



10 nm

- Nanopartículas de plata, síntesis, funcionalización y usos
- Mitos y realidades de la nanotecnología en México
- Regulación de la nanotecnología en la Unión Europea y EUA
- Nanotecnología del carbono en la educación química



REVISTA INTERDISCIPLINARIA EN

Nanociencias y Nanotecnología

Vol. 12, No. 22, enero-junio 2019

www.mundonano.unam.mx

DIRECTORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Enrique Graue Wiechers
Rector
Leonardo Romelí Vanegas
Secretario General

Guadalupe Valencia García
Coordinadora de Humanidades
William Henry Lee Alardín
Coordinador de la Investigación Científica
Juan Manuel Romero Ortega
Coordinador de Innovación y Desarrollo

Rodolfo Zanella Specia
Director ICAT
Mauricio Sánchez Menchero
Director CEIICH
Fernando Rojas Iñiguez
Director CNYN

Mundo Nano • <http://www.mundonano.unam.mx>

Editor en jefe

Rodolfo Zanella Specia • <https://orcid.org/0000-0002-2118-5898> • rodolfo.zanella@icat.unam.mx

Editores

Gian Carlo Delgado Ramos • <https://orcid.org/0000-0001-6851-9309> • giandelgado@unam.mx

Leonel Cota Araiza • leonel@cnyn.unam.mx

Editor asociado

Mario Rogelio López Torres • mrlt@unam.mx

COMITÉ CIENTÍFICO

María Elena Álvarez-Buyllá
<https://orcid.org/0000-0002-7938-6473>
• eabuylla@gmail.com
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Rodolfo Omar Arellano Aguilar
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Simone Arnaldi
• simonearnaldi@gmail.com
Universidad de Padova, Italia

Sergio Fuentes Moyado
• fuentes@cnyn.unam.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9843-408X>
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Jesús González Hernández
• jesus.gonzalez@cidesi.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6906-5465>
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, México

Emmanuel Haro Poniatowski
• haro@xanum.uam.mx
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Isaac Hernández Calderón
<https://orcid.org/0000-0002-7606-4807>
• Isaac.Hernandez@fis.cinvestav.mx
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, México

Catherine Louis
Sorbonne Université, UPMC Univ Paris 06, Francia

Eugenio R. Méndez Méndez
<https://orcid.org/0000-0002-7042-8622>
• emendez@cicese.mx

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
Luis Mochán Backal

<https://orcid.org/0000-0003-0418-5375>
• mochan@em.fis.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

José Saniger Blesa
<https://orcid.org/0000-0001-8024-2541>
• jose.saniger@ccadet.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Pedro Serena Domingo
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España
Roger Strand
<https://orcid.org/0000-0001-6159-1586>

• roger.strand@svt.uib.no
Universidad de Bergen, Noruega
Julia Tagüeña Parga
• jtp@ier.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Sergio Ulloa
<https://orcid.org/0000-0002-3091-4984>
• ulloa@ohio.edu
Universidad de Ohio, Estados Unidos

Fern Wickson
<https://orcid.org/0000-0002-2841-4155>
Genøk Center for Biosafety, Noruega

Miguel José Yacamán
<https://orcid.org/0000-0001-5124-7116>
• miguel.yacaman@utsa.edu
Universidad de Texas en Austin, Estados Unidos

COMITÉ EDITORIAL

Norma Blazquez Graf
• blazquez@unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Ricardo Castaño
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Gabriela Alicia Díaz Guerrero
<https://orcid.org/0000-0003-2160-2732>
• diaz@fisica.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Roberto Escudero Derat
• escu@unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Ruben J. Lazos Martínez
• rlazos@cenam.mx
Centro Nacional de Metrología, México

Louis Lemkow
• Louis.Lemkow@uab.es
Universidad Autónoma de Barcelona, España

Sofía Liberman Shkolnikoff
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Paulo Martins
• marpaulo@ipt.br
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Brasil

Aquiles Negrete Yankelevich
• aqny@unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Gerko Oskam
Instituto Politécnico Nacional, México
Fernando Rojas Iñiguez
• frojas@cnyn.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Noboru Takeuchi Tan
• takeuchi@cnyn.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México, México
Joaquín Tutor Sánchez
Universidad Pontificia Comillas, España

Isauro Uribe Pineda • isauribe@unam.mx
Editor técnico
Concepción Alida Casale Núñez
Cuidado de la edición



Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 12, Núm. 22, enero-junio 2019, es una publicación semestral, en versión electrónica, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México, a través del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT), el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN) y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), Torre II de Humanidades 42 piso, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. <http://www.mundonano.unam.mx>, mundonanounam@gmail.com. Editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos y Mario Rogelio López Torres. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo Núm. 04-2015-062512122500-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN 2448-5691. Responsable de la última actualización de este número: Isauro Uribe Pineda, CEIICH-UNAM. Fecha de la última actualización: 31 de diciembre de 2018.

Servicios que indexan a Mundo Nano: DOAJ, Latindex, REDIB, Conacyt, SciELO-México. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores. Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin la previa autorización por escrito de los editores responsables.



Atribución-NoComercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)

CONTENIDO / CONTENTS

Vol. 12, Núm. 22, enero-junio 2019 / doi: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22>

1 EDITORIAL / EDITORIAL

Gian Carlo Delgado Ramos
Editor

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

3 La comunicación de la nanotecnología del carbono a través del análisis crítico de textos informales en la educación química preuniversitaria

Jorge Meinguer Ledesma

37 Regulando la nanotecnología

Laura Saldivar Tanaka

59 Propiedades antimicrobianas y citotóxicas de un adhesivo de uso ortodóncico adicionado con nanopartículas de plata

Liliana Argueta Figueroa, Ma. Concepción Arenas-Arrocena, Ana Paulina Díaz-Herrera, Susana Vanessa García-Benítez, René García-Contreras

73 Mitos y realidades de la nanotecnología en México

Eduardo Camarillo Abad, Rafael Blome Fernández, Pablo Iván Castellanos Andrade, Jessica Campos Campos Delgado

89 Nanopartículas de plata: síntesis y funcionalización. Una breve revisión

Edgar Manuel Diaz Acosta

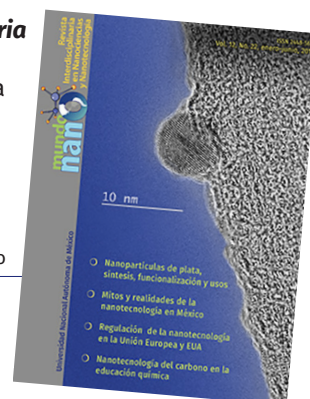
101 Nanopartículas de plata biogénicas a partir del hongo *Punctularia atropurpurascens* para el control de microorganismos

Paula Sanguñedo, María Belén Estevez, Ricardo Faccio, Silvana Alborés

111 POLÍTICA EDITORIAL

Diseño de portada: Angeles Alegre Schettino

Correspondencia: Revista *Mundo Nano*,
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades,
Torre II de Humanidades 5º piso, Ciudad Universitaria,
Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México.
Correo-e: mundonano@unam.mx



Editorial

Editorial

Durante 2018, *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* verificó un proceso profundo de mejora, desde la actualización de su comité científico y editorial, la precisión de sus políticas, código de ética y lineamientos de buenas prácticas editoriales, hasta la edición de los artículos en PDF, XML y HTML. El resultado de ello ha sido su indexación a DOAJ y la solicitud a otros índices cuya respuesta se espera el presente año.

En 2018, para los números 20 y 21 se recibieron 14 artículos, de los cuales dos fueron rechazados y uno retirado por los autores, sumando, finalmente, 11 publicados enfocados al tema de la nanotoxicología, además de una contribución que ofrece un balance de la revista a diez años de su primera aparición. Debido a que estos tenían por objeto dar cuenta del estado del arte de la nanotoxicología en México, la adscripción de los autores correspondió a alguna entidad nacional. El presente número cuenta con una contribución internacional con autores de Uruguay y España. El resto de los trabajos, de entre seis recibidos evaluados positivamente, corresponden a autores con adscripción nacional.

Con lo antes indicado, *Mundo Nano* transparenta su proceso editorial, continuando así su permanente mejora. En futuras editoriales seguiremos ofreciendo este tipo de información y notificaremos los avances de indexación de la revista.

Este primer número de 2019 refuerza sin duda el carácter interdisciplinario de *Mundo Nano* con contribuciones tanto científico-tecnológicas, como de las ciencias sociales y las humanidades. Las primeras se enfocan en diversos aspectos relativos a las nanopartículas de plata: su síntesis y funcionalización; el efecto antibacteriano y el grado de citotoxicidad de su uso en un adhesivo de uso ortodóncico (Liliana Argueta *et al.*); y la síntesis biológica de nanopartículas de plata con potenciales aplicaciones antimicrobianas en el área de la salud y el sector agroalimentario (Paula Sanguñedo *et al.*).

El segundo tipo de contribuciones abona en las áreas de la pedagogía de las ciencias y la tecnología, la regulación de los nanomateriales y el grado de conocimiento y percepción social de la nanotecnología. En ese sentido, el trabajo de Jorge Meinguer revisa la manera en que el análisis crítico de textos informales habilita una ruta de aprendizaje positiva en la educación química preuniversitaria, posicionando así su trabajo en el área de la pedagogía de las ciencias y la tecnología. Laura Saldívar, en cambio, hace una revisión propia de las ciencias sociales al ofrecer un balance panorámico de la regulación de la nanotecnología en la Unión Europea y los Estados Unidos, para, desde ahí, mencionar algunos esfuerzos en curso en México. Por su parte, Eduardo Camarillo

et al. utilizan la encuesta como herramienta para indagar el grado de conocimiento que tiene la sociedad mexicana sobre la nanotecnología, ello como un aspecto necesario para impulsar la competitividad de la nanotecnología en el ámbito científico y tecnológico del país.

Agradecemos el esfuerzo y trabajo que han hecho todos nuestros autores y revisores durante más de diez años. Su decidido apoyo es sin duda un refrendo de la creciente y sostenida importancia de la temática en México y el mundo. Según el *Global Nanotechnology Market Outlook 2024*, las expectativas de crecimiento del mercado “nano” durante el periodo 2018-2024 se estiman en el orden del 17% anual, dominando sectores como el de la salud y la electrónica, seguidos por el de la energía, entre otras aplicaciones civiles y de defensa.

México cuenta sin duda con un potencial significativo que habría de ser aprovechado, sobre todo en áreas clave para el país como lo son la salud, la energía y el medio ambiente. En la actualidad, hay más de 600 personas realizando investigación en nanociencias y nanotecnología en 120 entidades de investigación y educación superior del país. Tal esfuerzo habrá de ser decididamente apoyado, cada vez más articulado, e ir de la mano del análisis crítico de las potenciales implicaciones de la nanotecnología y el uso ético de sus diversas aplicaciones; de tal modo que se disponga de un proceso regulatorio cada vez más eficiente, efectivo y acorde con la cambiante y compleja realidad del mundo global.

La comunicación de la nanotecnología del carbono como una herramienta para impulsar el pensamiento crítico en la educación química preuniversitaria

The communication of carbon nanotechnology as a tool to promote critical thinking in pre-university chemistry education

Jorge Meinguer Ledesma*

ABSTRACT: This paper describes a methodological strategy to communicate general information on carbon nanotechnology in the context of teaching high school chemistry. The proposal is the result of incorporating texts from the public communication of science to the school environment to promote elements of critical thinking on the subject. The article discusses the importance of divulging aspects related to carbon nanotechnology in chemical education, the value that is associated with the use of media sources to promote a critical response to scientific topics with broad social relevance, as is the case of nanotechnology, the effectiveness of the implemented strategy and its implications for the development of a scientific culture.

KEYWORDS: carbon nanotechnology, critical thinking, chemical education, public communication of science, scientific culture.

RESUMEN: En este trabajo se expone una estrategia metodológica para comunicar generalidades sobre la nanotecnología del carbono en el contexto de la enseñanza de la química en el bachillerato. La propuesta es el resultado de incorporar textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia al ámbito escolar para promover elementos de pensamiento crítico sobre el tema. En el artículo se discute, la importancia de divulgar aspectos relacionados con la nanotecnología del carbono en la educación química, el valor que se asocia al uso de fuentes mediáticas para promover una respuesta crítica hacia temas científicos con amplia relevancia social, como es el caso de la nanotecnología, la efectividad de la estrategia implementada y sus implicaciones en el fomento de una cultura científica.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología del carbono, pensamiento crítico, educación química, comunicación pública de la ciencia, cultura científica.

Introducción

Los antecedentes de esta investigación se presentan en tres subapartados. En el primero de ellos se discute el valor que tiene divulgar cuestiones rela-

Recibido: 4 de octubre de 2017.

Aceptado: 10 de abril de 2018.

* Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, México.
Correspondencia: (jormeinguer@yahoo.com.mx).



cionadas con la nanotecnología en la educación científica, en el segundo se muestra la conexión existente entre el tema central de este estudio, la nanotecnología del carbono, con el proceso de enseñanza de la química. Por último, se analiza la relevancia educativa de fomentar el análisis crítico del discurso mediático sobre ciencia y tecnología al referenciar temas científicos de frontera en las aulas.

La comunicación de la nanotecnología en la educación científica

En años recientes, la nanociencia y la nanotecnología han adquirido relevancia en los ámbitos de la investigación, la divulgación y la educación científica. La razón se debe tanto a la cantidad como a la pertinencia de los desarrollos e investigaciones que este campo de conocimientos está produciendo en diferentes rubros de amplia relevancia social, como es el caso del desarrollo de medicamentos, la ciencia de materiales, el diseño de nuevos dispositivos electrónicos y el cuidado del medio ambiente, por mencionar algunos. Los avances en la investigación nano han sido tan destacados en las últimas dos décadas, que algunos autores proyectan a esta área de conocimientos como un pilar de la siguiente revolución tecnológica (Takeuchi, 2009; Serena, 2013).

La nanociencia se ocupa de caracterizar y explicar el comportamiento de la materia en la escala nanoscópica (1×10^{-9} m), lo que implica situar su marco de acción en el mundo de los átomos y las moléculas. Específicamente, su función más sustantiva es estudiar los procesos que ocurren en las estructuras con un tamaño entre 1 y 100 nm, las cuales se conocen como nanoestructuras (Takeuchi y Basiyk, 2011). Por su parte, la nanotecnología utiliza los conocimientos que genera la nanociencia para diseñar y fabricar nuevos materiales o dispositivos con una finalidad práctica (Alonso, 2008).

Un aspecto a resaltar de la nanotecnología es su carácter multidisciplinar, pues en ella convergen especialistas de diferentes áreas científicas como químicos, físicos, matemáticos, ingenieros, biólogos y médicos, pero también expertos de las ciencias sociales y las humanidades en el análisis de su gobernanza, impacto social, implicaciones éticas y comunicación. Al ser un área multisectorial cubre aspectos sociocientíficos de diversa índole e interés en el mundo contemporáneo. Es por ello que es una de las líneas de investigación que recibe mayor reconocimiento, financiamiento y respaldo en las sociedades altamente industrializadas (Kleike, 2009).

Como resultado de la inversión y la acumulación de conocimientos en la investigación nano, han comenzado a incorporarse de forma paulatina a la sociedad bienes de consumo basados en la nanotecnología. Un hecho que está originando debates y discusiones en diferentes foros sobre aspectos medioambientales, éticos, toxicológicos, laborales, económicos e inclusive legales (Delgado, 2008). Como respuesta, diversos organismos internacionales, como la Unión Europea, están incluyendo en su agenda científica, la implementación

de programas enfocados a monitorear, así como a regular los posibles efectos negativos asociados con la nanotecnología en la actividad industrial, la salud y el medio ambiente (Krug y Wick, 2011). También, se han realizado estudios vinculados con su gobernanza (Delgado, Kjølberg y Wickson, 2011), establecido instancias para acercar a la población con esta temática y promover códigos de conducta que regulen su discusión en la esfera de lo público y, finalmente, se han elaborado iniciativas para su comunicación en la educación científica en el ámbito formal e informal (Serena, 2014).

En el escenario educativo, la comunicación de la nanotecnología se devela como una labor pertinente porque permite ofrecer una visión actualizada de los avances que genera la ciencia, así como formar vocaciones científicas en el campo (Castellini *et al.*, 2007). Concretamente, su abordaje posibilita mostrar una gama de aplicaciones científicas y tecnológicas que amplían el horizonte en la forma de concebir las relaciones entre lo natural, lo artificial y el ser humano. Tomando en consideración lo reportado en la literatura (Sánchez-Mora y Tagüena, 2011; Serena, 2014.), la enseñanza y divulgación de la nanotecnología requieren de estrategias que faciliten la adquisición de un vocabulario específico, la comprensión de procedimientos científicos implicados en su desarrollo, así como el reconocimiento de sus alcances y problemática asociada. Además, deben contribuir a hacer frente a una serie de obstáculos epistemológicos que se asocian con la difusión de esta temática en general, los cuales son resumidos por Serena (2014) en el siguiente listado:

- La explicación de procesos, fenómenos, y sistemas en una escala de tamaño sumamente pequeña.
- La ineludible presencia de conceptos abstractos provenientes de la mecánica cuántica al hacer referencia a las propiedades de la materia en la escala nanoscópica.
- El carácter multidisciplinar de la nanociencia y la nanotecnología.
- La existencia de efectos cuya explicación está vinculada con el tamaño y la forma de los objetos.
- La existencia de ideas previas (muchas veces erróneas) acerca de la nanotecnología y las entidades que involucra su estudio (átomos y moléculas).

Como se puede advertir, la comunicación de la nanotecnología en el contexto de la educación tanto formal como informal reviste complejidad debido a que implica el aprendizaje de terminología, conceptos y aspectos contextuales que no suelen ser de dominio público. Para aminorar esta problemática, algunos autores proponen hacer uso de un discurso analógico que permita hacer comparaciones adecuadas entre fenómenos y propiedades que se dan en el mundo de lo nano con situaciones perceptibles o de la vida cotidiana, así como el uso de modelos para representar nanosistemas y nanoestructuras (Blonder, 2010).

Lo forma de dar tratamiento a los contenidos disciplinares relacionados con la nanotecnología dependerá del grado escolar y los objetivos de aprendizaje de una asignatura en cuestión. En la literatura se menciona que se pueden abordar temas de naturaleza cuántica con diferentes grados de profundidad, al explicar las propiedades o funciones de materiales nanoestructurados en el nivel medio y superior, mientras que en la enseñanza básica se recomienda relacionar al mundo nano con la medición y el control de lo pequeño, es decir, indagar sobre las implicaciones de la nanoescala en la caracterización de objetos (Ribeiro y de Souza, 2015; Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011). No obstante, existe convergencia sobre dos aspectos necesarios en la divulgación de la nanotecnología a todos niveles, el adecuado uso de modelos y la continua referencia a la connotación, tecnológica y social del tema.

