

Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud.

Autor: Dra. Yanet Guerrero Ballester¹

¹Especialista de Primer Grado de Farmacología y MGI. Profesor asistente. Facultad de Ciencias Médicas de Bayamo. Granma, Cuba.

Email: gballester@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: La nanotecnología se trata de un campo multidisciplinario que comprende áreas como biología, química, física, ciencia de materiales, ingeniería, entre otras, y tiene una gran importancia en campos como la informática, las comunicaciones, la microelectrónica, la biotecnología y la medicina.

Objetivo: Describir las principales ventajas de la nanotecnología y sus efectos dañinos sobre la salud, para mitigar el daño tras el empleo de las mismas.

Métodos y resultados: Se realiza una revisión de la literatura científica que aborda los efectos dañinos sobre la salud de las nanopartículas a partir de los resultados de una búsqueda bibliográfica realizada en Medline-PubMed, LILACS y Google Académico.

Conclusiones: La nanotecnología es un campo relativamente nuevo de investigación y que muestra rápidos avances que prometen cambiar radicalmente y afectar muchas esferas de la ciencia y la tecnología. No obstante, es limitado el conocimiento acerca de los riesgos de los nanomateriales para la salud humana.

Palabras clave: nanotecnologías, nanomedicina, nanopartículas

INTRODUCCIÓN

El uso de diferentes materiales ha marcado algunas de las eras que ha vivido la humanidad, como la edad de Hierro o la de Bronce. Desde los metales, pasando por cerámicos y plásticos, hasta llegar hoy a la tendencia de trabajar con materiales en escala extremadamente diminuta en diferentes productos de consumo, la nanotecnología representa una oportunidad de generar grandes avances tecnológicos bajo la evidencia del comportamiento especial de la materia en nanómetros.¹

Los inicios de los estudios sobre nanotecnología datan del año 1959, cuando un físico norteamericano destacado compartió su idea de trabajar a dicha escala aunque no fue hasta 1974 que fue acuñado el término. Su despegue estuvo determinado por la aparición de los

microscopios electrónicos en la década de los años 80 del siglo pasado debido, sobre todo, al surgimiento de los microscopios de sonda de barrido y los microscopios de efecto túnel, que permitieron la visualización y manipulación de objetos de tamaño nanométrico.³ La pluripotencialidad de las nanopartículas ha motivado que muchos países, principalmente los más avanzados, emprendieran una carrera por el dominio de esta nueva tecnología. Esto se ve claramente en los fondos que se dedican anualmente a la investigación y desarrollo en nanociencia, los cuales tienen un carácter determinadamente ascendente. Esta tendencia continúa en aumento. Baste señalar que en el período comprendido entre 2010-2020, Estados Unidos invirtió 1 600 millones de dólares anuales en investigaciones relacionadas con el tema, de los cuales alrededor de un tercio estuvo asignado a laboratorios militares. Muchos investigadores consideran que estamos en presencia de una nueva revolución científico-técnica, pues se trata de una tecnología de tipo disruptiva, que cambia nuestra forma de ver y analizar el mundo a nuestro alrededor.²

Fue a finales de los años cincuenta, cuando el físico Richard Feynman, Premio Nobel de Física por sus contribuciones en la electrodinámica cuántica, propuso, en una ponencia que los investigadores podrían realizar diseño e ingeniería a nivel molecular y las ventajas que podrían aportar el trabajar en escala nanométrica, algo que en su época, era inimaginable. Después de 20 años, estas ideas comenzaron a materializarse con el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación y caracterización de nanomateriales, apareciendo la Nanociencia, donde se entiende y explota las propiedades de la materia, como consecuencia de estar en la nanodimensión (un nanómetro equivale a una billonésima parte de un metro).³

La **Nanotecnología** se trata de un campo multidisciplinario que comprende áreas como biología, química, física, ciencia de materiales, ingeniería, entre otras, y tiene una gran importancia en campos como la informática, las comunicaciones, la microelectrónica, la biotecnología y la medicina. Y es en estas últimas áreas en donde la Nanotecnología crece rápidamente, desarrollando nuevas técnicas de diagnóstico y de imagen, tratamientos terapéuticos más efectivos que actúan específicamente en órganos o tejidos que lo necesitan.³ Las promesas que genera la nanotecnología son de tal magnitud que varios países y sus multinacionales, y el grueso de estados capitalistas centrales, están incrementando exponencialmente sus gastos en investigación al respecto.⁴

