 2022 ; 15 (28): 1e -23e.

26. Arteaga ER, Záyago E, Foladoric G. Nanotecnologías para la energía en México: revisión de publicaciones científicas, patentes y empresas. Rev Entreciencias. 2020 ; 8 (22): 1-21.

27. Sampedro JL, Ortega D, Torres A. Arreglos institucionales y movilización del conocimiento

en el campo emergente de la nanomedicina catalítica. Rev Entreciencias. 2020 ; 8 (22): 1-18.

28. Valdez J, Andrade M, Cabello C, Reyes P, Ávila C, Cadenas G, et al. Nuevo filtro para hemodiálisis altamente efectivo con nanotecnología [Internet]. México: Plastic Tehcnology; 2020. [cited 23 Dic 2021] Available from: https://www.pf-mex.com/articulos/nuevo-filtro-para-hemodialisis-altamente-efectivo-con-nanotecnologia-.

29. López AM. Uso de la nanotecnología para optimizar la biodisponibilidad de curcumina [Tesis]. Zacatenco: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Zacatenco. Departamento de Farmacología; 2020. [cited 12 Dic 2021] Available from: https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3435.

30. Ting G, Chang CH, Wang HE, Lee TW. Nanotargeted radionuclides for cancer nuclear imaging and internal radiotherapy. J Biomed Biotechnol [revista en Internet]. 2010 [cited 23 Dic 2021] Available from: http://www.hindawi.com/journals/biomed/2010/953537/.

31. Clavijo D, García GA, Mejía O, Ruiz A, García A, Casadiego C, et al. La frontera entre la biología molecular y la nanotecnología: impacto en la medicina. Latreia. 2007 ; 20 (3): 297-307.

32. López IC. Nanotecnología, un viaje alucinante. Rev Tino [revista en Internet]. 2021 [cited 23 Dic 2021] ; 54: [aprox. 5p]. Available from: https://revista.jovenclub.cu/nanotecnologia-un-viaje-alucinante-nanotechnology-an-amazing-journey/page/27/.

33. Castro Díaz-Balart F. Ciencia, innovación y futuro. La Habana: Ediciones Especiales; 2002.

34. Centro de Estudios Avanzados. Investigación y desarrollo [Internet]. La Habana: CEA; 2021. [cited 15 Dic 2021] Available from: https://www.cea.cu/investigacion.

35. Navarro R. 10 avances de la Nanotecnología que debes conocer 2021-2030 [Internet]. Alburquerque: Nanova.org; 2021. [cited 15 Dic 2021] Available from: https://nanova.org/avances-de-la-nanotecnologia/.

36. Martínez A, Tirado J, Villalpando D, Villapudua G. Nanomedicina desde una perspectiva tecnológica. Revisión de literatura. RITI. 2020 ; 8 (16): 2387-93.

37. Duncan R, Gaspar R. Nanomedicine(s) Under the Microscope. Molecular Pharmaceutics. 2011 ; 8 (6): 2101-41.

38. Maity AR, Stepensky D. Delivery of drugs to intracellular organelles using drug delivery systems: Analysis of research trends and targeting efficiencies. International Journal Pharmaceutics. 2015 ; 496 (2): 268-74.

39. Rojas Y, Aguado K, González I. La nanomedicina y los sistemas de liberación de fármacos: ¿la revolución de la terapia contra el cáncer?. Educación Química. 2016 ; 27 (4): 286-91.

40. Echevarría F. Retos de este siglo: nanotecnología y salud. Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter [revista en Internet]. 2013 [cited 20 Dic 2021] ; 29 (1): [aprox. 9p]. Available from: http://www.revhematologia.sld.cu/index.php/hih/article/view/18.

41. Hernando S, Gartziandia O, Herrán E, Pedraz JL, Igartua M, Hernández RM. Advances in nanomedicine for the treatment of Alzheimer's and Parkinson's diseases. Nanomedicine. 2016 ; 11 (10): 1-19.

42. Mazur J, Roy K, Kanwar JR. Recent advances in nanomedicine and survivin targeting in brain cancers. Nanomedicine. 2017 ; 13 (1): 105-37.

43. Srikanth NV, Singh S, Karakoti AS. Magnetic Nanoparticles: Current Trends and Future Aspects in Diagnostics and Nanomedicine. Current Drug Metabolism. 2019 ; 20 (6): 457-72.

44. Sabu C, Pramod K. Advanced Nanostructures for Oral Insulin Delivery. In: Daima H, Navya PN, Shivendu R, Dasgupta S, Lichtfouse E, editors. Nanoscience in Medicine. Berlin: Springer Link; 2020. p. 187-212.

45. Olalla A. Revisión bibliográfica: Bacterias multirresistentes [Tesis]. Coruña: Universidad de Coruña. Facultad de Ciencias; 2021. [cited Dic 22] Available from: https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/29265.

46. Lima R, Sá Del F, Balcão VM. Prospects of the

use of new technologies to combat multidrug-resistant bacteria. Frontiers in Farmacology [revista en Internet]. 2019 [cited 20 Dic 2021] ; 10: [aprox. 9p]. Available from: https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/31293420/.

47. Cheang JC. Ley de Moore, nanotecnología y nanociencias: síntesis y modificación de nanopartículas mediante la implantación de iones. Revista Digital Universitaria [revista en Internet]. 2005 [cited 23 Dic 2021] ; 6 (7): [aprox. 8p]. Available from: http://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art65/int65.htm.

48. Losego P, Arvanitis R. La ciencia en los países no hegemónicos. Revue d'anthropologie des connaissances. 2008 [cited 21 Dic 2021] ; 2 (3): [aprox. 8p].

49. Serena PA. Buscando la sostenibilidad: el encaje de la nanotecnología. Encuentros Multidisciplinares [revista en Internet]. 2021 [cited 21 Dic 2021] ; 23 (69): [aprox. 8p]. Available from: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8196142.

50. Rubio B. Aspectos éticos de la nanotecnología en la atención de la salud. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana; 2018.

51. De Jong WH, Borm PJ. Drug delivery and nanoparticles: Applications and hazards. Int J Nanomedicine [revista en Internet]. 2008 [cited 19 Dic 2021] ; 3 (2): [aprox. 16p]. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2527668/.

52. Guerrero Ballester Y. Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud. Evento Científico AMBIMED [Internet]. Granma: Facultad de Ciencias Médicas de Bayamo; 2021. [cited 19 Dic 2021] Available from: https://ambimed2021.sld.cu/index.php/ambimed/2021/paper/download/436/110.

53. Rosell Farràs MG, Pujol Senovilla L. Riesgos asociados a la nanotecnología [Internet]. Madrid: Fundación Mapfre. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 2008. [cited 19 Dic 2021] Available from: https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/en/media/group/1046774.do.

54. Zúñiga R, Blamey B, Mosquera E, Ahumada L. Estudio exploratorio de higiene industrial en ambientes de trabajo donde se producen o utilizan nanopartículas. Rev Cienc Trab [revista en Internet]. 2013 [cited 23 Dic 2021] ; 15 (48): 124-30. Available from: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-24492013000300004.