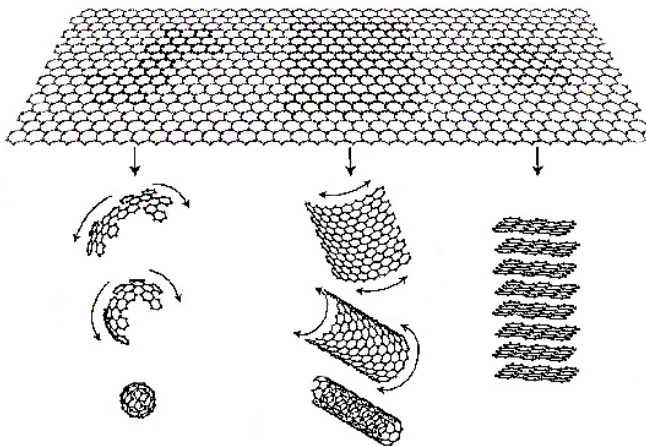
Relevancia del estudio de la nanotecnología del carbono en la enseñanza de la química

Un tipo de materiales que han cobrado importancia en el campo de la investigación nano son las nanoestructuras de carbono, pues por sus inusitadas propiedades fisicoquímicas pueden dar lugar a múltiples aplicaciones tecnológicas. El carbono es un elemento muy abundante en la naturaleza, se puede encontrar en los combustibles fósiles, en las minas, disuelto en agua, en la atmósfera y en los seres vivos. Tiene una gran facilidad para unirse consigo mismo y con otros elementos al punto de formar más de diez millones de moléculas diferentes, la mayoría de naturaleza covalente, además, posee la propiedad de alotropía, es decir, podemos encontrarlo en la superficie terrestre en varias formas físicas siendo las más comunes: el carbón vegetal, el grafito y el diamante.

Algunas nanoestructuras de carbono tienen su origen en el grafito, lo cual constituye una enorme ventaja, pues es un material abundante, barato y manipulable. Cuando láminas o capas de este material adquieren una forma enrollada, se forman los denominados nanotubos de carbono, un tipo de nanoestructuras que se caracterizan por su alta resistencia a la tracción. Por otra parte, cuando lo que se tiene son nanomateriales de carbono cerrados tipo jaula se habla de fullerenos, moléculas que pueden encapsular en su interior átomos de diferentes elementos como los metales. Finalmente, si se aísla solamente una capa o lámina de grafito, el resultado es un material de un átomo de espesor al que se le denomina grafeno, en el cual los electrones circulan a velocidades cercanas a la de la luz (Takeuchi, 2009). Estas tres, son las nanoestructuras más representativas del campo de la nanotecnología del carbono (NC). (Véase la figura 1).

Lo que hace relevante y atractiva esta línea de investigación, en particular, es que los nanomateriales antes mencionados revisten propiedades que distan mucho de lo que puede ofrecer el carbono en la escala macroscópica. En el nivel nano, algunas nanoestructuras de carbono conducen la electricidad de forma eficiente, son elásticas y de alta dureza, mientras que otras

FIGURA 1. Grafeno como unidad estructural de las distintas formas alotrópicas del carbono grafitico.



Fuente: Tomada de Geim y Novoselov (2007).

tienen la capacidad de encapsular, adsorber y transportar átomos de otros elementos o fragmentos moleculares, como el principio activo de un medicamento. Un dato que respalda la importancia disciplinar que posee la NC es que en su desarrollo se han otorgado dos premios Nobel, el correspondiente a química en el año de 1996 a Robert F. Curl, Harold, W. Kroto (1939-2016) y Richard E. Smalley (1943-2005) por el descubrimiento de los fullerenos, y, más recientemente, el de física en el año 2010 a Andre Geim y Kostya Novoselov por el aislamiento y caracterización del grafeno.

En el contexto de la educación química, la comunicación de la NC resulta oportuna y apremiante porque al estar centrada en uno de los elementos químicos más representativos, permite mostrar a los estudiantes cómo la investigación en torno a este elemento químico ha tomado nuevas directrices y el importante papel que juega la química en el avance de la nanotecnología en general. Cuestiones que dotan de actualidad al proceso de enseñanza de esta ciencia y promueven la construcción de aprendizajes significativos. Otro aspecto a resaltar es que al ser un campo de investigación emergente con fuertes implicaciones tecnológicas, éticas y sociales puede dar lugar al debate, así como a la participación informada. Aspectos inherentes a la formación de una cultura científica (Pardo, 2014). En congruencia con lo anterior, algunos autores sugieren que la mejor forma de abordar en el entorno escolar aspectos relacionados con la nanotecnología es mediante el enfoque CTS-A (ciencia, tecnología, sociedad y ambiente) (Reviglio, 2014). Debido a que esta perspectiva educativa constituye un marco de referencia apropiado para emprender una enseñanza de la química con perspectiva social, pues potencia la comprensión de la importancia y la utilidad del conocimiento científico en la vida más allá del aula (Aikenhead, 2005).

Por lo expuesto con anterioridad, promover estrategias de divulgación de la NC en el contexto de la educación química es una labor altamente beneficiosa porque posibilita la formación de ciudadanos capaces de comprender los procedimientos científicos implicados en el campo, los alcances, riesgos y beneficios de esta área de conocimientos, el debate ético que le acompaña, así como la adquisición de aptitudes intelectuales que permitan fincar una discusión informada sobre el tema.

El desarrollo del pensamiento crítico a través del análisis de textos provenientes de los medios de comunicación

En el contexto de la sociedad del conocimiento y la información, el desarrollo de facultades relacionadas con la consulta, manejo e interpretación de los mensajes y contenidos que circulan en los medios informativos se ha convertido en una cuestión con fuertes implicaciones educativas. Razón por la cual, importantes organizaciones vinculadas con la educación, UNESCO (2006), la OCDE (2012), se esfuerzan por crear sinergias que coadyuven al reconocimiento, así como a la utilización de los medios de comunicación en los nuevos escenarios de aprendizaje. Pues sostienen que, promover una formación integral que contemple la interpretación de los discursos mediáticos representa una línea de acción decisiva en el empoderamiento personal y colectivo.

En congruencia con lo anterior, divulgadores y educadores coinciden en que los textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia son recursos valiosos porque su análisis puede promover opiniones informadas sobre el acontecer científico, incrementar el interés por la ciencia e impulsar la construcción de aprendizajes significativos (Calvo, 2003; Gadea, Vilchis y Gil, 2009). Específicamente, en el ámbito escolar existen algunos trabajos que dan cuenta de las ventajas que provee el empleo de este tipo de información. En ellos, se menciona su uso como fuentes que complementan el aprendizaje, como herramientas didácticas e inclusive como un objeto de investigación (Blanco, 2004).

Algunos autores han propuesto utilizar el potencial de estos recursos textuales para fomentar el pensamiento crítico (PC) en las clases de ciencias (Norris, Phillips y Korpan, 2003; McClune y Jarman, 2010; Oliveras y Sanmartí 2013). La idea de promover el PC hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología se fundamenta en tres razones. La primera de ellas se relaciona con el hecho de que estos recursos textuales representan una de las vías principales con las que los estudiantes mantendrán contacto con el desarrollo científico fuera de las aulas independientemente de su grado escolar o perfil profesional. La segunda, con que suelen abordar temáticas de frontera, las cuales además de dotar de actualidad al proceso de enseñanza de las disciplinas científicas son de interés público o ciudadano, pues su análisis involucra la consideración de derechos, intereses y obligaciones. Finalmente, la tercera se asocia con la alta carga de subjetividad que caracteriza al dis-

curso mediático, una cuestión que puede moldear malintencionadamente las opiniones e inclusive las acciones de las personas (Meinguer, 2016). Por consiguiente, resulta crucial preparar a los alumnos desde la escuela para interpretar meticulosa y reflexivamente este tipo de publicaciones, así como para usar la información consultada responsablemente.

En el presente estudio se asume como definición del PC la propuesta de Richard Paul y Linda Elder (2006), representantes de la *Critical Thinking Community*, según la cual, el PC es un modo de pensar sobre cualquier tema, contenido o problema en el que un sujeto mejora la calidad de su pensamiento inicial. Desde esta perspectiva, la criticidad se puede contemplar como un proceso intelectual encaminado al análisis o problematización racional de un tema, fenómeno o hecho de interés cotidiano, cuyo propósito es generar cuestionamientos, mejores juicios o razonamiento y contribuir a la entereza intelectual de las personas (Paul y Elder, 2007). En esta conceptualización, un pensador crítico se distingue por desarrollar los siguientes rasgos intelectuales:

- Formula problemas y preguntas vitales, con claridad y precisión.
- Acumula, maneja, evalúa información relevante y usa ideas abstractas para interpretar esa información efectivamente.
- Llega a conclusiones o soluciones, probándolas con criterios y estándares relevantes.
- Piensa con una mente abierta dentro de los sistemas alternos de pensamiento.
- Reconoce y valora, según es necesario, los supuestos, implicaciones y consecuencias prácticas alrededor de un tema.
- Muestra autocontrol, esfuerzo permanente y búsqueda de alternativas.
- Al idear soluciones a problemas complejos, se comunica efectivamente.
- Su proceder intelectual suele estar guiado por una serie de hábitos que favorecen la responsabilidad intelectual (Paul y Elder, 2007).

Como se puede advertir, el PC invita a pensar arribando a conclusiones, a asumir una posición y defenderla con argumentos válidos, a transferir ideas a contextos cambiantes, así como a identificar inconsistencias o contradicciones en el razonamiento para su restructuración. Con el fin de promover el PC sobre la NC a través del análisis de textos informales, en esta investigación se tomó como referente teórico-metodológico el enfoque propuesto por Jarman y McClune (2007) y McClune y Jarman (2010). La razón es que permite impulsar de manera progresiva las aptitudes intelectuales inherentes a la noción de PC asumida. Este modelo operacional es el resultado de una serie de entrevistas realizadas a un panel de expertos (especialistas en periodismo científico, investigadores educativos, profesores de ciencias y del área de comunicación)

para establecer perfiles de aprendizaje al analizar textos informativos. Según sus autores, para que los estudiantes se posicionen críticamente frente a este tipo de textos, es necesario que articulen de forma coherente aprendizajes provenientes de cuatro dominios: conocimientos sobre ciencia, habilidades, la ciencia en los medios y actitudes (véase la figura 2).

El primer dominio es el más amplio, pues tiene que ver con el manejo adecuado de terminología, conceptos, conocimientos sobre naturaleza de la ciencia —los cursos de acción que siguen los científicos y los medios de los que se valen para validar nuevos conocimientos—, así como del contexto de aplicación de una temática en particular y sus implicaciones (relaciones CTS–A); el segundo con habilidades de lectura, escritura e interpretación; el tercero está relacionado con la comprensión de preceptos básicos que caracterizan a los textos de naturaleza mediática; mientras que el cuarto con el proceder ético e intelectual tanto en el análisis como en el manejo de la información. En conjunto, este modelo representa un programa amplio y sistemático para impulsar un posicionamiento crítico hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología (McClune y Jarman (2010).

Metodología

Diseño de la investigación

El estudio se llevó a cabo con dos grupos de una institución pública de nivel medio superior, la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur (ENCCH–Sur), la cual forma parte del bachillerato de la Universi-

FIGURA 2. Diagrama ilustrativo de la pasivación de una nanopartícula de plata con los aniones [BH⁻] provenientes del borohidruro de sodio.



Fuente. McClune y Jarman (2010).

TABLA 1. Características de la muestra de estudiantes encuestados en la comunicación de las NC.

Grupo	Turno	Edad promedio (años)	Integración por género Varones / Mujeres	Total alumnos	No. de equipos de trabajo
I	Matutino	17	9 / 17	26	6
II	Matutino	18	10 / 14	24	6
Totales			19 / 31	50	12

Fuente: Elaboración del autor.

dad Nacional Autónoma de México (UNAM). La propuesta de comunicación del tema se implementó en las clases del cuarto curso de química de la ENCCH–Sur. La asignatura en cuestión está centrada en el estudio de sustancias y materiales que tienen como base estructural al elemento carbono, se imparte en el último semestre de este bachillerato y tiene un enfoque propedéutico, por lo que puede considerarse un curso preuniversitario de química orgánica. En el plan de estudios actualizado de esta materia se da pauta a referenciar estudios e investigaciones sobre desarrollos tecnológicos ligados con la química del carbono (CCH, 2016), un hecho que dotó de pertinencia al abordaje de la NC.

Como se indica en la tabla 1, las dos aulas de trabajo fueron divididas en seis equipos conformados por cuatro a cinco integrantes. De esta forma quedaron constituidas doce agrupaciones, cuyo desempeño fue la base para dar seguimiento al aprovechamiento en el trabajo cooperativo ($n = 12$). En el caso de las actividades que involucraron la evaluación individual, la muestra total de estudiantes quedó conformada por cincuenta estudiantes ($N = 50$).

El material de lectura seleccionado para dar tratamiento al tema fue el artículo divulgativo “Grafeno ¿la siguiente revolución tecnológica?” escrito por Murray, G. (2012) para la publicación *¿Cómo ves?*, la revista más representativa de divulgación científica en la UNAM. Este recurso fue seleccionado porque permite ofrecer un panorama general de la NC y su línea discursiva se apega a los cánones de la comunicación pública de la ciencia. Una cuestión a destacar sobre este recurso textual es que en su redacción se realizan una serie de proyecciones a futuro sobre el papel de la NC en el ámbito tecnológico, las cuales resultan idóneas para alentar a los estudiantes a indagar, investigar, así como a argumentar en torno a su validez, es decir, para desarrollar un posicionamiento crítico sobre el tema.

El enfoque didáctico que se siguió en el proceso de análisis textual estuvo basado en el trabajo cooperativo, actividades dialógicas y la mediación docente como una vía en la autorregulación del aprendizaje, esto es, en estrategias pedagógicas abiertas, flexibles y horizontales acordes con la enseñanza del pensamiento crítico (PC) (Gordillo, 2005). En la literatura educativa se menciona que, cuando el aprendizaje en una estrategia de lectura está cimentado en la colaboración, la planificación de situaciones dialógicas y escenarios

deliberativos, se fomenta el desarrollo de habilidades de orden superior como analizar, juzgar, inferir y razonar de forma coherente (Oliveras y Sanmartí, 2009). De esto se sigue la pertinencia de plantear actividades y preguntas abiertas que induzcan a los estudiantes a la discusión de sus posibles soluciones, a la reflexión, así como a la metacognición (Paul y Elder, 2007).

Secuencia de actividades

La labor metodológica reportada en este estudio se efectuó en cuatro sesiones de dos horas, ocho horas totales. Las actividades para dar cauce al análisis del material de lectura seleccionado se diseñaron tomando como referencia cuatro etapas: exploración de ideas previas y contextualización; análisis disciplinar del texto; problematización contextual, y, evaluación argumentativa. Las primeras tres se llevaron a cabo de forma cooperativa, es decir, en una dinámica de pequeños grupos ($n = 12$). Mientras que, la argumentación global del tema se monitoreó de forma individual ($N = 50$). Las cuatro fases antes mencionadas, se describen a continuación.

- a) *Exploración de ideas previas y contextualización.* Representa la etapa de apertura en el análisis de la publicación. Consistió en recabar asociaciones conceptuales alrededor de la NC tomando únicamente como referencia el título, los subtítulos y las imágenes presentes en el texto, así como la identificación de su autoría. También permitió contextualizar, esto es, comunicar a los estudiantes metas de aprendizaje por cubrir, discutir la relación que existe entre la temática abordada con la química estudiada en clase y el valor de arribar a posiciones críticas en su análisis.
- b) *Análisis disciplinar.* En esta segunda fase metodológica se plantearon actividades para que los estudiantes reconocieran la relevancia disciplinar del tema. Esto con el propósito de que activaran una base conceptual previamente adquirida en las clases de química en su interpretación. Varios autores han señalado que, sin la activación y el dominio de un modelo disciplinar, la lectura de un texto informal carece de sentido o rigor suficiente para arribar a opiniones informadas (Norris y Phillips, 2003).
- c) *Análisis contextual.* Se elaboraron reactivos y actividades para que los alumnos problematizaran el material de lectura. Concretamente, los estudiantes realizaron una breve investigación documental en espacios periodísticos reconocidos para contrastar información, identificar implicaciones y consecuencias, así como para tomar en consideración diferentes puntos de vista alrededor del tema. Aunado a ello, resolvieron reactivos que buscaban explorar aprendizajes sobre Ndc y con preceptos básicos alrededor del discurso mediático sobre ciencia y tecnología.

d) *Elaboración y evaluación de argumentos.* Se estableció como estrategia para evaluar lo conseguido en materia de argumentación, la elaboración individual de un ensayo final (N = 50). En este escrito, los alumnos debían adoptar una postura sobre la importancia del estudio del grafeno (material en el que está basado el artículo divulgativo revisado en clase) en el curso de química y defenderla. Se sabe que los estudiantes de este nivel de estudio no están acostumbrados a argumentar en las clases de ciencias (Jiménez–Aleixandre, 2012). Razón por la cual, se determinó apoyarlos al realizar esta actividad ofreciéndoles pautas de redacción. Adicionalmente, se elaboró una rúbrica que permitiera evaluar de forma precisa lo conseguido en este rubro y que fuera consistente con el trabajo realizado por los estudiantes.

En la tabla 2, se esquematiza el tipo de actividades que emprendieron los estudiantes en cada una de las cuatro sesiones que comprendió el proceso de análisis textual, así como el tiempo aproximado en su realización.

TABLA 2. Descripción de las actividades realizadas por sesión.

Nº sesión / Modalidad	Tiempo / Actividades		
1 / Trabajo cooperativo (n = 12)	30 minutos	30-60 minutos	60-120 minutos
	<ul style="list-style-type: none"> Exploración de ideas previas. Contextualización 	<ul style="list-style-type: none"> Lectura individual del texto. Resolución de dudas. 	Análisis disciplinar del texto (I): <ul style="list-style-type: none"> Noción de alotropía. Descripción de la estructura y enlace de las nanoestructuras de carbono a las que se hace referencia en la publicación.
2 / Trabajo cooperativo (n = 12)	30 minutos	30-120 minutos	
	Análisis disciplinar del texto (II): <ul style="list-style-type: none"> Relevancia de la nc en el estudio de la química. 	Problematización contextual del material de lectura (I): <ul style="list-style-type: none"> Investigación documental (relación CTS-A). Juego de rol para dar seguimiento a aprendizajes sobre NDC. 	
3 / Trabajo cooperativo (n = 12) e individual (N = 50)	60 minutos		60-120 minutos
	Problematización contextual del material de lectura (II) : <ul style="list-style-type: none"> Discusión de información y resolución de reactivos sobre el perfil de aprendizaje “la ciencia en los medios”. 		Argumentación (I): <ul style="list-style-type: none"> Presentación a los estudiantes del formato y las pautas a seguir en la elaboración del producto para evaluar la argumentación individual sobre el tema —ensayo final—. Tiempo para estructurar el 1er borrador del ensayo final. (Actividad individual).
4 / Trabajo en pares e individual (N = 50)	60 minutos		60-120 minutos
	Argumentación (II): <ul style="list-style-type: none"> Co-evaluación del 1er borrador del ensayo final con una rúbrica y dinámica basada en la discusión en pares. 		Argumentación (III): <ul style="list-style-type: none"> Corrección y obtención de la versión final del ensayo. (Actividad individual).