Ante tantos desarrollos y aplicaciones de la nanotecnología se ha ido dejando de lado un componente demasiado importante y que ha sido el precio más grande de la ciencia desde que tenemos uso de razón: la vida humana. Los temas de salud ocupacional y de seguridad del hombre en los campos de la nanotecnología son poco discutidos y generan una alta preocupación en la comunidad científica de la salud debido a las propiedades particulares de

los nanomateriales como su alta reactividad, conductividad de calor y electricidad, entre otras, las cuales son atribuidas a su tamaño tan pequeño, lo que los hace más fáciles de ingresar al cuerpo humano.⁴

Material y método

Se realiza una revisión de la literatura científica que aborda los efectos dañinos sobre la salud y medidas preventivas sobre el manejo de nanopartículas a partir de los resultados de una búsqueda bibliográfica realizada en Medline-PubMed, IBECs, LILACS y Google Académico y posteriormente fueron seleccionados aquellos que parecían más idóneos para la finalidad del estudio, de la que se extrajeron los principales resultados y conclusiones.

Desarrollo

Consideraciones generales sobre los nanomateriales: Aunque podemos encontrar múltiples clasificaciones atendiendo a su forma, características químicas, físicas, etc., se centra en aquella que ordena a los nanomateriales en función de la estructura en la que el material se encuentra nanodimensionado.

- Materiales que tienen sus tres dimensiones a escala nanométrica. Este es el caso de los fullerenos, estructuras formadas por átomos de carbono dispuestos en forma de pentágonos y hexágonos. Se usan como lubricantes, catalizadores, semiconductores y combinados con nanotubos de carbono en nanofarmacología para "*targeting*" farmacológico. Gracias a su estructura puede fijar antibióticos de manera específica capaces de atacar bacterias resistentes.

-Materiales que presentan dos dimensiones a escala nanométrica. Cuyo ejemplo más destacado son los nanotubos de carbono. Se definen como un tubo cuya pared es una malla de agujeros hexagonales. Consisten en una o más capas enrolladas sobre sí mismas y de manera concéntrica. Cada capa está formada por grafito (hexágonos de carbono). -Materiales que presentan sólo una dimensión a escala nanométrica. Suelen ser superficies en los que solamente el grosor de la película se encuentra a nivel nanométrico, como el grafeno, los átomos de carbono se unen en láminas planas de un átomo de espesor.⁵ De esta forma, como principales exponentes de cada una de estas estructuras los se encuentran los siguientes:

-Nanopartícula: nano-objeto con las tres dimensiones en la escala nano.

-Nanodiscos: nano-objeto con una dimensión en escala nano y otras dos significativamente más largas.

-Nanofibra: nano-objeto con dos dimensiones en escala nano y la otra significativamente más larga.

-Nanotubo: nanofibra hueca.

-Nanocable: nanofibra conductora o semiconductora de la corriente. **-Nanovarilla:** nanofibra sólida y recta.⁶

Contribuciones actuales de la Nanotecnología.

Si bien continúan en investigación, muchas son las contribuciones de la Nanotecnología a la medicina que, en caso de que su resultado sea exitoso, generarán un gran impacto para la salud. Se ha utilizado esta novedosa tecnología para diagnosticar enfermedades. A través de un biosensor, se pueden localizar células cancerosas, mediante la identificación de moléculas, en base a su tamaño, peso o carga eléctrica.⁶

Actualmente, uno de los problemas más importantes con el que se enfrenta la medicina es la resistencia a los antimicrobianos. Gracias al fácil acceso a éstos, las personas pueden consumirlos irracionalmente, y es por ello que varios científicos utilizan la nanotecnología para luchar contra las bacterias, mediante nanopartículas que sirven como esponjas hechas de membranas de glóbulos rojos y que absorben las toxinas producidas por dichas bacterias y evitan la expansión de la infección.⁶

El desarrollo de fármacos para el tratamiento y cura de enfermedades relacionadas con el cerebro, se enfrenta a grandes problemas debido a la barrera hematoencefálica, que sólo permite el paso de sustancias al cerebro de manera selectiva.⁶