Fuente: Elaboración del autor.

Reconocimiento y valoración del pensamiento crítico en torno a la NC

Los productos analizados para reconocer el desarrollo de elementos de PC sobre el tema fueron los veinticuatro reactivos que dieron cauce al proceso de análisis textual (anexo 1), así como los ensayos recabados de forma individual. Las respuestas obtenidas en los reactivos y el aprovechamiento observado en las sesiones de trabajo se valoraron tomando en consideración los indicadores de aprendizaje del enfoque que se tomó como referente metodológico al diseñar las actividades plantadas —el modelo operacional de Jarman y McClune— (anexo 2). Por su parte, la evaluación de los ensayos se realizó con una rúbrica de elaboración propia, cuya efectividad fue probada en sesiones que precedieron la labor metodológica reportada en esta investigación (anexo 3).

Como se ha mencionado, los indicadores de aprendizaje aluden a cuatro categorías de análisis: conocimientos sobre ciencia, habilidades, la ciencia en los medios y actitudes. Para dar un seguimiento al aprovechamiento que se puede conseguir en cada una de ellas, los indicadores se agruparon en tres niveles de desempeño: básico, intermedio y avanzado. Debido a que, en este enfoque de trabajo se conceptualiza al PC como una virtud intelectual, esto es, como una capacidad emergente y progresiva (Meinguer, 2015), el esquema de evaluación prioriza un análisis cualitativo del aprendizaje. En consecuencia, el nivel que pueda alcanzarse dependerá de la edad, las habilidades, el desempeño académico y, sobre todo, de la experiencia tanto de los alumnos como de los docentes en la utilización de este tipo de fuentes en el trabajo escolar (McClune y Jarman (2010).

En lo concerniente a la rúbrica para evaluar lo conseguido en argumentación, esta contempla ocho rubros: 1) vocabulario, 2) información disciplinar, 3) información contextual, 4) postura, 5) coherencia, 6) justificación, 7) contraargumentación, y, 8) actitud reflexiva. En conjunto, este recurso cubre los aspectos esenciales que se considera debe cumplir un sujeto al exponer de manera coherente y fundamentada un argumento o conclusión (Walton, 1999). Para dar seguimiento al aprovechamiento conseguido en cada subapartado, se asocia un puntaje que oscila entre 1 y 4. De forma que, la puntuación de 1 indica un ejercicio argumentativo deficiente, la calificación de 2 hace alusión a un desempeño suficiente, de 3 a regular y un puntaje de 4 denota una ejecución óptima.

Resultados

Los resultados de este estudio son presentados en el siguiente orden: a) exploración de ideas previas; b) aprovechamiento obtenido en los cuatro ejes que dieron cauce al proceso de análisis textual, y, c) argumentación. La conjunción de los logros conseguidos en estos tres apartados constituyen la evidencia que permite sostener el desarrollo de elementos de PC.

a) Exploración de ideas previas

Se observó que, la mayoría de las agrupaciones (más del 80%) fue capaz de identificar de manera correcta datos relacionados con la autoría y procedencia editorial de la publicación revisada en el salón de clases. Sin embargo, en los reactivos que solicitaban exponer ideas sobre la naturaleza de la fuente donde se extrajo el texto, se obtuvieron respuestas ambiguas. Por ejemplo, uno de los problemas más comunes fue que los alumnos no pudieron explicar con claridad la función divulgativa de la revista a la que pertenecía el artículo o la definieron incorrectamente como una publicación científica.

Al referenciar el tema central del material de lectura, la mayoría de los equipos de trabajo se limitaron a parafrasear el título o los subtítulos de este, un indicio de que sus ideas previas sobre la nanotecnología del carbono (NC) eran limitadas. Las asociaciones conceptuales más recurrentes que se establecieron en relación con el tema fueron la noción de alotropía y de nanotecnología previamente discutidas en clase. En general, los estudiantes explicitaron de forma correcta la relación que guarda el tema con el estudio de la química del carbono.

b) Aprovechamiento en las categorías de análisis del texto

En la mayoría de los ejes de análisis, se obtuvo un desempeño escolar que fue ubicado en un nivel intermedio, con excepción de lo conseguido en el rubro actitudinal donde los resultados se situaron en el nivel avanzado. En la tabla 3, se muestran los resultados conseguidos en cada perfil de aprendizaje y se representan gráficamente en la figura 3.

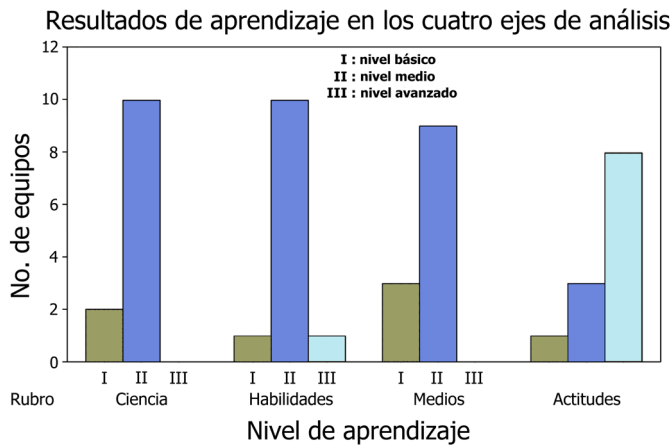
Los resultados obtenidos en el primer dominio indican que los estudiantes fueron capaces de activar y construir aprendizajes suficientes en la interpretación del tema. Específicamente, los jóvenes pudieron establecer semejanzas y diferencias estructurales entre las nanoestructuras de carbono

TABLA 3. Desempeño escolar en los cuatro ejes de análisis en el proceso de análisis textual (n = 12).

Categoría de análisis	N. Básico	%	N. Medio	%	N. Avanzado	%
Conocimientos sobre Ciencia	2 equipos	16.66	10 equipos	83.33	0	0
Habilidades	1 equipo	8.33	10 equipos	83.33	1 equipo	8.33
Ciencia en los medios	3 equipos	25	9 equipos	75.0	0	0
Actitudes	1 equipo	8.33	3 equipos	25.0	8 equipos	66.66

Fuente: Elaboración del autor.

FIGURA 3. Resultados de aprendizaje conseguidos en el proceso de análisis textual.



Fuente: Elaboración del autor.

citadas en la publicación (grafeno, nanotubos y fullerenos) y el grafito (material macroscópico que las engloba), una cuestión que redituó en la comprensión de sus propiedades, así como en el sentido de algunas de sus aplicaciones. Asimismo, mencionaron que el valor científico de las nanoestructuras de carbono estriba en la caracterización que se ha reportado sobre sus propiedades físicoquímicas, no así en sus posibles aplicaciones tecnológicas a las que atinadamente catalogaron como proyecciones a futuro. Finalmente, en lo respectivo a la relación CTS-A, se encontró una continua referencia a trabajos que están señalando los posibles efectos toxicológicos que los nanomateriales de carbono pueden provocar en el ramo de la salud y el medio ambiente, el amplio financiamiento que recibe esta línea de investigación y su potencial de revolucionar la industria de los electrónicos.

En lo que respecta al segundo eje de análisis, no se identificaron obstáculos relacionados con vocabulario o terminología que minaran la interpretación de la información consultada sobre el tema. La razón de haber situado el aprovechamiento en un nivel intermedio se debió a las limitadas habilidades de redacción que imperan en el bachillerato. Un dato a destacar que se desprende del trabajo de campo realizado en este apartado fue que la petición de argumentos en contra del tema elevó el nivel de su discusión y el grado de reflexión en su internalización.

Gracias a que se incentivó el análisis sobre la función, las ventajas y las desventajas del texto revisado en clase, en las actividades enmarcadas dentro del tercer rubro de aprendizaje denominado la ciencia en los medios, los estudiantes dieron muestra de reconocer la alta carga de subjetividad que caracteriza al discurso mediático sobre ciencia y tecnología. Esto, al señalar que el artículo divulgativo no recoge todos los puntos de vista que se consideran

relevantes alrededor del tema, pues omite o hace poca referencia a las implicaciones socioambientales que se están investigando alrededor de la NC. Lo anterior, fomentó prudencia y cautela en su interpretación, una cuestión que resultó favorable en el logro de un posicionamiento crítico hacia el tema.

En el ámbito actitudinal se consiguieron los mejores resultados, pues los jóvenes cubrieron satisfactoriamente con la mayoría de las disposiciones demarcadas en su evaluación. No obstante, es importante tener en cuenta que son los logros menos tangibles debido a la complejidad que acompaña a la valoración de este tipo de aprendizajes. Conforme fue avanzando el proceso de análisis textual, se pudo constatar el desarrollo de un escepticismo saludable (moderado) y un aumento en el grado de asertividad en la elaboración de argumentos. En adición a esto, se observó de manera constante apertura a la temática abordada como a las fuentes de consulta utilizadas, respeto, tolerancia y disposición a intercambiar información e ideas con responsabilidad.

c) Argumentación

La habilidad de argumentar en este trabajo se entiende como el proceso de arribar a una conclusión y defenderla con base en razones. Resulta arriesgado sostener que se ha desarrollado pensamiento crítico sin otorgar importancia a la argumentación, ya que esta habilidad refleja en gran medida el entendimiento que se puede construir sobre un tema. Como se ha señalado, esta aptitud se evaluó de forma individual (N = 50) con la elaboración de un ensayo al dar cierre a la metodología. Las puntuaciones obtenidas en la rúbrica diseñada para la evaluación de este producto final se presentan a continuación (se muestran algunos ensayos obtenidos por los estudiantes en el anexo IV).

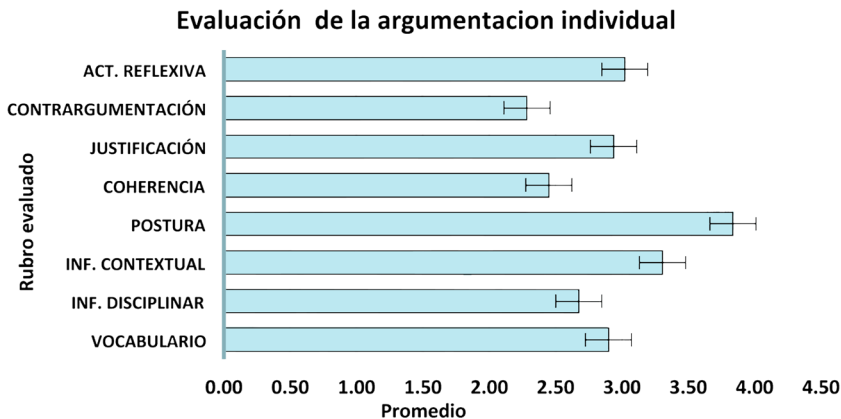
Como se puede observar en la gráfica de la figura 4, los puntajes más bajos corresponden a los rubros contrargumentación y coherencia. En el

TABLA 4. Promedio de los elementos contemplados en la evaluación de la argumentación individual sobre el tema (N = 50).

Rubros a evaluar (ensayo final)	Promedio (\bar{x}) y desv. estándar (σ)
Vocabulario	2.90 ± 0.30
Información disciplinar	2.67 ± 0.61
Información contextual	3.31 ± 0.84
Postura	3.84 ± 0.37
Coherencia	2.45 ± 0.50
Justificación	2.94 ± 0.62
Contrargumentación	2.29 ± 0.45
Actitud reflexiva	3.02 ± 0.72
Puntuación total	23.41 ± 1.73 (73.16%)

Fuente: Elaboración del autor.

FIGURA 4. Promedios de los elementos evaluados en los escritos finales (N = 50).



Fuente: Elaboración del autor.

primer caso, el resultado indica que a los estudiantes les costó mucho trabajo referenciar puntos de vista contrarios a la posición que defendían en su ensayo o información que se considera problemática sobre el tema, pero la consideraron. Por su parte, la baja puntuación en lo relativo a coherencia se explica por una problemática que se ha mencionado reiteradamente, la escasa habilidad de redacción que exhiben los alumnos de bachillerato.

Al revisar los ensayos se obtuvo un puntaje promedio de 23.41, un valor que indica que se cubrieron alrededor del 73% de las habilidades presentes en la rúbrica de evaluación, lo que permitió situar el desempeño obtenido en un nivel muy próximo al regular. En estos escritos fue posible identificar que los alumnos lograron recopilar y valorar información relevante sobre el tema, considerar diferentes puntos de vista en su análisis, establecer acuerdos y desacuerdos, reconsiderar afirmaciones, construir una opinión informada, así como mantener una actitud reflexiva en su defensa. Rasgos que apuntan al desarrollo del PC.

Finalmente, para corroborar si el desempeño individual conseguido en materia de argumentación fue consistente con la labor realizada en equipo, se cotejaron las evaluaciones obtenidas en los ensayos en las doce agrupaciones. Se encontró que en nueve de los equipos la media grupal calculada era muy cercana al valor promedio conseguido en la evaluación individual (23.41). Un resultado que indicó uniformidad en el ejercicio argumentativo (figura 5).

Como se puede observar en la figura 5, únicamente en tres casos, se observó disparidad, un equipo con un rendimiento destacado (superior a los 25 puntos) y dos que estuvieron por debajo de la media estadística tomada como base en la comparación. En general, los alumnos cumplieron satisfactoriamente con las expectativas trazadas en argumentación.

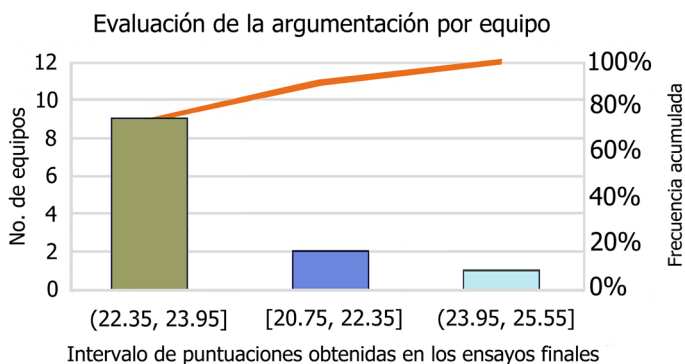
Discusión de resultados

Lo reportado en esta investigación muestra que promover aprendizajes hacia temáticas científicas de frontera con fuertes implicaciones tecnológicas y socioculturales, como la nanotecnología, mediante el análisis crítico de información presente en los medios, es una labor compleja y demandante. Pues requiere de un trabajo sistematizado que contemple la articulación de conocimientos y aptitudes que vayan más allá del dominio disciplinar de un tema. Por otra parte, al ser el pensamiento crítico (PC) un constructo intelectual cimentado en una formación basada en el desarrollo de virtudes tanto cognitivas como disposicionales, su adquisición requiere de experiencia y trabajo continuo. Por lo tanto, no puede considerarse como un resultado negativo, el haber conseguido un nivel de aprovechamiento intermedio en las categorías de aprendizaje que se cubrió para impulsar su desarrollo. Especialistas en el campo de la enseñanza del PC han señalado que, para la obtención de resultados exitosos es necesario incorporar este tipo de pensamiento como un elemento transversal en los programas de estudio, así como formar profesores que cuenten con una formación suficiente en su promoción (Herrera, 2008). Para que este planteamiento adquiera fuerza, resulta apremiante ofrecer más y mejores prácticas, lo realizado en este estudio es una apuesta en esa dirección.

Se considera que son tres las aportaciones más importantes que se desprenden de este trabajo al campo de la educación química. La primera de ellas tiene que ver con la temática abordada, la cual robustece y dota de actualidad al proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. La segunda con la estrategia que se siguió para promover la argumentación hacia el tema y la tercera con el fomento de una cultura científica en el escenario escolar.

En lo referente al tema disciplinar que guió esta investigación, el haber comunicado aspectos generales sobre la NC ayudó a que los estudiantes com-

FIGURA 5. Resultados obtenidos al promediar los ensayos finales por equipo (n = 12).



Fuente: Elaboración del autor.

prendieran cómo ha evolucionado la química del carbono, tomando nuevas rutas de acción que distan mucho de sus cánones tradicionales. Por ejemplo, al ahondar y contrastar información disciplinar sobre el tema, los jóvenes pudieron percatarse de la fuerte connotación instrumental que reviste la caracterización de las propiedades del carbono en la nanoescala. También que la búsqueda de aplicaciones de estas propiedades no es un asunto exclusivo de la química, converge en ello con la física, la ciencia de materiales, la ingeniería molecular, la biología e inclusive con la medicina. Resultó muy conveniente impulsar el entendimiento de la importancia que tiene la interdisciplinariedad en la investigación nano, pues en un rasgo muy distintivo no solamente de este campo sino de la ciencia contemporánea en general.

Por otro lado, gracias a que se evidenció la relación CTS-A en el proceso de análisis textual, fue posible referenciar en el salón de clases investigaciones y productos tecnológicos de vanguardia, impulsar el reconocimiento de algunas implicaciones socioambientales en torno al tema y mostrar su dimensión sustentable. Una labor que coadyuvó a ofrecer una imagen de la química del carbono como un área útil y confiable en la resolución efectiva de problemas. Cuando se muestra la relevancia que tiene la química en el ámbito social se contribuye a mejorar su imagen pública. Una tarea que es ampliamente compartida por investigadores, docentes y divulgadores cuyo ejercicio profesional está relacionado con esta importante disciplina (NAS, 2016).

Otra ventaja a resaltar sobre el tratamiento de la NC en la educación química es que invita a los docentes a renfocar su perspectiva de la enseñanza de esta ciencia y, con ello, a otorgar mayor importancia a contenidos que guardan relación con la estructura de la materia. En el estudio de la nanotecnología resulta sustancial evidenciar la conexión existente entre las propiedades de los materiales con su tamaño, es decir, abordar en el salón de clases aspectos relacionados con el mundo cuántico. Al llevar a cabo lo anterior, no solamente se contribuye a que los estudiantes de bachillerato comprendan importantes fenómenos químicos que tienen lugar en la escala “nano” como la catálisis, la adsorción y algunos procesos de síntesis de nuevos materiales, también, permite unificar criterios explicativos en el tratamiento de contenidos disciplinares que son considerados torales, como es el caso del enlace químico y la geometría molecular.