Enfermedades como el Alzheimer, Parkinson o tumores cerebrales pueden encontrar una solución gracias a las nanopartículas acopladas a tratamientos antirretrovirales convencionales que pueden actuar directamente en el cerebro.⁶

Los tratamientos enfocados en padecimientos como el cáncer en sus diversas afecciones, enfermedades autoinmunes, neurodegenerativas, cardiovasculares, etc., se están beneficiando de los avances y aplicaciones de la Nanotecnología, como es el uso de nanopartículas que se utilizan como transportadoras de fármacos que se liberan de manera controlada. Así, el tratamiento con medicamentos puede actuar efectivamente utilizando una menor dosis.⁶

Los materiales nanométricos ayudan a incrementar la sensibilidad de las técnicas de diagnóstico existentes, al incrementar los efectos ópticos y electrónicos que proveen la señal usada para la cuantificación de material genético o de anticuerpos (inmunoglobulinas). Para el diagnóstico de SARS-CoV-2 se ha propuesto el uso de biosensores de transistor de efecto de campo (Bio-FET, por sus siglas en inglés), los cuales funcionan por el acoplamiento de un transistor con una biomolécula que sirve como receptor selectivo del analito, en una dinámica similar a la unión antígeno-anticuerpo. El uso de las nanopartículas es esencial sustituyendo a las micropartículas, debido a que estas no son tan pequeñas para atravesar con facilidad en

los tejidos del cuerpo con el fármaco. Sin embargo, también significa que el daño que hacen a las células se ve incrementado proporcionalmente por lo que es necesario ajustar repetitivamente las dosis del tratamiento y saber con exactitud la cantidad de material que llega a los órganos, si se proporciona una dosis mayor podrían aparecer efectos secundarios que podrían dañar las células.⁷

Vías de penetración en el organismo

Las vías de entrada de NPs en el organismo no difieren de las puertas de entrada conocidas para otros materiales. Al igual que ocurre con las partículas en suspensión, la vía de entrada respiratoria se comporta como la principal vía de acceso de las NPs al organismo, pero con la particularidad de que su capacidad de absorción y distribución por todo el organismo se ve favorecida por su pequeño tamaño. Se ha comprobado que esta distribución generalizada se encuentra directamente relacionada con el menor tamaño de la partícula, lo que además de las patologías respiratorias que puedan ocasionar por acción *in situ*, podríamos añadir posibles trastornos producidos en distintos órganos alejados de la puerta de entrada.⁸ Las vías de entrada digestiva y dérmica revisten menor importancia, aunque se encuentran presentes. En cuanto a la vía de entrada digestiva, no se han encontrado descritos muchos efectos nocivos relacionados con la ingesta de NPs y se encuentra principalmente asociada a malas prácticas higiénicas de ingesta durante su manipulación o por deglución de las NPs depositadas o adheridas en las vías respiratorias.⁸

Por vía dérmica existen menos posibilidades de entrada en el organismo porque la piel intacta constituye un eficaz mecanismo de defensa frente a agentes externos, pero cuando existe alguna solución de continuidad con pérdida de la cutícula externa protectora, las NPs, al igual que otros agentes físicos, químicos o biológicos, pueden penetrar y distribuirse por el organismo. Algunos estudios han descrito un efecto transportador de partículas ultrafinas (PUFs, de tamaño $<0,1 \mu\text{m}$), hacia el interior del organismo a través de los folículos pilosos, y en consecuencia, podríamos suponer que de igual forma, las NPs al ser más pequeñas, podrían disfrutar de la misma o mayor facilidad de transporte que las PUFs, a través de los folículos pilosos.⁹

Aunque no es la vía más frecuente de penetración de NPs en el organismo, también se han descrito algunos casos de absorción dérmica de NPs de plata a raíz de tratamientos médicos con apósitos que contenían compuestos de NPs.⁹

Estudios científicos han concluido que algunos tipos de nanopartículas captadas por vía respiratoria como nanotubos de carbono y compuestos de cerio, generan desórdenes en los mecanismos biológicos del cuerpo, desencadenando diversas patologías que pueden llegar a ser letales. Ahora, a pesar de que en el mundo se han desarrollado dispositivos para medir

nanomateriales en el ambiente de trabajo, aún no son claros los límites de exposición, por lo que resulta paradójico medir sin saber lo permisible en cuanto a exposición del trabajador. Por esto, se debe generar una conciencia de prevención en todos los procesos de producción y manipulación de nanomateriales.⁹

Características de las NPs relacionadas con los efectos adversos sobre la salud: Se ha comprobado que tras penetrar las NPs en el organismo, su pequeñísimo tamaño les confiere una enorme capacidad de distribución hasta alcanzar órganos muy distantes de la vía de entrada. Recientemente, algunos estudios describen que mientras la toxicidad de los materiales convencionales depende tan solo de su composición, la capacidad nociva o tóxica de alguno de estos componentes no sólo está relacionada con el tamaño, sino también con la forma, composición química, estructura cristalina, carga superficial, disolvente, recubrimientos superficiales, concentración y sistema de agregación, entre otros. Así, por ejemplo, se ha visto que la exposición al rutilo (TiO_2) conduce a daño del ADN, lipoxidación lipídica y formación de micro-núcleos, mientras que, para la anatasa, otra forma mineral del TiO_2 con una estructura cristalina distinta al rutilo, a pesar de tener el mismo tamaño y composición química no existe citotoxicidad comprobada.¹⁰

Mecanismo de acción de las nanopartículas (NPs) en el organismo: No se conocen en su totalidad los posibles mecanismos de acción inducidos por las 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, pero no es fácil reproducir las condiciones naturales en un laboratorio ni a nivel experimental. 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.¹⁰

Dentro del desconocimiento existente a nivel de cada una de las NPs que se conocen, se sabe que, con carácter general, las NPs presentan un alto nivel de interacción a nivel celular debido a su capacidad de adsorber macromoléculas en su superficie, afectando a los mecanismos de regulación celular y por tanto provocando efectos adversos directos, entre los que podemos describir inflamación de tejidos, fibrosis reactiva, daño del ADN celular y cáncer. Muchos de estos efectos, relacionados con la capacidad que presentan las NPs de inducir mecanismos de apoptosis, disfunción mitocondrial y estrés oxidativo.¹¹

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.¹¹

Efectos nocivos sobre la salud: Aunque se ha comprobado que algunas partículas son inocuas en las dosis a las que pueden estar expuestas los humanos, otras partículas como el mismo compuesto de dióxido de titanio en forma de *rutilo* han demostrado un elevado poder de inducir inflamación en los tejidos, o como también ocurre con las NPs de sílice y con el amianto, de las que es bien conocida su capacidad de provocar enfermedades como la fibrosis o el cáncer. Algunas NPs como el dióxido de Silicio (SiO_2) se han asociado a problemas como la trombosis, isquemia o la arritmia cardíaca, 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.¹²

El conocimiento actual sobre el efecto toxicológico de muchas de las NPs es insuficiente, aunque podemos suponer que muchos de sus efectos puedan ser similares a los producidos por PUFs, debido a que puedan presentar un patrón de absorción y dispersión por el organismo similar al de estas, por lo que cabría establecer medidas preventivas individuales, colectivas y de gestión de residuos durante la manipulación de NPs similares a las establecidas para las PUFs, al objeto de minimizar posibles daños sobre la salud humana y sobre el deterioro ambiental.¹²

Entre los principales hallazgos describieron lo que se considera el primer brote de patología laboral relacionado con NPs, que aparece en 7 mujeres que trabajaban en una fábrica de pinturas en China. Las mujeres se encontraban confinadas en un espacio de 70 m² sin ventilación y con un único extractor que no funcionaba desde hacía meses. Su trabajo consistía en preparar una pasta de polvo de marfil blanco mezclado con un éster poliacrílico mediante calentamiento. Las trabajadoras presentaron un cuadro de erupción cutánea pruriginosa en su cara, manos y antebrazos. Al cabo de unos meses comenzaron a presentar un cuadro de patología respiratoria caracterizado por disnea con un gran derrame pleural. Se comprobó que el preparado de pasta de marfil contenía, además del éster poliacrílico, NPs de sílice y nanosilicatos, compuestos que eran responsables de la toxicidad dérmica que presentaron las mujeres. El mecanismo por el que se producía el cuadro era que cuando las partículas eran inhaladas, penetraban hasta los alvéolos donde eran fagocitadas por los macrófagos, transportadas hasta el tejido pulmonar intersticial llegando a pleura y posteriormente distribuidas por vía sanguínea hacia diferentes órganos. En todas ellas se encontró un tejido