La segunda cuestión que se defiende de la propuesta metodológica descrita es la estrategia que se trazó para promover la argumentación. Se encontró que cuando se apoya a los estudiantes a poner en práctica esta labor intelectual discutiendo aspectos sobre su relevancia en el análisis de información mediática, ofreciéndoles pautas a seguir y estableciendo criterios en su valoración que sean consistentes con los objetivos de aprendizaje, se pueden conseguir resultados favorables. Incentivar la aptitud de argumentar reforzó el dominio conceptual del tema, amplió el horizonte en su interpretación y la responsabilidad en su aprendizaje. De hecho, lo realizado al respecto es un elemento distintivo de este estudio en comparación con otros

trabajos afines en el campo (Norris y Phillips, 2003; Gordillo, 2005; Oliveras y Sanmartí 2009; 2013), ya que robustece el trabajo metodológico en torno a esta habilidad y propone un instrumento de evaluación más preciso en su evaluación. Sin embargo, se considera que aún hay mucho que aportar en esta área. Para ello, resulta crucial elaborar un análisis profundo y de connotaciones filosóficas sobre la relación existente entre el PC, la argumentación y el aprendizaje.

Otros aspectos relacionados con el quehacer argumentativo y, que se consideran aportaciones de este trabajo al análisis crítico de la ciencia en los medios son la amplitud en la revisión del texto divulgativo y el dar cuenta de lo conseguido en el rubro actitudinal. En el primer caso se comprobó que la articulación de los aprendizajes resultantes de los cuatro rubros en los que se basó la metodología reportada dotó de rigor y coherencia al entendimiento del tema. En relación con el segundo, se sostiene que, si no se impulsa y valora el aprendizaje actitudinal en el proceso de análisis del discurso mediático sobre ciencia y tecnología, lo que se está incentivando en el aula es el razonamiento reflexivo o analítico, pero la condición de criticidad en el pensamiento queda desvirtuada, debido a que esta posee un fuerte componente disposicional (Paul y Elder, 2007).

La tercera aportación de este trabajo se asocia con el fomento de una cultura científica en el ámbito escolar. En la literatura se menciona que, cuando se hace uso del conocimiento científico para comprender dinámicas sociales, problemáticas socioambientales, innovaciones tecnológicas, tomar decisiones o armonizar la vida social, se está contribuyendo al desarrollo de una cultura científica (Estrada, 2014). Se sostiene que lo reportado en este trabajo promueve este objetivo por la importancia que se le dio al análisis del contexto del tema, así como por el tipo y los alcances de las aptitudes intelectuales inherentes a la formación de la criticidad. En el primer caso, la utilización de fuentes mediáticas y el tipo de temas que se decidió cubrir posibilitó que los estudiantes encontraran significados sociales en torno a la NC. En lo relativo a habilidades y actitudes, promover el desarrollo del PC dota a los estudiantes de un núcleo de capacidades que favorecen la participación informada en materia de ciencia y tecnología, como es el caso de cuestionar, valorar, contrastar, discernir, argumentar, así como actuar de forma autónoma y responsable. Todas ellas, aptitudes altamente beneficiosas en el ejercicio intelectual y que pueden ser transferibles a la vida social.

Conclusiones

La nanotecnología es un área de conocimientos de naturaleza interdisciplinaria cuyos productos e investigaciones tienen el potencial de incrementar la calidad de vida de las personas y contribuir al cuidado ambiental. Una de sus rutas de acción más representativas es la síntesis y caracterización de materiales cuya base estructural es el carbono, un elemento cuyo estudio tiene

una relación histórica con la química. Se espera que, en un futuro no muy lejano, este tipo de nanoestructuras genere aplicaciones innovadoras en el ámbito de la salud, la ciencia de materiales, la industria de los electrónicos y el campo de las energías renovables.

Por lo anterior, es importante contar con estrategias divulgativas de la NC en particular y de la nanotecnología en general en el contexto de la educación formal e informal. En esta investigación se ha propuesto utilizar recursos informales —textos provenientes de los medios de comunicación— para promover una interpretación crítica de esta temática en el marco de la educación química preuniversitaria. Esta labor hizo posible que los estudiantes ampliaran su comprensión del entorno científico y tecnológico actual, que adquirieran habilidades que los capacitan en el manejo de información, así como el desarrollo de actitudes inherentes a la participación informada. Logros que se relacionan con el fomento de una cultura científica.

Finalmente, se puede aseverar que promover el desarrollo del PC en el estudio de la NC en la educación química preuniversitaria contribuye a fomentar el entendimiento y la reflexión sobre la importancia, retos e implicaciones que reviste esta fascinante línea de investigación, dotando con ello de actualidad y sentido al proceso de enseñanza de esta ciencia. Además, permite mostrar lo conveniente que es reforzar el vínculo entre la comunicación pública de la ciencia y la educación científica al abordar cuestiones científicas de frontera.

Referencias

- Aikenhead, G. (2005). Educación ciencia-tecnología-sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. *Educación Química*, 16(2): 114-124.
- Alonso-Núñez, G. (2008). Nanoquímica: ingeniería de nanomateriales, *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 1(1): 45-50.
- Blanco, A. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 1(2): 70-86.
- Blonder, R. (2010). The influence of a teaching model in nanotechnology on chemistry teachers' knowledge and their teaching attitudes. *Journal of Nano Education*, 2(1-2): 67-75. <https://doi.org/10.1166/jne.2010.1004>
- Calvo, M. (2003). *Divulgación y periodismo científico: entre la claridad y la exactitud*, Colección Divulgación para Divulgadores. México: DGDC-UNAM.
- Castellini, O., Walejko, G., Holladay, E., Theim, T., Zenner, G., y Crone, W. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(2): 183-189. <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9160-z>
- CCH (2016). *Programas de Estudio de Ciencias Experimentales: Química III-IV*, UNAM. http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_III_IV.pdf
- Delgado, G. (2008). *Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. México: CEIICH-UNAM.

- Delgado, A., Kjølberg, K. y Wickson, F. (2011). Public engagement coming of age: From theory to practice in STS encounters with nanotechnology. *Public Understanding of Science*, 20(6):826-845. <https://doi.org/10.1177/0963662510363054>
- Estrada, L. (2014). La comunicación de la ciencia. *Revista Digital Universitaria*, 15 (3). <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num3/art18/index.html>
- Gadea, I., Vilches, A. y Gil, D. (2009). Posibles usos de la prensa en la educación científica y tecnológica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23: 153-169.
- Geim A., Novoselov K. (2007). The raise of graphene. *Nature materials*, 6: 186-191.
- Gordillo, M. (2005). Cultura científica y participación ciudadana: materiales para la educación CTS. *Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 2(6): 123-135.
- Herrera, A. (2008). La situación de la enseñanza del pensamiento crítico. Pasado, presente y futuro de la enseñanza del pensamiento crítico en México. *Razón comunicada V/ Ergo* (Nueva época), 15-50.
- Jarman, R. y McClune, B. (2007). *Developing Scientific Literacy: Using News Media In The Classroom*. McGraw-Hill Education (UK).
- Jarman, R. y McClune, B. (2011). *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*, Morata/ Ministerio de Educación de España, Madrid.
- Jiménez-Aleixandre, M. y Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. En *Second international handbook of science education*. Springer Netherlands, 1001-1015.
- Kleike, J. (2009). *National Nanotechnology Initiative: Assessment and Recommendations*. Nueva York: Nova Science Pub. Inc.
- Krug, H. y Wick, P. (2011). Nanotoxicology: An interdisciplinary challenge. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(6): 1260-1278. <https://doi.org/10.1002/anie.201001037>
- Meinguer, J. (2015). La virtud, un paradigma filosófico loable en la educación química. *Educación química*, 26(1): 43-49.
- Meinguer, J. (2016). La lectura crítica de las cuestiones socio-científicas en los medios de comunicación. *Eutopía*, 9(25): 53-61.
- McClune, B. y Jarman, R. (2010). Critical reading science-based news reports: Establishing a knowledge, skills and attitudes framework. *International Journal of Science Education*, 32(6): 727-752. <https://doi.org/10.1080/09500690902777402>
- Murray, G. (2012). Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica? ¿Cómo ves? 164: 22-25.
- NAS (National Academies of Sciences) (2016). *Effective Chemistry Communication in Informal Environments*, Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21790>
- Norris, S., Phillips, L. y Korpan, C. (2003). University students' interpretation of media reports of science and its relationship to background knowledge, interest, and reading difficulty. *Public Understanding of Science*, 12(2): 123-145. <https://doi.org/10.1177/09636625030122001>
- OECD (2012). *Education Today 2013: The OECD Perspective*, OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/education/education-today_22190430

- Oliveras, B. Sanmartí, N. (2009). La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico. *Educación Química*, 20(1): 233-245.
- Oliveras, B., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). The use of newspaper articles as a tool to develop critical thinking in science classes. *International Journal of Science Education*, 35(6): 885-905.
- Paul, R. y Elder, L. (2006). *The miniature guide to critical thinking-concepts & tools*. The Foundation for Critical Thinking. https://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf (Consultado, mayo 20, 2014).
- Paul, R. y Elder, L. (2007). *A guide for educators to critical thinking competency standards*. Foundation for Critical Thinking. <https://www.criticalthinking.org/store/products/critical-thinking-competency-standards-for-educators/227> (Consultado en 2015).
- Pardo, R. (2014). De la alfabetización científica a la cultura científica: un nuevo modelo de apropiación social de la ciencia. En Laspra, B., y Muñoz, E. (eds.), *Culturas Científicas e Innovadoras, Progreso Social*. Buenos Aires: Eudeba, 39-72.
- Reviglio, A. (2014). Por qué y para qué enseñar nanotecnología en las escuelas. En Silvestri, S., Munuce, A. y Alassia, M., *Nanotecnología hoy: el desafío de conocer y enseñar*. Buenos Aires: Ministerio de educación de la Nación, 159-183.
- Ribeiro, A. y de Souza, M. (2014). Proyecto de ambientes innovadores de enseñanza y la propuesta del laboratório de formación interdisciplinar de educadores en nanociencia y nanotecnología-LIFENano/IFSP. *MOMENTO Revista Física*, (49E), 38-48.
- Sánchez-Mora, C. y Tagüeña, J. (2011). El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(2): 83-102.
- Serena, P. (2013). Acercando la nanotecnología a la sociedad: la exposición un paseo por el nanomundo, *Revista Digital Universitaria*, 14(4). <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art29/index.html>
- Serena, P. 2014. Algunas cuestiones a tener en cuenta en los procesos de comunicación de la nanotecnología. En Serena, P., Giraldo, N., Takeuchi, N. y Tutor J. (eds.), *Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en la educación secundaria*. Madrid: nanoDYF.
- Takeuchi, N. (2009). *Nanociencia y nanotecnología, la construcción de un mundo mejor átomo por átomo*. México: FCE (Colección Ciencia para Todos).
- Takeuchi, N. y Basiuk, V. (2011). Investigación de nanoestructuras de carbono en México. En Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, 21-41, Colección Aprender a Aprender, CEIICH, CNyN, UNAM, México: CEIICH-UNAM.
- UNESCO (2006). *Media education. A kit for teachers students, parents and professionals*. París: L'expressmeur. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001492/149278e.pdf>
- Walton, D. (1999). *Informal logic. A handbook for critical argumentation*, Cambridge University Press, Nueva York.

ANEXO I Secuencia de actividades

I. Exploración de conocimientos previos y contextualización

SESIÓN I

De forma individual responde los siguientes reactivos que tienen como finalidad familiarizarte con el tema y material de la lectura.

1. ¿Quién es el autor o los autores de esta publicación? Busca en el texto información al respecto.
2. ¿A qué fuente editorial pertenece este artículo? ¿Qué sabes sobre la revista de donde fue extraído el texto?
3. Realiza una lectura completa e individual del texto. Posteriormente, efectúa las siguientes actividades:
 - a) Subraya las palabras o expresiones que no entiendas y enlístalas para su discusión grupal.
 - b) Escribe dos cosas del artículo que conozcas con seguridad, explícalas brevemente.
4. En una extensión de máximo cinco renglones describe con tus propias palabras la idea central de este texto.
5. ¿Encuentras relación entre este material de lectura y lo estudiado en el curso de Química IV? Justifica tu respuesta

Tiempo estimado: 30 minutos

► Contextualización de la estrategia de comunicación y aclaración de dudas

Después de la lectura individual del texto, el docente, a través de una presentación, da a conocer de forma sintética los objetivos y resultados esperados de esta estrategia de análisis textual. Posteriormente, fomenta y guía una discusión que permita aclarar el mayor número de dudas expresadas por alumnos sobre el texto.

Tiempo estimado: 30 minutos

II. Análisis disciplinar

6. Dado que el grafeno tiene su origen en el grafito, ambas nanoestructuras comparten características químicas en su descripción estructural. En función de lo revisado en clase, señala estas características comunes llenando la siguiente tabla:

Descripción estructural del grafito y el grafeno

Molécula	No. de dominios electrónicos alrededor de cada átomo de carbono	Tipo de dominios electrónicos (enlaces)	Geometría	Ángulos de enlace	Hibridación
Grafito y grafeno					

7. En el texto se menciona que el grafeno es una forma alotrópica del carbono ¿Qué significa esto? Argumenta tu respuesta.
8. Si el grafito y el grafeno comparten las mismas características químicas en su descripción estructural. Contesta:
 - a) ¿Por qué difieren tanto en sus propiedades fisicoquímicas? (*clave: piensen en la estructura global de ambos materiales y la escala de medida donde están descritos*).
 - b) En el texto se menciona que el grafeno tiene primos (nanoestructuras muy similares). ¿Quiénes son?
 - Mira las animaciones en el blog del curso sobre los primos del grafeno. Posteriormente, explica sus diferencias.

- Busca información en internet sobre algunas aplicaciones actuales de los primos del grafeno.

Tiempo estimado: 60 minutos

SESIÓN II

9. Identifica los temas o contenidos que tienen relación con el estudio de la química en la publicación, descríbelos brevemente y contesta: ¿Cuál es la importancia de la lectura de este recurso textual en el curso de Química IV? No olvides justificar tu respuesta.
10. Busca en el texto tres experimentos o investigaciones que usan los autores como evidencia para sostener la afirmación de que el grafeno es un “material maravilloso” y explícalos brevemente (no olvides incluir en esta descripción la institución y/o a los científicos que se les atribuyen tales descubrimientos).
11. ¿A qué conclusión llegan los autores con la evidencia empírica presentada?
12. ¿Por qué crees que los autores realizaron esta publicación? No olvides justificar tu respuesta.

Tiempo estimado: 30 minutos

III. Problematicación contextual del material de lectura

Como se ha indicado, uno de los objetivos de este proceso de lectura es fomentar una comprensión crítica de las NC. Para ello, es fundamental no creer totalmente en la información presente en el texto revisado en clase sino contrastarla y valorarla al consultar otras fuentes. Realiza una breve investigación alrededor del grafeno consultando en internet portales periodísticos o divulgativos, en específico, busca información sobre los siguientes rubros:

- I. Su financiamiento (quiénes patrocinan la investigación sobre grafeno).
- II. Sus aplicaciones reales.
- III. El número de patentes que se han producido sobre el grafeno, los países o empresas líderes en este campo.
- IV. Problemática asociada (ambiental, sanitaria, ética, etc.).

Cada integrante del equipo debe investigar sobre uno de los cuatro rubros antes mencionados, sintetizar su información en media cuartilla y citar la fuente que le fue de mayor utilidad. Posteriormente, en equipo, deberán discutir y organizar la información recabada para efectuar las siguientes actividades:

13. Elaboren un argumento a favor y otro en contra sobre el grafeno u otra nanoestructura de carbono citada en la publicación, (ambos deben poseer base científica, es decir, un dato o un experimento que los respalde).
14. Reflexionen por unos minutos y construyan una pregunta que les gustaría hacer a los autores del texto revisado en clase.
15. Con lo que saben hasta el momento ¿Cuál es su posición sobre la conclusión que ofrecen los autores del artículo divulgativo? Para cualquier inciso que escojan como respuesta, es necesario que argumenten, es decir, que ofrezcan razones que justifiquen su elección.
 - a) Totalmente a favor de los autores...
 - b) Totalmente en contra de los autores...
 - c) Parcialmente a favor de los autores (existen desacuerdos mínimos)...
 - d) Parcialmente en contra de los autores (existen coincidencias mínimas)...

► **El docente entrega a cada equipo de trabajo de manera escrita, la redacción de un juego de rol en donde se solicita dar respuesta a los siguientes reactivos para dar seguimiento a aprendizajes del perfil naturaleza de la ciencia (NdeC).**

16. ¿Está lo suficientemente comprobado todo lo que se habla sobre la nanotecnología del carbono en los medios de comunicación? Proporcionen una respuesta elaborada.
17. Realiza una breve investigación sobre los riesgos asociados con las nanoestructuras de carbono estudiadas en clase. Condensa tu respuesta a este reactivo en una redacción clara y concisa (no mayor a 10 renglones).
18. Según lo investigado: ¿Cuáles son los medios que utilizan los científicos para validar y respaldar los conocimientos que se producen en la investigación sobre nanoestructuras de carbono? Descríbanlos brevemente.
19. ¿Cuál de los siguientes incisos concuerda mejor con su idea de lo que es la investigación científica? Para cualquier inciso que escojan como respuesta, es necesario argumentarla, es decir, ofrecer razones que justifiquen su elección.
 - a) Una actividad que construye conocimientos ciertos, acabados e irrefutables.
 - b) Una actividad que produce conocimientos cuya validez depende exclusivamente de los intereses creados por grupos, instituciones, empresas o gobiernos
 - c) Una actividad que construye conocimientos controvertidos, provisionales (en revisión continua) y que pueden modificarse a través del tiempo por el consenso de una comunidad.
 - d) Ninguna de las anteriores

Importante: No contesten precipitadamente, reflexionen individual y grupalmente sobre sus respuestas.

Tiempo estimado: 90 minutos

SESIÓN III

► Conocimiento de la ciencia en los medios

El siguiente cuadro, les recordará sus clases de taller lectura... pero, para desarrollar una comprensión crítica de un texto, es necesario conocer cuestiones básicas sobre la fuente de donde proviene.

Los artículos relacionados con la ciencia en los medios se suelen caracterizar por:

- *Tratar temas científicos que sean mediáticos o populares (tecnología, medio ambiente, salud, sexualidad, etc.).*
- *Cubren investigaciones novedosas y recientes —ciencia que se está haciendo—, las cuales difícilmente figuran en los currículos escolares.*
- *Poseen una narrativa más cercana a la literatura que al discurso formal usado por los científicos, lo que los hace productos comprensibles para casi todo tipo de público.*
- *Su finalidad no es estrictamente educar sino informar, persuadir, entretener y en ocasiones hasta divertir.*
- *Son útiles como fuentes de partida para adentrarse en un tema científico de interés, pues suelen abordar investigaciones complejas de forma superficial y poco objetiva.*
- *Aunque muchas veces afirman ser imparciales. Los mensajes o textos de ciencia en los medios transmiten valores y puntos de vista de los autores, editorial o instituciones que los respaldan.*
- *Se elaboran con finalidades o intenciones específicas, por ejemplo, crear conciencia o controversia que derive en el apoyo o rechazo social a una línea de investigación en particular.*

Reúnanse de nuevo en equipo y discutan brevemente la información presente en el cuadro. Asimismo, trabajen cooperativamente para dar solución a las siguientes preguntas relacionadas con la forma en como es presentada la información en el material de lectura analizado.