de inflamación inespecífica con material proteináceo que evolucionó a fibrosis pulmonar y granulomas pleurales de cuerpo extraño. Se encontró también derrame pericárdico, adenopatías linfáticas y trombocitopenia además de daños renales y hepáticos, lo que demostraba la diseminación que habían alcanzado las NPs a partir de los alvéolos, lo que además se comprobó mediante microscopía electrónica de transmisión, que detectó agregados de NPs de sílice y/o nanosilicatos de 30 nm de diámetro en el exudado pleural y en el citoplasma de células mesoteliales extraídas del líquido del derrame, en las propias células epiteliales del tejido pulmonar y de las células sanguíneas del intersticio pulmonar.¹³

La exposición ocupacional a dióxido de titanio también se ha relacionado con patología pulmonar. Se describe fiebre, ictericia conjuntival y bronquiolitis obliterante. También se han realizado estudios en personas que habían participado en labores de rescate en el atentado de la Torres Gemelas de Nueva York, el 11 de septiembre de 2001 y que habían estado expuestos a una densa nube de humo cargada de contaminantes. Muchos de ellos desarrollaron posteriormente algún tipo de patología respiratoria, caracterizada por sinusitis, tos persistente, sibilancias, laringitis y asma inducida por irritantes. Se encontraron también algunos casos de enfermedad intersticial pulmonar, incluyendo neumonía eosinofílica aguda, neumonitis granulomatosa, sarcoidosis y bronquiolitis obliterante.¹³

Estudios realizados en Suecia en trabajadores que asfaltaban carreteras, muestran una menor capacidad de la función pulmonar en comparación con el grupo control de trabajadores de la construcción. Durante la temporada de asfaltado se encontró un incremento estadísticamente significativo de los marcadores de la inflamación como la interleukina-6. También se encontraron niveles ambientales elevados de partículas ultrafinas (PUFs), sobre todo en las zonas de asfaltado, mientras que en las plantas de producción las partículas eran de mayor tamaño (180 nm), posiblemente porque en la zona de asfaltado se alcanzaban temperaturas más elevadas llegando hasta 160 °C.¹⁴

También se han encontrado niveles entre 60 y 200 veces más elevados de NPs de níquel en trabajadores de refinerías de este metal que en los soldadores que trabajaban con soldadura de arco en los astilleros y utilizaban equipos protectores adecuados, lo que demuestra la efectividad de las medidas de protección individual. Otro ejemplo de esta efectividad de las medidas de protección lo encontramos en los estudios realizados por *Frank E. Pfefferkorn & col.* en 2010, midiendo emisiones de NPs y PUFs desprendidas en los procesos de soldadura de fricción de aleaciones de aluminio. Los datos de medición experimental en laboratorio del promedio diario de concentraciones de metales que emitían este tipo de soldaduras eran de 2.0 µg m⁻³ (Zn), 1.4 µg m⁻³ (Al), y 0.24 µg m⁻³ (Fe), pero en las instalaciones donde trabajaban los soldadores, que se encontraban dotadas de tubos de aspiración de humo, la

concentración total media de NPs ambientales era prácticamente nula e igual a la basal cuando se media en ausencia de contaminación.¹⁴

Estudios más recientes realizados por *Senapati et al.* en 2015, muestran que determinadas nanopartículas de Óxido de Zinc (ZnO), actualmente utilizadas en cosméticos, pinturas, biosensores, fármacos, envases de alimentos y como agentes anticancerosos, inducen estrés oxidativo en monocitos humanos (THP-1), lo que lleva a una mayor respuesta inflamatoria a través de la activación de NF- κ B y MAPK mediante vías de señalización redox-sensibles. Encontraron un aumento significativo ($p < 0,01$) en las citoquinas pro-inflamatorias (TNF- α e IL-1 β) y especies reactivas de oxígeno (ROS), correlacionándose las concentraciones crecientes de exposición con la disminución de los niveles de glutatión (GSH) en comparación con el grupo control.¹⁵