20. Comparen el estilo con que se ofrece la información en el artículo divulgativo (*Grafeno ¿la siguiente revolución tecnológica?*) con la de un libro de texto de química convencional. En función de ello, mencionen por lo menos dos ventajas y dos desventajas que poseen las fuentes científicas informativas frente a los libros de texto.
21. ¿Consideran que el artículo divulgativo trabajado en clase está equilibrado (recoge todos los puntos de vista que son relevantes sobre el grafeno)? Justifiquen su respuesta.
22. ¿Creen que el material de lectura utilizado trata de influir o persuadir a los lectores para que tomen partido por la opinión de los autores? Si es el caso, menciona algunos hechos que corroboren esta tendencia.
23. ¿Es su opinión el punto de vista que ofrecen los autores sobre el grafeno está más cerca de ser positivo y defendible o negativo y condenable? Argumenten su respuesta.
24. ¿Consideran que el uso de materiales provenientes del campo de la comunicación de la ciencia (textos divulgativos y periodísticos) facilitó o dificultó sus aprendizajes sobre el tema? Justifica tu respuesta.

Tiempo estimado: 60 minutos

IV. Argumentación

SESIÓN III

► Elaboración de un escrito final

Como cierre de esta estrategia de lectura, los alumnos realizaron un ensayo final (**actividad individual**), donde mostraron una posición informada sobre el tema. Justifica tu respuesta.

a) Pautas para la realización del ensayo final

Estructura argumentativa	Pautas a considerar en la redacción...
1. <i>Idea de partida o posición manifiesta</i>	Mostrar una posición respecto a la relevancia que posee el estudio de la NC en el cuarto curso de química de la ENCCH-UNAM
2. <i>Evidencias (datos, hechos, cifras)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ► Relación de la NC con la química del carbono (manejo disciplinar de la información). ► El estudio de la NC contribuye a la formación en química de un estudiante... por qué... ► El tema tiene significado en la vida cotidiana... por qué... (importancia tecnológica, ambiental, social, cultural del tema).
3. <i>Contrargumentos y/o refutaciones</i>	Problemática asociada en torno a la NC (cuestiones negativas, controvertidas o delicadas a considerar en el análisis del tema).
4. <i>Reconsideración de afirmaciones</i>	Valoración de los aspectos positivos y negativos expuestos sobre la NC. Incorporación de información alternativa (por ejemplo, conocimientos o beneficios que el estudio de la NC pudiera generar en áreas ajenas a la química)
5. <i>Conclusiones</i>	Por lo tanto concluyo que...

El tiempo restante se otorgó a los estudiantes para que comenzaran a construir su ensayo. También, para resolver dudas de forma individual en torno al escrito final. Se les solicita que terminen el ensayo reflexivamente en casa y lo entreguen al inicio de la siguiente sesión.

Tiempo aproximado: 60 minutos

SESIÓN IV

► Coevaluación del ensayo final

Intercambia tu ensayo con el compañero/a que te indique el profesor, se llevará a cabo un proceso de co-evaluación para mejorar la calidad del primer borrador de tu escrito.

Nombre del redactor/a _____

Criterios de evaluación	Sí	R	No	¿Qué aconsejarías para mejorarlo?
1. ¿Manifiesta una posición de forma clara?				
2. ¿En el texto se identifica con claridad la relación del tema con la química del carbono? (Se hace uso de información química de forma correcta y adecuada)				
3. ¿Las evidencias (datos y experimento sobre el grafeno) que ofrece para defender su punto de vista tienen base científica?				
4. ¿Sus razones o argumentos te parecen suficientes, confiables y bien elaborados?				
5. ¿Su texto está escrito de forma coherente, precisa y clara?				
6. ¿Refuta y/o hace alusión a información controvertida o contraria a su punto de vista?				
7. ¿Su conclusión es consecuencia de los argumentos expuestos?				
8. ¿El texto te convence?				

Nombre del evaluador/a _____

Tiempo aproximado: 60 minutos

ANEXO II
Indicadores de aprendizaje utilizados en la evaluación de los perfiles de aprendizaje cubiertos al promover el pensamiento crítico¹

1. Conocimientos sobre ciencia

Conocimientos sobre Ciencia	Nivel básico (1)	Nivel medio (2)	Nivel avanzado (3)
a) Conocimientos disciplinares o conceptuales	• Los estudiantes construyen sus conocimientos disciplinares sobre un tema a partir de las ideas y la terminología presente en el texto.	• Los estudiantes poseen conocimientos básicos que les permiten hacer frente al tema y vocabulario científico presente en el texto.	• Los estudiantes tienen la capacidad propia de evaluar la información científica que se presenta en una publicación y de auxiliarse de otras fuentes académicas.
b) Conocimientos sobre la naturaleza de la investigación científica	• Los estudiantes adquieren una idea básica de lo que es la investigación científica al realizar investigaciones documentales sencillas.	• Los estudiantes deben tener conciencia de cómo se desarrolla la investigación científica, incluyendo el proceso de revisión/discusión por pares y la incertidumbre asociada.	• Los estudiantes además de reconocer cómo se desarrolla la ciencia en las comunidades científicas, identifican los intereses alrededor de una temática en particular y cómo se ven reflejados en una publicación informativa.
c) Conocimientos sobre ciencia y sociedad	• Los estudiantes deben ser conscientes de que la ciencia se aplica en la vida cotidiana.	• Los estudiantes deben saber que la aplicación de la ciencia en la sociedad no siempre es directa y puede suscitar cuestiones éticas y morales.	• Los estudiantes deben reconocer el alcance, las limitaciones y el riesgo asociado que reviste la ciencia presente en los medios de comunicación.

2. Habilidades

3. La ciencia en los medios

NIVEL BÁSICO (1)

- ▶ Los estudiantes muestran habilidades deficientes para leer y comprender la información textual, así como para interpretar recursos presentes en la publicación (imágenes, graficas, tablas, modelos, etc.).

NIVEL INTERMEDIO (2)

- ▶ Los estudiantes son capaces de examinar los textos para identificar datos impor-

¹ Los indicadores de aprendizaje fueron tomados de: Jarman, R. y McClune, B. 2011. *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*. Morata/ Ministerio de Educación de España, Madrid.

tantes, enunciados principales, seguir una cadena de razonamiento, reconocer enunciados de opinión y de persuasión.

- ▶ Los estudiantes reconocen la necesidad de consultar varias fuentes al analizar la información presente en un texto científico informal.

NIVEL AVANZADO (3)

- ▶ Los estudiantes deben ser capaces de explicar, de manera clara e informada, las cuestiones sobre las que estén de acuerdo o en desacuerdo con los puntos de vista presentados en una publicación.

4. Actitudes

NIVEL BÁSICO (1)

- ▶ Los estudiantes deben entusiasmarse e interesarse por descubrir más aspectos de la ciencia en los medios, y entender que estas fuentes pueden alertarlos sobre cuestiones importantes.

NIVEL INTERMEDIO (2)

- ▶ Los estudiantes deben responder a los contenidos de la ciencia en los medios con una mentalidad abierta, escéptica (saludable o moderada) y una actitud reflexiva.
- ▶ Los estudiantes deben reconocer que la ciencia es una parte importante de la vida y la cultura.

NIVEL SUPERIOR (3)

- ▶ Los estudiantes son capaces de emitir juicios fundamentados sobre cuestiones sociocientíficas.
- ▶ Desarrollan la confianza y el compromiso suficiente para investigar y construir opiniones informadas sobre un tema disciplinar en cuestión.
- ▶ Los jóvenes son capaces de tomar decisiones racionales sobre aspectos sociocientíficos de interés (autonomía intelectual).

ANEXO III
Rúbrica empleada para la evaluación de la argumentación individual sobre el tema

Rubros a evaluar	Niveles de desempeño			
	1 (Deficiente)	2 (Suficiente)	3 (Regular)	4 (Óptimo)
1. Vocabulario	El uso que hace de las palabras es inapropiado y confuso.	El uso que hace de las palabras es reiterativo.	El uso que hace de las palabras es preciso.	El uso que hace del lenguaje es amplio y apropiado.
2. Información disciplinar	Hay ausencia de conceptos disciplinares clave sobre el tema.	Utiliza de manera limitada la información disciplinar en torno al tema.	Referencia conceptos científicos clave de manera correcta, pero hace poco uso de ellos.	Utiliza la información disciplinar de manera apropiada en la construcción de argumentos.
3. Información contextual	No reconoce la presencia de aspectos contextuales sobre el tema.	Su dominio contextual del tema es pobre y desarticulado.	Reconoce información contextual relevante, pero su utilización es limitada.	Hace uso de la información contextual de manera apropiada en la construcción de argumentos.
4. Postura	Ofrece comentarios generales.	Comenta las posturas y no asume ninguna.	Enuncia una postura de manera superficial (a favor o en contra).	Define claramente una postura y ofrece una justificación al defenderla.
5. Coherencia	Menciona ideas desconectadas y/o contradictorias.	Hay una conexión débil entre la información disciplinar y contextual vertida.	Sus argumentos son consistentes, pero no congruentes.	Presenta consistencia y congruencia en su discurso.
6. Justificación	Su afirmación o rechazo se sustenta en lo que cree que es verdadero.	Su afirmación o rechazo se fundamenta en opiniones externas de orden común (creencias socioculturales).	Su afirmación o rechazo se sustenta en experiencia o juicios personales que generaliza.	Su afirmación o rechazo se sustenta en evidencia empírica y/o en fuentes documentales acreditadas.
7. Contrargumentación	Ausencia de contrargumentación o refutaciones.	Referencia de manera trivial aspectos controvertidos a la idea o posición que defiende.	Comenta aspectos controvertidos y/o contrarios a su posición.	Replantea argumentos basándose en los puntos controvertidos y/o contrarios a su posición.
8. Actitud reflexiva	Manifiesta que solo existe un punto de vista (incuestionable).	Manifiesta que sabe de la existencia de diferentes puntos de vista, pero solo uno es correcto.	Manifiesta que existen diferentes puntos de vista, pero su capacidad para establecer acuerdos y desacuerdos es limitada.	Manifiesta que existen diferentes puntos de vista, mostrando capacidad para establecer acuerdos y desacuerdos de manera fundamentada.

ANEXO IV EVIDENCIAS

En esta sección se muestran ensayos recabados durante la puesta en marcha de la propuesta metodológica reportada en este estudio.

——— 0 ———

► Ensayo 1

Ana Sheila Mondragón Pérez

Grupo: 629

El grafeno: Importancia de su estudio en el Colegio de Ciencias y Humanidades

Estoy a favor de la incorporación del estudio del grafeno en la asignatura de Química IV del Colegio de Ciencias y Humanidades porque el mencionado curso es de química orgánica, sin el carbono no se puede hablar de este tema y el grafeno es una forma alotrópica de este elemento ya que es una sola capa del grafito; es una capa de átomos de carbono unidos en forma de hexágonos, aunque tanto el grafeno como el grafito son formas alotrópicas del carbono, poseen propiedades totalmente distintas, debido a que en el tamaño nano, las propiedades de los elementos o materiales, pueden cambiar.

Es imprescindible que los alumnos de este bachillerato conozcan las propiedades, los usos, las ventajas que este nuevo material produce ya que con sus características únicas, existe una posibilidad de que en un futuro este material participe en las actividades que realizamos diariamente debido a que es un muy buen conductor de calor y electricidad, incluso mejor que el cobre y puede ser utilizado en el campo de la electrónica como baterías de larga duración, y en muchas otras industrias como la de la aviación, porque además de lo mencionado es un material súper resistente y ligero (200 veces más resistente que el acero y 6 más ligero) por esto mismo, tendrían menos pesos los aviones y mejoraría la eficiencia del combustible. También podría ser usado en dispositivos flexibles, portátiles y enrollables, y en casi todas las industrias.

También es importante que los estudiantes se informen de las desventajas actuales del grafeno pues no todo es positivo con este material; una de estas es que su conductividad es continua y al no poder detenerse, como conductor es difícil de utilizar por ese inconveniente, además, aún no se logra su producción comercial ya que solo se sintetiza en pequeñas cantidades. Otra dificultad que no está comprobada pero es posible, es que las partículas de grafeno, si no están adheridas se pueden respirar e introducirse al cuerpo humano y por consiguiente, causar daños en la salud.

En la mayoría de los artículos de divulgación no se hace mención de estas problemáticas y si lo hacen, es de manera muy superficial pero si se estudia en el curso de química tendremos presente tanto lo positivo como lo negativo de este material y tendremos mayor consciencia de las posibles consecuencias que nos traerá su desarrollo. Considero que si se logran superar los inconvenientes del grafeno el provecho que se le puede sacar a este revolucionario material es inmenso, nos facilitaría aún más las actividades cotidianas pero también es necesario que se emplee de manera equilibrada, responsable y sustentable. Recientemente se descubrió en la universidad de Hong Kong que el óxido de grafeno funciona como un buen limpiador de aguas mezcladas con residuos radioactivos, entonces no solo es un beneficio que las personas utilizaríamos como lujo, sino que podría representar una nueva esperanza para mejorar el mundo, empezando, quizá, por limpiar aguas contaminadas con material radioactivo.

Por todo lo mencionado anteriormente, puedo concluir que el grafeno tiene grandes posibilidades de convertirse en el material más utilizado en el futuro, para que esto no nos tome por sorpresa, los estudiantes del CCH deben estar informados sobre este nuevo material y lo prometedor que parece. Es cierto que la ciencia avanza a pasos agigantados y no dudo que en poco tiempo las limitantes del grafeno sean superadas y sus propiedades sean explotadas al máximo, aun así, los estudiantes deben aprender que no todo sobre este material es maravilloso, como en todo, existirán riesgos y de ello se debe hablar en las aulas pero no solamente de química, pues como ya he mencionado, el grafeno revolucionará el mundo tecnológico y formará parte de todas las industrias actuales entonces no solo es un tema de química o de alguna materia en específico, sino de todo lo que nos rodea en la vida cotidiana.

— o —

► Ensayo 2

Jorge Adolfo Domínguez González

Grupo 637

El grafeno, ¿nuevo tema de estudio?

Implementar el estudio del grafeno en el curso de Química VI tiene grandes ventajas. Desarrollar un tema de la actualidad en el programa de Química VI puede generar en los estudiantes un pensamiento analítico. Es un gran cierre para el curso, particularmente con la nanotecnología en donde existe un repaso sobre el estudio de la química y lo que esta conlleva. El grafeno tiene relación con la química ya que este es un alótropo del carbono, lo que quiere decir que tiene una estructura diferente a otras presentaciones del carbono como el diamante. La química es el estudio de la transformación de la materia, busca descubrir nuevas sustancias, el grafeno es un material nuevo de una forma transformada del carbono. Es necesario estudiar la manera en que los medios de comunicación retratan los temas científico y con esto tenemos la oportunidad de aprender a discriminar las ideas de los hechos y formar una opinión propia. En las últimas sesiones hemos trabajado el tema como parte de la asignatura y, en la última clase, he podido notar que una mayoría, sino es que todo el grupo, ha concordado con que un artículo de divulgación científica estaba incompleto en lo que respecta a la información. La conclusión de la mayoría del grupo fue que el artículo es tendencioso ya que no muestra todo lo relacionado al grafeno, pretende convencernos de que este material es demasiado ventajoso. No muestra las contras ambientales ni sanitarios. Hay desventajas en incluir el grafeno en el estudio de la asignatura. Cambios en los planes de estudio pueden tomar mucho tiempo y, en el caso de que se descubra un nuevo elemento que sea más prometedor que el grafeno, aún con la cantidad de desarrollo y patentes en países y empresas, podría haber un desplazamiento de este material y el tema envejecería, por lo que el tiempo que tardan los planes de estudios influye en qué tanto envejece el tema antes de poderlo modificar para poder actualizarlo. Aunque se me dificulta ver un cambio tan radical en la industria, ya que el grafeno es un material que para muchos centros de investigación e instituciones educativas es una realidad y una meta. También existe el problema de que el enfoque del estudio grafeno sea a partir de los medios de comunicación en donde el tema, en la mayoría de ocasiones, no es tratado de manera objetiva, como ya mencioné, en el artículo en el que trabajamos en clase faltaba información sobre los problemas ambientales y sanitarios que el grafeno conlleva. Estoy a favor de la inclusión del estudio del grafeno en la asignatura de Química VI pero tengo mis reservas. Lo mejor sería tratar al tema en un enfoque en el que se busca estudiar cómo los medios de comunicación representan y perciben

temas científicos para desarrollar un pensamiento analítico, en el caso del desplazamiento del grafeno por un material mejor, este enfoque sigue siendo vigente e incluso podría beneficiarlo ya que podemos tratar cómo expectativas generadas por los medio de comunicación llegan a no cumplirse. De la misma manera, es con este enfoque que, idealmente, se espera un estudio objetivo, tratando todas o la mayoría de las desventajas y ventajas del material.

— o —

► Ensayo 3

Jannet Aketzali Montoya Espinosa

Grupo:629

¿Palomita al grafeno?

La incorporación del grafeno al programa de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades en la asignatura de Química IV lo considero bueno e incluso necesario para que los jóvenes tengamos acceso a los avances de la ciencia y la tecnología, pues desde hace varios años las generaciones se han mantenido con programas sumamente teóricos, los cuales no se logran relacionar con la vida cotidiana de los estudiantes, provocando que el interés por los mismos disminuya.

La incorporación del tema del grafeno al programa de estudios permitiría que los alumnos engloben y comprendan de mejor forma los temas básicos vistos a lo largo del semestre, pues se trata de un curso de química del carbono y el grafeno es un alótropo más de este material, es una de las capas que conforman al grafito pero las notables diferencias con este último es algo que llama la atención. Con este contenido se lograría que los estudiantes relacionen su educación química con temas de interés, en este caso la tecnología, y puedan relacionar esto con su vida cotidiana, alcanzando el objetivo de mantener la atracción de los alumnos por la materia.

No todo es tan fácil, me parece que sería fundamental estudiar la nanotecnología en general y no solamente enfocamos en el grafeno, dedicar sesiones a informar primeramente qué es la nanotecnología, y los alótropos del carbono para lograr que el estudio del grafeno no reste valor a estos, pues a pesar de no tener aplicaciones actuales abundantes no podemos descartar su poca o mucha importancia comparada a la del grafeno en esta área, esto lo podemos constatar con artículos de fuentes confiables como la revista *¿Cómo ves?* de la UNAM, periódicos como *El Universal* y *El País*, CNN, entre otras.