A pesar de la abundante literatura científica existente al respecto, no existe un conocimiento profundo ni evidencia suficiente sobre la mayoría de los posibles efectos que las NPs puedan tener sobre la salud y el medio ambiente, por lo que aún es necesario profundizar en el conocimiento tanto de los compuestos como potenciales agente nocivos como sobre sus posibles efectos sobre la salud, tanto por la exposición a NPs a corto como a largo plazo. En la [tabla I](#) se presentan algunos de las NPs que por sus aplicaciones más comunes en la industria pueden encontrarse más estudiadas en cuanto a sus posibles efectos adversos sobre la salud y en la [tabla II](#) se presentan algunos de sus principales efectos conocidos.¹⁵

NPs	Aplicaciones	Toxicidad	alud
Dióxido de silicio (SiO₂)	Electrónica, telecomunicaciones e industria aeroespacial	– Alteraciones cardiovasculares y pulmonares – Cáncer de pulmón	
Nanotubos de carbono	Electrónica, instrumentación científica, fotónica, biotecnológica, energética y mecánica	– Acumulación en hígado, pulmones y bazo – Inflamación pulmonar – Fibrosis pulmonar y granulomas	
Rutilo (TiO₂)	Filtros solares, industria cosmética, tratamiento de aguas y electrónica	– Estrés oxidativo – Carcinógeno	
Negro de carbón	Refuerzo de neumáticos, pinturas y plásticos	– Fibrosis pulmonar	
NPs Metales	Industria cosmética, electrónica, médica y textil	– Estrés oxidativo – Hemólisis y trombosis – Acumulación en bazo, hígado y riñón	
Otras NPs	Catalizadores, revestimientos, biomedicina, placas solares	– Estrés oxidativo	

Tabla II. Principales efectos sobre la salud más frecuentemente asociados a la exposición de partículas ultrafinas (PUFs) y NPs²⁶

Efectos agudos	Efectos crónicos
Reacciones inflamatorias del pulmón	Incremento de síntomas respiratorios
Síntomas respiratorios	Reducción de la función pulmonar en adultos
Efectos adversos en el sistema cardiovascular	Aumento en enfermedad pulmonar obstructiva crónica
Aumento del uso de medicamentos	Reducción de la función pulmonar en adultos
Aumento de ingresos hospitalarios	Reducción de la esperanza de vida
Alimento de la mortalidad	-

Evaluación de riesgos relacionados con la exposición a NPs: Las NPs, aunque presentan unas características singulares que los diferencian de los materiales y otros productos químicos convencionales, no dejan de ser estructuras químicas, por lo que por una parte se someten a las medidas de evaluación de riesgo comunes para todas las exposiciones a productos químicos, y por otra, debido al peligro de penetración y absorción que conlleva su pequeño tamaño, a determinadas medidas específicas encaminadas a evitar en la medida de lo posible, la inhalación de las mismas y las consecuencias para la salud que puedan derivarse de ello.¹⁵

Conclusiones

La nanotecnología es un campo relativamente nuevo de investigación y que muestra rápidos avances que prometen cambiar radicalmente y afectar muchas esferas de la ciencia y la tecnología. Ofrece innumerables posibilidades para el progreso humano, mediante la creación de varios tipos de nanomateriales aplicables en revolucionarios tratamientos médicos, en la investigación agrícola y métodos de diagnóstico de inocuidad alimentaria. No obstante, es esencial y urgente evaluar no sólo los beneficios, sino también los posibles riesgos que plantean las nanopartículas y acordar medidas efectivas mediante criterios reguladores adecuados. La nanotecnología ofrece enormes posibilidades para mejorar la vida humana, pero es limitado el conocimiento acerca de los riesgos de los nanomateriales para la salud y el ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Guerra-Morillo M^a Oliva, Rabasco-Álvarez Antonio M, González-Rodríguez María Luisa. Fibrosis quística: tratamiento actual y avances con la nanotecnología. Ars Pharm [Internet]. 2020 Jun [citado 2021 Ago 05]; 61(2): 81-96. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2340-

98942020000200002&lng=es.

Epub

20-Jul-2020.

<https://dx.doi.org/10.30827/ars.v6i12.11358>.

2. Alencar, Marcelo Sampaio. et al. Comunicação moleculares: Um novo paradigma de comunicações para aplicações em nanomedicina. Revista tecnológica da informação e comunicação. [S.I]. 2017. Disponível em: . Acesso em: 22.Mar.2020.