Posteriormente, me parece de vital importancia que durante las clases dedicadas al estudio de este material, no solo se muestre el lado positivo y lo maravilloso del mismo, sino que se haga conciencia de las posibles consecuencias que tendrían en el aspecto ambiental, económico y social la implementación del grafeno a la vida cotidiana de las personas, como lo es el desempleo, el desecho de los materiales que utilizamos actualmente (computadoras, televisiones, teléfonos, etc.), el aislamiento de los individuos con su entorno al tener mejores tecnologías, entre muchas otras.

Sabemos que muchos de los docentes dan los contenidos sin generar el interés en temas novedosos por la forma tan ordinaria de dar sus clases, en las que el alumno escucha lo que el profesor dice sin llevar a fondo el análisis de estos, esto podría cambiar utilizando como recurso materiales actuales como los textos de divulgación de la ciencia y un pensamiento crítico. Para esto sería necesario dar primero cursos a los docentes sobre cómo facilitar que los alumnos tengan una visión crítica del tema y su relación con la vida diaria.

En base a estas razones puedo concluir que el estudio del grafeno beneficiaría el aprendizaje y la comprensión de la química orgánica y además el desarrollo de la capacidad de generar un razonamiento lógico y una crítica informada de aspectos relacionados a las ciencias u otros ámbitos.

Regulando la nanotecnología

Regulating nanotechnology

Laura Saldívar-Tanaka*

ABSTRACT: This text is a modest approach and contribution to the issue of regulation of the NT and its products, starting with a review of different arguments as to why it is necessary to have normative instruments and a brief explanation of the different ways in which this can happen (compulsory, voluntary, horizontal, vertical, local, national, international). Subsequently, a tight account is made of two of the main regulatory frameworks in this area, that of the European Community and that of the United States of America (USA). Finally, mention is also made of the efforts reach in Mexico in this area.

KEYWORDS: nanotechnology, nanoforms, nanomaterials, regulation, mandatory, voluntary, European Community, United States of America, Mexico.

RESUMEN: Este trabajo constituye un modesto acercamiento y aporte al tema de la regulación de la nanotecnología (NT) y nanomateriales (NM's) o nanoformas,¹ de su producción, comenzando con una revisión de distintos argumentos del porqué es necesario contar con instrumentos normativos y una breve explicación de las distintas formas en que esto puede suceder (obligatorias, voluntarias, horizontales, verticales, locales, nacionales, internacionales). Posteriormente se hace un apretado recuento de dos de los principales marcos regulatorios en la materia, el de la Comunidad Europea y el de los Estados Unidos de América (EUA). Finalmente, también se hace mención de los esfuerzos que en México se realizan en esta área.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, nanoformas, nanomateriales, regulación, obligatoria, voluntaria, Comunidad Europea, Estados Unidos de América, México.

It is timely to consider the effect of regulations on the prudent development of nanotechnologies. Currently, applications are incremental in nature but if the broad range of nanotechnologies fulfill expectations it is likely that progress will accelerate in the coming years. We strongly believe that flexible and proportionate regulatory measures informed by scientific evidence are beneficial to everybody; the public, consumers and employees are protected from harm while industry is able to participate in developing standards and preparing guidance to ensure a level playing field and reduced risk of liability. (RS & RAE, 2004: 69).

Recibido: 17 de enero de 2018.

Aceptado: 13 de junio de 2018.

* El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales. Carretera Picacho Ajusco 20, Col. Ampliación Fuentes del Pedregal, C.P. 14110, Tlalpan, Ciudad de México. Correspondencia: (lsaldivar@colmex.mx).

¹ En este texto se usarán indistintamente los términos nanomateriales y “nanoformas”, este último se utiliza en la enmienda al REACH: Reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos, para hacer referencia a: nanomateriales, nanobjetos, nanopartículas, nanofibras, nanotubos y nanoalambres, así como a los agregados y aglomerados de estos materiales incluyendo aquellos que exceden el tamaño de la nanoescala.

Las nanotecnologías son un componente fundamental de las tecnologías convergentes capaces de transformar todas las áreas, hasta la propia humanidad. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que una innovadora regulación de las nanotecnologías debe afrontar los retos de garantizar que todos los beneficios sean aprovechados por todos, minimizando los riesgos en la medida de lo posible y evitando todo daño. (Ponce / ETUI, 2010: 11).

Las nanotecnociencias se extenderán, muy probablemente, sin ninguna limitación ni regulación social efectiva, traspasando fronteras, regulaciones nacionales, códigos legales, así como sus nanopartículas pueden traspasar sin problemas los cuerpos de personas, animales y plantas. (Linares, 2013: 8).

Introducción

Ante el acelerado y amplio avance en nanociencia (NC) y nanotecnología (NT) es insoslayable el desarrollo de instrumentos legales que permitan orientar las actividades sociales y económicas, a través de ordenar el comportamiento de individuos y organizaciones para que las políticas económicas y sociales se conviertan en resultados plausibles y fiables (WB, 2017). Sin duda, la existencia de estándares y regulaciones otorga certeza y seguridad a industria, mercados, gobiernos y sociedad; en el caso de las normas técnicas de NT, estas ayudan a tener un lenguaje común respecto a nomenclatura, terminología, clasificación, medición, caracterización, cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente, productos y procesos de la misma.

¿Por qué regular?

Considerando que para principios de 2018 existían al menos 3,038 productos con insumos de NM's (The Nanodatabase, 2017)² y estimando que la industria mundial de la nanotecnología crezca a unos \$76 mil millones dólares para el 2020 (ProSafe, 2017: 11), no cabe duda de que aún queda mucho trabajo por hacer en el campo de su ordenamiento, y esto es algo que se ha venido señalando cada vez más a partir del reporte de la Royal Society y la Royal Academy of Engineering (RS & RAE 2004)³ y que incluso se menciona en el texto de la UNESCO *The ethics and politics of Nanotechnologies*. Dada la posible toxicidad de la NT, es importante considerar aspectos de "sensibilidad del consumidor, etiquetado y la promoción de estándares y regulaciones de las NP's (UNESCO, 2006: 16). Para el caso de la regulación en Europa, de acuerdo con la Comisión Europea y otras autoridades para avanzar en el proceso de regulación de la NT es indispensable contar con una definición del objeto a regular; caracterización y nomenclatura de NM's y NP's; caracterización de

² <http://nanodb.dk/en/search-database/> (Consultado, 14 de enero, 2018).

³ Esto no excluye que desde antes en 1989 hubiera textos académicos hablando de la necesidad de regular (Bowman y Hodge, 2007).

peligros; evaluación de los efectos finales de la exposición; información sobre el destino ambiental, transporte y persistencia; medición, muestreo y monitoreo (CCE, 2008a: 45). A *Science and Technology Options Assessment* (STOA, 2012: 22) del Parlamento Europeo, agregaría que para desarrollar un “nuevo enfoque regulatorio”, además de una definición legal es necesario avanzar en un enfoque precautorio adecuado a partir del manejo de las limitaciones de la metodología de evaluación de riesgos para las estrategias reguladoras y de los vacíos de las medidas reglamentarias existentes; comunicación del riesgo; transparencia del mercado para los consumidores y la trazabilidad; así como intensificar el diálogo sobre aspectos sociales y éticos. Finalmente, las recomendaciones más reciente son las esbozadas en el reporte *The ProSafe White Paper. Towards a more effective and efficient governance and regulation of nanomaterials* (ProSafe, 2017) agrupadas en cinco grandes rubros: 1) medidas de no arrepentimiento y mejora en la calidad y el manejo de los datos; 2) establecimiento de límites de exposición laboral armonizados; 3) tener un REACH realista para NM⁴; 4) innovar en la evaluación de riesgos; y 5) explorar un enfoque más adecuado para el futuro.

Por su parte, en EUA, la Government Accountability Office (GAO, 2010: 50), revisando la regulación ambiental existente, la que se considera debe controlar los riesgos ocasionados por la tecnología nano, recomendaba que la EPA completara sus planes de modificar su marco regulatorio, incluyendo acciones para: a) elaborar reglas específicas sobre “Significant New Use” para los NM’s; b) modificar las guías de registro de pesticidas, de forma que se indique si contienen NM’s; c) asegurar que los ingredientes o insumos de tamaño nano sean registrados o actualizados en productos nuevos y/o ya registrados. Existen otros autores, equipos de expertos y agencias de gobierno que han hecho observaciones a la regulación europea y americana, mismas que por cuestiones de espacio no podemos mencionar.

Formas de regular

En el universo de la normalización en materia de NT, las formas de regulación van desde el ámbito local hasta el internacional; diferenciadas entre horizontales y verticales y/o obligatorias o voluntarias. Desde la escala internacional y de tipo voluntarios se tienen los estándares de la International Organization for Standardization (ISO) y las guías y documentos elaborados por el Working Party on Manufactured Nanomaterials de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (WPMN-OECD). Por su parte, a nivel regional, en la Comunidad Europea se han elaborado reglamentos obligatorios que consideran la regulación de la NT y algunos de sus derivados, así como iniciativas voluntarias como códigos de conducta; a nivel nacional, paí-

⁴ El reporte de ProSafe se publicó poco antes de que se publicara el borrador de las adecuaciones al REACH.

ses como Bélgica y Francia han emitido decretos al respecto (Bowman, 2010; Lövestam, *et al.*, 2010; OCDE, 2011; Anzaldo y Chauvet, 2016); incluso local o estatalmente hay estados como California o las ciudades de Berkeley, Cal., y Cambridge, Mass., que han desarrollado regulaciones para el campo de la NT. En la tabla 1, se muestran algunas de las regulaciones de lo nano de acuerdo con distintos criterios de clasificación.

Obligatoria vs. voluntaria

La regulación obligatoria, mandataria, vinculante o compulsiva, de comando y control,⁵ también llamada dura, es pública y se aplica de arriba hacia abajo (Arnaldi, 2014) y puede agruparse según el objeto a legislar en: horizontal y vertical. Por su parte, la regulación voluntaria, autorregulatoria, también llamada suave o blanda (*soft law*) no es vinculante y va de abajo hacia arriba y suele tener una eficacia limitada aunque a decir de la STOA (2012) los enfoques voluntarios son útiles para la gestión de riesgos por su flexibilidad y adaptabilidad mientras los esquemas obligatorios se desarrollan. Generalmente es adoptada por empresas y entes privados a título individual, aunque existen algunas iniciativas públicas a nivel nacional y supranacional (Ponce/ETUI, 2010; Bowman, 2010; Arnaldi, 2014). De acuerdo con Fiorino (en STOA, 2012: 85) y la misma STOA, las medidas voluntarias sirven para: “Informar y preparar la regulación gracias a la recolección de datos; ayudar a proporcionar una base científica más sólida para las decisiones reglamentarias; complementar las capacidades reguladoras existentes y futuras como un componente de un sistema más amplio”. También son consideradas como “recursos importantes en el campo de las tecnologías emergentes que están caracterizadas por un alto grado de incerteza y para lo cual los reguladores carecen de los recursos o la información necesaria para desarrollar reglas adecuadas de naturaleza obligatoria” (Bryndum *et al.*, 2016: 24).

Las iniciativas voluntarias se clasifican en cuatro tipos (STOA, 2012): 1) de registro; 2) códigos de conducta; 3) sistemas de manejo de riesgo, y, 4) etiquetados. Entre estos los más importantes en materia de NT están los estándares ISO, elaborados por su comité ISO/TC-229 en materia de NT;⁶ recordemos que la ISO es un organismo que a la fecha cuenta con 63 normas publicadas y otras 35 en desarrollo en materia de NT⁷ sobre: terminología y nomenclatura; metrología e instrumentación, incluidas especificaciones para los materiales de referencia; metodologías de ensayo; modelado y simulación; y prácticas científicas de salud, seguridad y medio ambiente. Otro actor importante en el proceso de elaborar normas y guías ha sido la Organización

⁵ De acuerdo con Souza (2017, en prensa) “el sistema institucional tipo *command and control* no está preparado para regular tecnologías emergentes, sino tecnologías de tipo tradicional”.

⁶ Este grupo de trabajo se formó en mayo del 2005.

⁷ <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0> consultado 16 enero, 2018.

TABLA 1. Ejemplos de regulaciones. Vinculantes vs. voluntarias, nacionales vs. internacionales, horizontales vs. verticales; tipo de emisor (públicas, privadas, mixtas).

	Nacional	Regional	Supra/internacional
	OBLIGATORIAS		
Horizontales	EUA – Leyes: Toxic Substances Control Act (TSCA); y Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act. Canadá – Canadian Environmental Protection Act, 1999, Pest Control (EHC, 2007). Products Act y el Food and Drugs Act. Reino Unido: Antes del 2008 tenía el Notification of New Substances (NONS). Francia: Código del Medio Ambiente, declaración anual de las sustancias de nanopartículas fabricadas. California – Green Chemistry Initiative (GCCI).	Comunidad Europea: directrices sobre: Seguridad de producto (GPSD), mejoramiento y protección de la seguridad y salud de los trabajadores; prevención y control integral de contaminantes (ICPP); y Reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH). CE: Reglamentos sobre: información alimentaria facilitada al consumidor; seguridad de productos y cosméticos.	
Verticales			
	VOLUNTARIAS		
Públicas	MMX (adaptadas de las ISO). USA: Nanoscale Materials Stewardship Program. Suiza – Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials.	CE: Code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research.	
Mixtas	RU – Responsible Nano Code.	NanoRisk Framework.	
Privadas	EUA – Responsible Care® Product safety Code. Suiza – IG–DHS Code of Conduct Nanotechnology.		Normas ISO/TC-229 BASF Code of Conduct Nanotechnology

Fuente: Elaboración propia, basado en Arnaltdi (2014).

para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) que en 2006 formó en el WPMN-OECD con la finalidad de promover la cooperación, acordar y emitir recomendaciones entre los países miembro acerca de aspectos de seguridad, salud humana y ambiental ante los potenciales efectos de los nanomateriales manufacturados, así como asegurar la armonización internacional de estándares y métodos de prueba (Ponce/ETUI, 2010; Kica y Bowman, 2012). Como antecedente, podemos mencionar que el primer llamado formal a desarrollar estándares para la NT fue en 2002 en la reunión conjunta del Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS) y el Advisory Committee of the European Committee for Standardization (CEN/STAR). En el taller sobre las necesidades de medición para los materiales y dispositivos a la nanoescala, concluyeron que había una falta general de métodos, estándares, materiales de referencia y pautas en las determinaciones de propiedades mecánicas para la caracterización de materiales y dispositivos a escala nanométrica para apoyar los desarrollos científicos y de investigación, así como la comercialización de nuevos dispositivos y componentes” (Rides, 2002 en Kica y Bowman, 2012). Posteriormente, en diciembre del 2003, en China, se creó el United Working Group for Nanomaterials Standardization y a partir de entonces se expandió el proceso de elaboración de normas voluntarias (AFI-WRI, 2010).

A nivel regional está el Code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research de la Comunidad Europea (CCE, 2008a),⁸ el Responsible Nano Code propuesto por el Reino Unido y desarrollado por una alianza tripartita entre la Royal Society, el Insight Investment y la Nanotechnology Industries Association (NIA) para guiar a partir de siete principios lo que serían las buenas prácticas para compañías y organizaciones relacionadas con la NT.⁹ Otra iniciativa internacional para el manejo de los NM's en contextos laborales y que involucra al sector público y privado es la GoodNanoGuide, donde participaban, hasta agosto del 2013, NIOSH, Oregon State University y Oregon Nanoscience and Microtechnologies Institute (ONAMI). Esta iniciativa, constituida en una plataforma digital proporciona protocolos y manuales de referencia sobre aspectos ambientales, de salud y seguridad¹⁰ (Bergeson, 2010).

⁸ El presente código de conducta pone en manos de los Estados miembro, los empleadores, las entidades financiadoras de la investigación, los investigadores y, más en general, de todas las personas y organizaciones de la sociedad civil comprometidas o interesadas en la investigación sobre nanociencias y nanotecnologías (N+N), es decir, de «todas las partes interesadas», unas directrices que promuevan un enfoque responsable y abierto con respecto a la investigación sobre N+N en la Comunidad. El código de conducta complementa la normativa existente. De ninguna manera limita o modifica la posibilidad de que los Estados miembro establezcan una protección mayor, en relación con la investigación sobre N+N, que la que en él se estipula.” (CE 2008).

⁹ Nanotechnology Industries Association <http://www.nanotechia.org/activities/responsible-nano-code>.

¹⁰ <https://nanohub.org/groups/gng/> (consultado, 24 de octubre, 2017).

En el plano interno de Reino Unido, el Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA) entre 2006 y 2008 tuvo un sistema voluntario de reporte para que cualquier ente que trabajara con NM's enviara información sobre sus propiedades, seguridad y uso.¹¹ En Suiza el sindicato¹² de las seis principales comercializadoras en el país lanzó el IG–DHS Code of Conduct Nanotechnology (2008) solicitando a las empresas productoras abastecedoras información sobre los NM's (STOA, 2012). Por su parte en EUA se implementó el Nanoscale Materials Stewardship Program (NM'SP) por la agencia de protección ambiental (EPA) en 2008 como un programa de reporte voluntario de información sobre el desarrollo, fabricación y transporación de NM.¹³

Dentro de la regulación voluntaria privada o sectorial de tipo *bottom up* (desde abajo), adoptada por empresas o grupos de investigación para autorregularse, tenemos del sector industrial: el NanoRisk Framework, producto de una alianza entre DuPont y la Environmental Defense Fund de Canadá en 2005, el cual consiste en promover un “desarrollo responsable” de los NM's a través de un proceso sistemático y disciplinado para identificar, manejar y reducir riesgos potenciales sobre el ambiente, la salud y la seguridad por parte de NM's a lo largo de su ciclo de vida (DuPont, 2007 en STOA 2012: 95). El Responsible Care® Product Safety Code–Nanotechnology Panel de la American Chemistry Council de los EUA que adapta su propuesta de seis principios generales específicamente para NM's. La BASF Code of Conduct Nanotechnology desarrollada por la compañía BASF en 2004 para una “producción responsable y segura de NM's al igual que una comunicación abierta y transparente”¹⁴ (BASF, 2008 en STOA 2012: 94). El Certifiable Nanospecific Risk Management and Monitoring System (CENARIOS) desarrollada por las consultoras Innovationsgesellschaft (suiza) y TÜV–SÜD (alemana). Los criterios para una evaluación preliminar de riesgo de la NanoKommission alemana, este sistema tiene la intención de servir para el desarrollo de medidas adecuadas de evaluación de acuerdo con el principio de precaución considerando

¹¹ Recientemente la Royal Commission on Environmental Pollution recomendó que el Voluntary Reporting Scheme for Engineered Nanoscale Materials de DEFRA sea obligatorio. Australia, a través del Australia's National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS) tiene un esquema voluntario similar al inglés y americano, mientras Canadá planeó solicitar a las compañías que proporcionen ciertos datos (GAO, 2010).

¹² Interessengemeinschaft Detailhandel Schweiz (IG–DHS, Sindicato de comercializadores a menudeo Suizos).

¹³ EPA's Nanoscale Material Stewardship Program está diseñado para alentar a las compañías que desarrollan nanotecnologías a que voluntariamente proporcionen a la EPA información adicional sobre tecnologías para proporcionar a la EPA “una base científica más firme para la decisión regulatoria fomentando el envío y desarrollo de información que incluye prácticas de gestión de riesgos para materiales a nanoescala” (US EPA, Nanoscale Materials Stewardship Program, <http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm>).

¹⁴ “BASF (STOA, 2012: 94). Participa activamente en el desarrollo continuo de una base de datos con base científica para la evaluación de riesgos potenciales, así como para mejorar y perfeccionar los métodos de prueba y evaluación basados en productos”.

los beneficios y la evaluación científica de riesgos (STOA, 2012: 96; Bergeson, 2010; Cushen, *et al.*, 2012; Abbott, Marchant y Corley, 2012; STOA, 2012; Batt y Nath, 2011; y Browman y Graeme, 2007). Mientras que desde la academia comienzan a surgir protocolos y códigos de conducta, también, para un investigación y desarrollo responsable. Ilaria Colussi (2014) plantea la adopción del *responsible stewardship*¹⁵ en las etapas de investigación, desarrollo y análisis de riesgos de las NT's y sus derivados. La Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials¹⁶ de la Swiss Federal Offices of Public Health (FOPH) and for the Environment (FOEN) de 2008.

Aquí cabe resaltar la opinión de miembros de ONGs que participaron en el Nano safety for success dialogue organizado por el Health & Consumer Protection DG (Directorado General en Protección de la salud y el consumidor) de la Comisión Europea¹⁷ donde los participantes del grupo consideraban que los esquemas voluntarios nunca serán tan efectivos como una regulación formal obligatoria, además de considerar que los esquemas voluntarios se deben desarrollar en una forma más transparente con una vigilancia independiente y líneas claras de autoridad. No obstante, en opinión de Sylvia Karlsson (en Bowman y Hodge, 2007), el diálogo intergubernamental sobre los retos y los riesgos que plantean las nanopartículas manufacturadas se ha producido principalmente en los confines de la OCDE y que por su interés en la armonización es probable que sea un actor clave en el desarrollo de cualquier marco regulatorio internacional para la NT. Por su parte, Bowman y Hodge (2007) consideran que las normas (regulación blanda) no vinculantes, establecidas por la OCDE “acordadas internacionalmente”, pueden convertirse en una base para cualquier consenso emergente sobre marcos regulatorios globales. Sin embargo, Kica y Bowman (2012) cuestionan la legitimidad real del WPMN-OECD y la ISO/TC229 y por lo tanto su papel en la gobernanza de las NT's.

A la fecha, en México solo contamos con Normas Mexicanas (NMX) que son específicas a la materia,¹⁸ las cuales son de tipo voluntarias y de alguna forma muy cercanas a normas ISO/TC229. Así mismo, como parte de la Red de Nanociencia y Nanotecnología (RNyN) del Conacyt existe la iniciativa de conformar un Sistema Nacional de Evaluación Nanotoxicológica (Sinanotox)

¹⁵ El *responsible stewardship* (rs) es un enfoque intermedio entre el principio “paralizador” de la investigación —versión dura del principio de precaución y el enfoque proactivo— *laissez-faire* que llama a una evaluación permanente de los riesgos y una atención y cuidado a todos los derechos e intereses en juego en el ámbito de la salud y seguridad ante los riesgos. (Colussi, 2014: 70-71).

¹⁶ Esa matriz proporciona un método estructurado para evaluar la “necesidad de precaución nanoespecífica” de los trabajadores, los consumidores y el medio ambiente que surge de la producción y el uso de nanomateriales sintéticos. www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=en en STOA, 2012: 98

¹⁷ Health & Consumer Protection DG (2007) Session 4: Break Out Group 3 NGOs “Identifying interests, concerns, and priorities to map the way ahead” en el First Annual Nanotechnology Safety for Success Dialogue, 25-26 de octubre, 2007.

¹⁸ A la fecha contamos con nueve NMX publicadas y cuatro en proceso de revisión.

para la construcción de una plataforma de referencia nacional y la evaluación de la inocuidad en la salud y en el ambiente de los materiales nanoestructurados, así como el establecimiento de protocolos y pruebas de toxicidad de los nanomateriales (Vázquez, 2017). Respecto a la regulación horizontal y obligatoria estamos aún distantes si consideramos que nuestro Inventario Nacional de Sustancias Químicas (INSQ) es aún incipiente tanto en número de sustancias registradas como en la información sobre cada una de ellas y que la regulación de las sustancias químicas está repartida entre las regulaciones de salud, fitosanitaria y ambiental, ninguna de las cuales contempla aún escenarios con NM's.

Horizontal vs. Vertical

Actualmente no existe una regulación horizontal específica para la NT o sus productos, sin embargo, existen varios instrumentos nacionales y/o regionales obligatorios y/o vinculantes que podrían cubrir la NT y sus derivados. Por ejemplo, en EUA¹⁹ el cuerpo normativo es primordialmente horizontal, como el Toxic Substances Control Act (TSCA). La regulación europea horizontal que de alguna forma puede considerar los NM's se agrupa en aquella para productos químicos-REACH; protección del trabajador (OHS); seguridad de los productos (GPSD); y protección del medio ambiente (ICPP),²⁰ las cuales son aplicables simultáneamente (CCE, 2008a; CCE, 2012); Además están los reglamentos en materia de clasificación, etiquetado y empaquetado (CLP)²¹ y el de consentimiento fundamentado previo (PIC)²² que se podrían considerar también de tipo general y que dentro de sus objetos a regular incluye NM's y otros nanobjetos. Por su parte, la regulación vertical está diseñada particularmente para regular ciertos sectores o productos y en ellas se hace mención específica de las NT's, NM's o nanoformas. La legislación vertical europea se plasma con reglamentos específicos (Cushen, 2012; CCE, 2008a) como el Reglamento (UE) No 1169/2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor; y Reglamento (CE) No 1223/2009 sobre los productos cosméticos.

¹⁹ Para una revisión de la legislación ambiental norteamericana en relación a la NT ver Bergeson, (2010 y 2013) y O'Brien F. (2012) que hace un recuento de los instrumentos legales existentes en los EUA y de nuevas iniciativas que han surgido y que pueden ser referencia y complemento a la legislación que se va generando en el mundo de lo nano.

²⁰ Integrated Control and Prevention of Pollution / Prevención y control integral de contaminantes.

²¹ The Classification, Labelling and Packaging (CLP) Regulation (EC) No 1272/2008) está basado en the United Nations' Globally Harmonized System (GHS) y su propósito es garantizar un alto nivel de protección de la salud y el medio ambiente, así como la libre circulación de sustancias, mezclas y artículos (ECHA, 2017, <https://echa.europa.eu/regulations/clp/understanding-clp> (Consultado, 6 de enero, 2018).

²² El Prior Informed Consent (PIC, Regulation (EU) 649/2012) administra la importación y exportación de ciertos productos químicos peligrosos y establece obligaciones para las empresas que desean exportar estos productos químicos a países que no pertenecen a la CE. <https://echa.europa.eu/regulations/prior-informed-consent/understanding-pic> (Consultado, enero 8, 2018).

Comunidad Europea

To develop new regulatory approaches for intentionally produced nanomaterials is a demanding task. (STOA, 2012: 101)

En Europa²³ el Reino Unido tomó el liderazgo al generar discusión sobre la nanorregulación (Bowman y Graeme, 2007) y en 2004 después de la opinión recabada en el proceso de consulta del NanoForum 2003 y las opiniones de organizaciones de la sociedad civil como Grupo ETC y Greenpeace (ETC, 2003; Huw, 2003), se comenzó el trabajo para tener una regulación que considerara los riesgos al ambiente, la salud y la seguridad (Environmental, Health and Safety-EHS) asociados con la NT. Es así como en 2008, la Comisión de la Comunidad Europea recomendó una definición de nanomateriales con propósitos regulatorios (CCE, 2008) y en 2009 el Parlamento Europeo hizo un llamado para adoptar regulación específica (Lövestam *et al.*, 2010) y la ampliación del principio de precaución, el principio de responsabilidad del productor y el principio “el que contamina paga” pidiendo, además, que se consideren las nanotecnologías en la legislación de químicos (REACH), alimentos, condiciones de los trabajadores, calidad del aire y residuos (Arnaldi, 2014).

De allí los primeros productos fueron adecuaciones a reglamentos existentes como la de alimentos,²⁴ se incluyó la obligación al productor de indicar en la lista de ingredientes si usa NM's; en el reglamento de cosméticos²⁵ se incluyó la obligación por parte de los productores de notificar a la CE del contenido de NM's en sus productos y su mención en el etiquetado; en el de biocidas se estipuló que la autorización del uso de NM's debe ser evaluado específicamente, que los productores deben proporcionar toda la información necesaria para su autorización y que de contener NM's debe indicarse en la etiqueta,²⁶ y la directriz sobre equipos eléctricos.²⁷ En este proceso de adecuación participó el Parlamento Europeo (PE), la Comisión Europea (CE) y el Consejo.

Es importante señalar que muchas de las directrices y reglamentos existentes están de alguna forma ligadas al REACH, el cual, a decir de muchos expertos en la materia debía ser adecuado para considerar de forma más específica los NM's. En particular, en 2012, la DG Environment y el Join Research

²³ Cabe aclarar que existe una regulación de la CE en su conjunto, pero además cada país tiene legislaciones nacionales, como la francesa o suiza antes mencionadas.

²⁴ Reglamento (UE) N o 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor.

²⁵ Reglamento (CE) No 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 sobre los productos cosméticos.

²⁶ Reglamento (UE) No 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de mayo de 2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.

²⁷ Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

TABLA 2. Legislación europea horizontal, que cubre los NM's.

Aspecto a regular	Instrumentos
Químicos Reglamento REACH (CE) No 1907/2006	Este registro considera que todas las sustancias químicas pueden ser tóxicas hasta que no se demuestre lo contrario. ¹ Hasta las adecuaciones propuestas a finales del 2017 los NM's no se mencionaban específicamente, tampoco en el reglamento sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP).
Protección del trabajador OSH Framework Directive	Directiva 2009/104, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, sin ser nanoespecífica establece una serie de obligaciones a los empleadores para tomar las medidas necesarias para proteger la seguridad y salud de los trabajadores. A su vez hay otras directrices que sin ser nanoespecíficas pueden proteger a los trabajadores de daños causados por la exposición a NM's. ²
Productos Directiva General de la Seguridad de los Productos GPSD	Directiva 2001/95/EC relativa a la seguridad general de los productos, esta impone una evaluación del riesgo y la adopción de medidas de gestión y los nanomateriales no están excluidos de esta obligación. También cuenta con reglamentos con consideraciones específicas para los NM's como los de alimentos, cosméticos, productos de protección de plantas, biocidas, aparatos eléctricos y electrónicos y productos sanitarios antes mencionados.
Protección del medio ambiente Directiva ICPP ³	Incluye la Directiva 2008/1/EC, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación; la de control de los riesgos de accidentes graves que incluyan sustancias peligrosas (SEVESO II); ⁴ la Directriz 2000/60/EC en el ámbito de la política de aguas y sus directrices específicas; la Directiva 2006/12/EC sobre residuos y su directrices específicas; una serie de directrices sobre calidad del aire; la Directiva 2004/35/EC sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales (el que contamina paga); y directrices de cuidado de flora y fauna, ⁵ entre otras.

¹ Antes de las adecuaciones del REACH las empresas eran responsables de registrar y de la seguridad de aquellas sustancias químicas que comercializan, cuando rebasa 1 tonelada, por eso se le llama a este sistema "no data, no market". Aquellas en cantidades menores a una tonelada quedaban fuera de su ámbito independientemente de sus características de alta toxicidad o ecotoxicidad.

² Directiva 98/24/EC relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo; Directiva 2004/37/EC relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo. (ProSafe, 2017: 27)

³ IPPC = Integrated Pollution Prevention and Control.

⁴ Council Directive 96/82/EC relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, OJ L 10, 14.1.1997, enmendado.

⁵ Directivas 79/409/CEE relativa a la conservación de las aves silvestres y 92/43/CEE relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Fuente: Elaboración propia, basado en Arnaldi (2014).

Center hacen al menos una veintena de recomendaciones sobre cómo adecuar la normativa REACH (Reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos) para reflejar las propiedades de las nanoformas y NM's en relación con la evaluación del riesgo incluyendo su identificación y evaluación de usos, exposiciones, peligros y riesgos. Estas recomendaciones se incorporan en cinco grupos principales:

- Identificación de las propiedades físicoquímicas de las sustancias
- Opciones generales para entender los riesgos a la salud humana, destino en el ambiente y riesgos ambientales.
- Información y estudios específicos sobre riesgos para la salud humana.
- Considerar aspectos como bioacumulación, solubilidad y persistencia, así como destino de los NM's para calcular los riesgos ambientales potenciales.
- Evaluación de la exposición y caracterización del riesgo de los NM's.

Por su parte la STOA (2012: 72) consideraba otros aspectos a revisar del REACH como:

- Introducción de una definición para el término “nanomateriales”.
- Consideración de los nanomateriales como sustancias “aisladas” o como una nanoforma de sustancias existentes.
- Ajuste de los requisitos de información y notificación nano-específicos (el problema de la incertidumbre epistémica y los puntos finales).
- Revisión y ajuste de los métodos, estándares y estrategias de la OCDE.
- Adaptación del concepto de umbral para una evaluación nano-específica, informes de seguridad química para todos los nanomateriales registrados. [Independientemente del volumen]
- Ajuste de los plazos transitorios para el registro de sustancias a nanoescala (no compatible con el principio de precaución).

También el reporte de ProSafe (2017) publicado poco antes de las adecuaciones al REACH hace sugerencias respecto a este instrumento para hacerlo más “realista” para los NM's:

- Incluir la definición legal de los NM's en el REACH.
- Incluir otros aspectos de caracterización físicoquímica de los NM's en su identificación y reporte (caracterización morfológica).
- Los requerimientos de información deben incluir tamaño de partícula, forma, porosidad y química superficial.
- La ECHA (Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas) debe desarrollar (actualizar) documentos guía para el uso de datos experimentales para la evaluación de riesgos con relevancia regulatoria.

En el mes de octubre de 2017 se publicó el borrador de adecuación de REACH en el cual entre otras cosas se estipula que todas las compañías que producen químicos en nanoformas, tendrán que actualizar y proporcionar más información sobre los mismos incluyendo medidas contra el riesgo. Para sustancias de muy alta preocupación, se requerirá de mayor información y autorización para su uso y colocación en el mercado. Según el texto, estas adecuaciones entrarán en vigor a partir el 1 de enero del 2020, mientras tanto, cualquier sustancia en forma nano ya registrada será considerada como genérica (EC, 2017).

Finalmente, en abril del 2018, los Estados miembro europeos aprobaron las modificaciones a los anexos del REACH relativos a NMs. Si bien esta enmienda es parte del proceso de un incremento gradual y progresivo, hay algunas voces como la de la organización no gubernamental (ONG) Center for International Environmental Law (CIEL) que opina que esta opción (*vs.* la de crear una legislación nano-específica) llevó más tiempo de lo contemplado, además de que no se consideró adecuadamente la opinión del grupo especial Competent Authorities Sub-Group on Nanomaterials (CASG Nano);²⁸ Por su parte, los investigadores Clausen y Hansen (2018), reconocen que si bien las nuevas disposiciones darán más estructura y claridad, sigue habiendo problemas respecto a su caracterización y agrupación; además de forzar a los productores e importadores a poner mayores esfuerzos en el registro (aplicando el principio de la carga de prueba), para lo cual quizás no estén preparados.

De tal suerte, vemos que en la Unión Europea a pesar de que hay quienes consideran que se debe crear una legislación específica, es decir, un “NanoAct”, los esfuerzos se concentran en seguir con un “enfoque ascendente” (*incremental approach*) con ajustes en el REACH, que, como hemos visto, es donde se anclan la mayoría de los instrumentos para el caso de regular la NT, NM’s, NOAAs, nanoformas y productos que los contengan. La propuesta alternativa de crear un NanoAct, consideran expertos, se puede hacer a partir de la fusión de instrumentos y reglas existentes para manejar la NT, los NM’s y sus derivados. Para este fin, la STOA sugirió al PE comisionar un proyecto que estudie esta posibilidad y la compare con la opción del enfoque incremental. En ese sentido Hansen (2017) a partir de un análisis detallado del marco regulatorio propone hacer uno a la medida para los NM’s llamado: Registration, Evaluation, Authorization, Categorization and Tools to Evaluate Nanomaterials — Opportunities and Weaknesses (REACT NOW).

Estados Unidos de América

En EUA el enfoque para regular el desarrollo de la NT y sus efectos en la salud y el ambiente es distinto; por un lado se considera que existen ya instrumen-

²⁸ También CIEL hace observaciones puntuales sobre aspectos técnicos como eliminar el umbral mínimo para determinar qué sustancias con NMs registrar, la dificultad de caracterizar y la imposibilidad de agrupar para estudiar (eco)toxicidad, y algunas otras sobre métodos de evaluación de (eco)toxicidad y pruebas de peligrosidad.

TABLA 3. Legislación de EUA horizontal, que cubre a los NM's.