3. ARAÚJO, Géssica Conrado. et al. Nanotecnologia aplicada aos cosméticos. Revista Única. [S.I]. 2019.

4. Saldívar Tanaka Laura. Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. Mundo nano [revista en la Internet]. 2020 Jun [citado 2021 Ago 04]; 13(24): e0014. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912020000100204&lng=es)

56912020000100204&lng=es.

Epub

12-Jun-

2020.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2020.24.69621>.

5. Arteaga Figueroa Edgar Ramón, Záyago Lau Edgar, Foladori Guillermo. Nanotecnologías para la energía en México: revisión de publicaciones científicas, patentes y empresas. Entreciencias: diálogos soc. conoc. [revista en la Internet]. 2020 Dic [citado 2021 Ago 04]; 8(22): e22.70362. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-80642020000100301&lng=es)

80642020000100301&lng=es. Epub 09-Dic-

2020. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70362>.

6. Espinosa MM, Ojito E, Lage A, Delgado M. El centro de Inmunología Molecular: crecimiento y desafíos de la empresa de alta tecnología en el contexto cubano de desarrollo socialista. Cofín Habana. 2018;12(2):100-129.

7. Lage A. Immunotherapy and Complexity: Overcoming Barriers to Control of Advanced Cancer. MEDICC Review. 2014 [citado 2021 Ago 04];16(3-4):65-72. Disponible en: [http://www.medicc.org/mediccreview/index.php? issue=29&id=381&a=vahtml](http://www.medicc.org/mediccreview/index.php?issue=29&id=381&a=vahtml)

7. Lage A. Immunotherapy and Complexity: Overcoming Barriers to Control of Advanced Cancer. MEDICC Review. 2014 [citado 2021 Ago 04];16(3-4):65-72. Disponible en: [http://www.medicc.org/mediccreview/index.php? issue=29&id=381&a=vahtml](http://www.medicc.org/mediccreview/index.php?issue=29&id=381&a=vahtml)

8. Delgado M. Enfoque para la gestión de la I+D+I en la Industria Biofarmacéutica cubana. Rev. cuba. inf. cienc. salud. 2017 [citado 2021 Ago 04];28(3):1-16. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ics/v28n3/rci02317.pdf>

9. Durán Álvarez Juan Carlos, Martínez Avelar Carolina, Mejía Almaguer Daniel. El papel de la nanociencia y la nanotecnología en el marco de la pandemia de Covid-19. Mundo nano [revista en la Internet]. 2021 [citado 2021 Ago 04] ; 14(27): e0023. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-

56912021000200201&lng=es.

Epub

11-Dic-2020.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.27.69647>.

10. Farràs MGR, Senovilla LP. Riesgos asociados a la nanotecnología. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) 2008; 797.

11. Retos de este siglo: nanotecnología y salud. Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter [Internet]. 2013 Mar [citado 2021 Ago 04]; 29(1): 3-15. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086402892013000100002&lng=es.

12. Zúñiga Rojas Rómulo, Blamey Benavides Ximena, Mosquera Edgar, Ahumada Bolton Leonardo. Estudio Exploratorio de Higiene Industrial en Ambientes de Trabajo Donde Se Producen o Utilizan Nanopartículas. Cienc Trab. (revista en la Internet). 2013 Dic) [citado 2021 Ago 04]; 15(48): 124-130.

13. Zayas Fundora E, López Batista C, Jiménez Pérez M. Nanopartículas de oro como alternativa terapéutica para el tratamiento del cáncer. Arch. Hosp. Univ. "Gen. Calixto García" [Internet]. [citado 2021 Ago 04] 2021;9(1):4-6. Disponible en: <http://www.revcalixto.sld.cu/index.php/ahcg/article/view/668>

14. Jos A, Pichardo S, Puerto M, Sanchez E, Grilo A, Camean AM. Cytotoxicity of carboxylic acid functionalized single wall carbon nanotubes on the human intestinal cell line caco-2. Toxicol In Vitro [Internet]. 2009; [citado 2021 Ago 04] 23(8):1491-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0887233309001738>

15. Fan M, Han Y, Gao S, Yan H, Cao L, Li Z, et al. Ultrasmall gold nanoparticles in cancer diagnosis and therapy. Theranostics [Internet]. 2020 [citado 2021 Ago 04]; 10(11):4944-57. Available

from:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7163431/pdf/thnov10p4944.pdf>