Instrumento	Aspecto a regular
TSCA Ley de control de sustancias químicas	Este instrumento cubre solo a los NM's que cumplen con la definición de "sustancias químicas" y que están en su inventario, pues de no estar, deberán ser reportadas a la EPA. Un NM es un nuevo producto químico solamente si no tiene la misma "identidad molecular" que otro ya en el inventario. También aquellos NM's inventariados en su forma micro o macro son considerados como iguales a pesar de tener un tamaño, forma o propiedades físicas y químicas y riesgos potencialmente diferentes. ¹
CWA Ley de agua limpia	Los NM's pueden ser regulados bajo la CWA como contaminantes peligrosos dependiendo de su toxicidad para la vida acuática, la fauna acuática dependiente y la salud humana, así como el potencial de exposición.
CAA Ley de aire limpio	La EPA puede enumerar un NM como un contaminante del aire peligroso, si puede establecer que este presenta una amenaza de efectos adversos para la salud humana. La fabricación o uso de nanomateriales podría resultar en emisiones de contaminantes que están o podrían ser catalogados como contaminantes del aire o <i>hazardous air pollutants</i> (HAP's) en cuyo caso se debe aplicar la CAA.
FIFRA Ley federal de insecticidas, fungicidas y roedoricidas.	Los productos pesticidas que contengan NM's serán sometidos a los requisitos de revisión y registro del FIFRA. Sin embargo, de acuerdo con las guías de la EPA, las compañías no tienen que especificar si sus productos contienen NM's y por lo tanto seguramente ya hay pesticidas que contiene NM's, en el mercado sin que la EPA pueda considerar los riesgos potenciales de estos hacia el ambiente y la salud humana. ²
SDWA Ley de agua potable segura	Basándose en su toxicidad y su presencia en los suministros de agua potable, los NM's podrían ser regulados bajo esta Ley.
RCRA Ley de conservación y recuperación de recursos	Regula los desechos peligrosos y sólidos y autoriza a la EPA a emitir órdenes administrativas para hacer frente a peligros inminentes. Un NM's se caracteriza como un residuo peligroso si se enlista específicamente como residuo peligroso por la EPA o se demuestra cualquiera de las cuatro características peligrosas: inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad basadas en las pruebas o el conocimiento del fabricante o procesador que generó el residuo.
CERCLA Ley integral de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental	Comúnmente conocido como "Superfund", que autoriza a la EPA para obligar a las partes responsables a descontaminar los sitios y limpiarlos.
EPICRA Ley de plan de emergencia y derecho a saber de la comunidad y el programa TRI Inventario de emisión de tóxicos	La Ley EPICRA fue creada para ayudar a las comunidades a planificar emergencias químicas. Requiere que la industria informe sobre el almacenamiento, uso y liberación de sustancias peligrosas a los gobiernos federal, estatal y local y que estos junto con las tribus indígenas usen esta información para preparar a su comunidad de posibles riesgos. El programa TRI es voluntario, para que las empresas que manufacturan o procesan NM's reportaran información sobre los mismos.

¹ "EPA reconoció a finales de 2009 que el estado incierto de los nanomateriales, en virtud de las disposiciones de TSCA's puede necesitar ser aclarado, y que la distinción entre productos químicos nuevos y existentes con respecto a los nanomateriales tendría que reconsiderarse. (Falkner y Jaspers, 2012: 45).

² "En noviembre de 2008, un grupo de organizaciones ambientalistas y de consumidores presentó una petición pidiendo a la EPA que regulara los productos que contienen NP's de plata como pesticidas. Los peticionarios incluyeron el Centro Internacional de Evaluación Tecnológica, el Centro para la Inocuidad de los Alimentos, Amigos de la Tierra, Greenpeace, el Centro para el Estudio del Derecho Responsable y el Sindicato de Consumidores." (GAO, 2010: 39).

Fuente: EPA, 2007; Bowman y Hodge, 2007; GAO, 2010; Monica y Calster, 2010; O'Brian, 2012 en Saldivar, 2018.

tos tanto voluntarios como el Nanoscale Materials Stewardship Programs (2008) y la Green Chemistry Initiative (1995), como obligatorios la mayoría de ellos del sector ambiental que pueden utilizarse para este fin, es decir, es un asunto de implementación y no es necesario modificar o hacer nuevas leyes. Por otro lado, han adoptado el modelo de *reactive regulation*, consecuente con su sistema legal probatorio, en el cual los estudios de seguridad y no toxicidad son obligatorios solo cuando hay evidencia sustancial del riesgo ambiental y a la salud o de daños reales. Una crítica a este enfoque es que se actúa tarde, una vez que el daño ya se ha generado y que en algunos casos el daño potencial puede ser irreversible (Dana, 2012; Clift, 2006).²⁹

Las leyes ambientales bajo el mandato de la Environmental Protection Agency (EPA) que pueden cubrir los NM's son: Toxic Substances Control Act (TSCA, 1976), Clean Water Act (CWA), Clean Air Act (CAA, 1990), Federal Insecticide Fungicide and Rodenticide Act (FIFRA, 1996), Safe Drinking Water Act (SDWA, 1996), Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) y el Emergency Planning and Community Right to Know Act (EPCRA) junto con el programa Toxics Release Inventory (TRI), ambos de 1986. La EPA además tiene autoridad sobre el Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FFDCA) que establece los niveles de tolerancia o excepción de residuos de pesticidas químicos en los alimentos.

Otras agencias federales de los EUA que cuentan con leyes para regular los NM's, son: Consumer Product Safety Commission (CPSC), el Department of Health and Human Services de la Food and Drug Administration (FDA),³⁰ así como el Department of Labor's de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (GAO, 2010). Existen iniciativas horizontales a nivel estatal. En California el California Department of Toxic Substances Control solicita a todas las compañías que producen o importan NTC, proporcionen información sobre estos materiales; y a nivel local la ciudad de Berkeley, California, que en diciembre del 2006 emitió una ordenanza de materiales peligrosos requiriendo que las empresas denuncien la fabricación o el uso de nanomateriales. Otras acciones en este sentido son las del estado de Maine que desde 2007 cuenta con una lista prioritaria de tóxicos del aire que incluye partículas de nanotecnología; el Departamento de Ecología del Estado de Washington que considera que los nanomateriales son un contaminante

²⁹ Roland Clift (2006), John Balbus y cols. (2006) y David Dana (2012) mencionan algunas de las diferencias entre el modelo de la CE y el de EUA, a su vez que los últimos escriben sobre la necesidad de incorporar el enfoque de riesgo en la legislación norteamericana y Dana propone un tercer modelo. Por su parte Diana Bowman y Graeme Hodge (2007) hacen un recuento de la regulación en materia de NT en EUA, Japón, Reino Unido y Australia, a la vez que examinan el rol del Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT) de la Organización Mundial de Comercio (OMC).

³⁰ De acuerdo con Falkner y Jaspers (2012: 43) en 2007 el *Nanotechnology Task Force* de la FDA a pesar de concluir que los NM's pueden presentar riesgos a la salud únicos y que hay mucha incertidumbre al respecto, negó la introducción de un etiquetado específico.

emergente sobre el cual se debe poner atención y ha revisado su manual para que los inspectores de residuos peligrosos incluyan información específica sobre nanomateriales; igual Pensilvania y Carolina del Sur que han identificado a las nanopartículas como contaminantes de interés (GAO, 2010).

Si bien en este texto solo nos enfocamos en lo que en materia de regulación sucede en la CE y los EUA, es importante señalar que Australia, Canadá, China, Corea, Japón, Nueva Zelanda, Brasil, entre otros, han revisado sus regulaciones existentes para ver cómo se pueden adaptar a la NT y sus NM's, a la vez que algunos han desarrollado mecanismos obligatorios y voluntarios específicos (Falkner y Jaspers, 2012; STOA, 2012). Asimismo, es importante señalar que en materia de estándares hay un proceso de armonización internacional importante el cual, por cuestiones de espacio, no es posible incluir en este texto.

Diferentes enfoques

A nivel internacional, y México no parece ser una excepción, existe un conflicto de perspectivas entre los tomadores de decisiones y las partes involucradas en el proceso de regulación respecto a: i) la regulación de químicos y tecnologías y ii) el balance correcto entre un desarrollo responsable y un uso seguro de los NM's. Así como también existe un conflicto entre tres enfoques regulatorios: 1) uno de fuerte orientación precautoria, que pone a los NM's bajo sospecha general debido a sus nuevas propiedades y el limitado conocimiento sobre sus implicaciones potenciales en el ambiente, la salud y la seguridad; 2) otro de tipo preventivo (*wait and see* —esperar y ver) que consiste en tomar medidas regulatorias hasta que haya suficiente información disponible sobre los riesgos, es decir, evidencias derivadas de investigación en toxicología, eco toxicológica y biología. Sus proponentes argumentan que solo hay que regular los NM's que dan lugar a preocupaciones sobre sus implicaciones en el ambiente, salud y seguridad, porque se ha probado o porque las propiedades físico químicas de los NM's nos permiten predecir cierto daño potencial (STOA, 2012, Falkner y Jaspers, 2012), y, 3) un tercero de tipo reactivo, cada vez más en desuso, que consiste en investigar una vez que se presentan los daños, como sucedió con las intoxicaciones de trabajadores en industrias chinas donde se manipulaban nanotubos de carbono, y después con la evidencia se tomaron las medias regulatorias.

Conclusiones

Responsibility is not only considered as a value which frames regulation, but as the fundamental condition for enabling good, legitimated and desired technological developments.

(Arnaldi et al., 2014: 3)

A pesar de las innumerables y fundadas observaciones y recomendaciones para elaborar instrumentos normativos que puedan tener un control de la

NT y sus nanoformas y productos que las contengan, esta labor lleva un reza-go difícil de superar, aún más si consideramos el ritmo en que la NT y sus productos van creciendo. Un rápido vistazo a los dos marcos expuestos nos deja claro que en la Comunidad Europea el principal instrumento utilizado para controlar a los NM's es a través de su regulación de químicos, el REACH, el cual ha sido adecuado recientemente de forma que incluya: una definición oficial de los NM's, más información sobre las propiedades fisicoquímicas de los NM's, desarrollo de métodos adecuados para entender y valorar los riesgos de los NM's en la salud humana y el ambiente (incluyendo vías y destino, dosis máximas) de forma que se tenga información *a priori* para poder actuar de forma preventiva o precautoria. Mientras en el caso de EUA, si bien su ley de sustancias también ha tenido adecuaciones esta sigue sin ser nanoespecífica de manera que es difícil anticipar posibles riesgos, lo cual la hace reactiva y permisiva ante la NT.

Una tendencia internacional, principalmente en países de la CE entre ciertos sectores (académicos, consumidores, trabajadores y grupos ambientalista) es que se debe crear una regulación específica para la NT y sus derivados, es decir, una especie de *NanoAct*. Esta opinión surge de la convicción de que una legislación de tipo "incremental" es decir la adecuación de la regulación existente (como la REACH o la inclusión de NM's en regulaciones verticales), no es suficiente para regular algo tan complejo y sobre lo cual se tiene tan poca información. Y dentro de esta postura se maneja también la idea que una nueva regulación, debe incorporar un enfoque precautorio dado que estamos hablando de materiales, productos y tecnologías alrededor y sobre los cuales existe aún mucha incertidumbre, ignorancia e indefinición (STOA, 2012), al igual que los principios de responsabilidad del productor y el principio del que contamina paga, sugeridos por el Parlamento Europeo (EP, 2009; Ponce, 2010; Lövestam *et al.*, 2010; Arnaldi, 2014; Justo-Hanani, 2015).

En México, la postura es más laxa, aparentemente el sector industrial prefiere no regular o al menos no de forma que limite sus operaciones; los órganos reguladores no saben bien cómo hacerlo y pareciera que no quieren asumir responsabilidades que por el momento no están en capacidad de solventar. Por su parte, en el sector académico, en general sí se considera necesario regular, pero sobre qué tipo de regulación es algo no muy claro. Finalmente en la Red de Nanociencia y Nanotecnología (RNYN) del Conacyt, donde confluyen principalmente nano tecnólogos y nano científicos y algunos representantes de la iniciativa privada y del gobierno, en una reunión a finales del 2012, se reconoció "la necesidad de una regulación oportuna en materia de nanotecnología, [y] elaborar normas para su desarrollo, para la protección de los trabajadores y la sociedad" (RNYN, 2012).

De manera que hasta el presente, no obstante el exponencial crecimiento del campo de la NT y el aumento en productos con NM's ya disponibles en el mercado mundial, existe un déficit de herramientas legales bien

definidas, esto es consecuencia de la escasa información sobre el tema, las limitaciones técnicas y la complejidad del universo a regular que crean un ambiente de incertidumbre e ignorancia que dificulta hacer juicios informados y promulgar normas, leyes, reglamentos que impongan restricciones fundadas. Si bien por el momento en México solo tenemos normas de tipo técnicas (NMX) en materia de nanotecnologías, estas son de suma importancia y pertinencia, dado que para poder seguir con el desarrollo comercial y económico de esta tecnología es necesario estandarizar y uniformarnos (armonizarnos) con los referentes internacionales (términos, conceptos, métodos de medición y determinación, etiquetado, por mencionar algunos).

Referencias

- Abbot Kenneth, W., Marchant Gary E. y Corley Elizabeth (2012). Soft law oversight mechanisms for nanotechnology. *Jurimetrics J.* 52: 279-312.
<https://www.jstor.org/stable/23240003>
- AFI-WRI (2010). *The role of ISO in the governance of nanotechnology*. Oslo, 76 pp.
- Anzaldo, Mónica, Chauvet, Michelle (2016). Technical standards in nanotechnology as an instrument of subordinated governance: Mexico case study. *Journal of responsible innovation*. DOI:10.1080/23299460.2016.1196098.
- Arnaldi, Simone. (2014). ¿Qué tan suave debería ser? Identidades sociales y opciones regulatorias en las opiniones de los *stakeholders* italianos. *Mundo Nano*, 7(13): 6-27, julio-diciembre.
- Balbus, John, Denison R. Florini, K. Walsh S. (2006). Getting nanotechnology right in the first place. En Hunt, G. y Mehta, M., *Nanotechnology: Risk, ethics and law*. Londres: Earthscan. Cap.11: 130-139.
- Bergeson, Lynn L. (ed). (2010). *Nanotechnology: environmental law, policy, and business considerations*. Chicago, Ill: ABA Pub. American Bar Association.
- Bergeson, Lynn L. (2011). Emerging nanomaterial governance systems: The state of Play. *Molecular Imaging*, 10(1): 17-27.
<https://doi.org/10.2310/7290.2010.00052>
- Bhatt, Indu y Nath, T. B. (2011). Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere*, 82: 308-317.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.011>
- Bowman, Diana M. y Hodge, Graeme A. (2007). A small matter of regulation: an international review of nanotechnology regulation. *The Columbia Science and Technology Law Review*, VIII: 1-36. www.stlr.org
- Bowman, Diana M. (2010). Global perspectives on the oversight of nanotechnologies. En Hull Matthew y Bowman, Diana (eds.), *Nanotechnology environmental health and safety: risks, regulation and management*. *Elsevier Science and Technology*: 73- 95.
- Bryndum, N., Lang, A., Mandl, C., Nielsen, M.V., y Bedsted, B. (2016). The Res-AGorA co-construction method. En R. Lindner, S. Kuhlmann, S. Randles, B. Bedsted,

- G. Gorgoni, E. Griessler, A. Loconto, N. Mejlgaard (eds.), *Navigating towards shared responsibility: navigating towards shared responsibility in research and innovation – approach, process and results of the Res-AGorA Project*. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. Cap. 6: 55-61.
- Center for International Environmental Law (CIEL) (2017) *Comments on REACH annex revisión*. CIEL, Ginebra, Suiza.
- Clausen, Lauge P. y Hansen Steffen F. (2018). The ten decrees of nanomaterials regulations. *Nature Nanotechnology*, 13: 766-768, septiembre (Comment).
- Clift, Roland (2006). Risk management and regulation in an emerging technology. En Hunt, G. y Mehta, M., *Nanotechnology: Risk, ethics and law*. Londres: Earthscan. Cap. 12: 140-153.
- Colussi, Ilaria Anna (2014). The role of responsible stewardship in nanotechnology and synthetic biology. En Arnaldi *et al.* (eds), *Responsability in nanotechnology development*. Springer. Cap 4: 53-75.
- Cushen, M., J. Kerry, M. Morris, M. Cruz-Romero y E. Cummins (2012). Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science y Technology* 24: 30-46. Elsevier publ.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.006>
- Comisión de las Comunidades Europeas (CCE, 2004). *Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías*. Comunicación de la Comisión, Bruselas, 28 pp.
- CCE (2008). *Recomendación de la Comisión del 7 de febrero de 2008 sobre un código de conducta para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y las nanotecnologías*. (2008/345/CE).
- CCE (2008a). *Aspectos reglamentarios de los nanomateriales*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo Bruselas, 17.6.2008 Com (2008) 366 Final.
- CCE (2012). *Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo, Bruselas, 18 p.
- Dana, David (ed.) (2012). *The nanotechnology challenge: creating legal institutions for uncertain risks*. Cambridge University Press, 419 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015). Ley Federal sobre metrología y normalización (1era versión 1 de julio de 1992). Última reforma publicada DOF 18-12-2015, 63 pp.
- Environment Canada & Health Canada (EHC, 2007). Proposed Regulatory Framework For Nanomaterials Under The *Canadian Environmental Protection Act*, 1999.
- Environmental Protection Agency–EPA (2007). Nanotechnology whitepaper. Office of Science Advisor 100/B-07/001 | February, USA. 136 pp.
- ETC group (2003a). The big down: technologies converging at the nano-scale. *New release*, enero.
- European Commission (2017). Draft amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards Annexes I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI, and XII to address nanoforms of substances. Bruselas, 6 pp.

- European Parliament – EP (2009). Draft report on regulatory aspects of nanomaterials (2008/2208(INI), committee on the environment, public health and food safety (downloaded on 11.05.2015 from <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+COMPARL+PE-418.270+01+DOC+PDF+V0//EN?language=EN>>).
- Falkner, Robert; Jaspers, Nico (2012). Regulating nanotechnologies: risk, uncertainty and the global governance gap. *Global Environmental Politics*, 12(1) : 30-55, febrero. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00096
- Government Accountability Office–GAO (2010). Nanotechnology nanomaterials are widely used in Commerce, but EPA faces challenges in regulating risk. Report to the Chairman, Committee on Environment and Public Works, May. U.S. Senate.
- Hansen, Steffen (2017). React now regarding nanomaterial regulation. *Commentary Nature Nanotechnology*, 12: 714-717, agosto. www.nature.com/naturenanotechnology
- Justo–Hanani, R; Dayan, T. (2015). European risk governance of nanotechnology: Explaining the emerging regulatory policy. *Research Policy* 44: 1527-1536.
- Huw Arnall, Alexander (2003). Future technologies, today's choices. *Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics*; A technical, political and institutional map of emerging technologies. A report for the Greenpeace Environmental Trust, 72 pp.
- ISO (2017). Página ISO/TC 229 Nanotechnologies. <https://www.iso.org/committee/381983.html>
- ISO Guide2 (2004). ISO/IEC Guide.2 Standardization and related activities — General vocabulary.
- ISO/IEC Directives. http://www.iso.org/iso/standards_development/processes_and_procedures/iso_iec_directives_and_iso_supplement.htm.
- Kica, Evisa y Bowman, Diana M. (2012). Regulation by means of standardization: key legitimacy issues of health and safety nanotechnology standards. *Jurimetrics*, 53(1) : 11-56, Otoño.
- Linares Salgado, Jorge Enrique (2013). Nanoética: un nuevo campo para viejos problemas del riesgo tecnológico. *Contrastes Rev Int de la Filosofía*, XVIII; 339.352.
- Lövestam, Göran, Rauscher, Hubert, Roebben, Gert, Institute for Health and Consumer Protection, Institute for Reference Materials and Measurements (2010). *Considerations on a definition of nanomaterial for regulatory purposes* (EUR. Scientific and technical research series, 24403). doi 10.2788/98686
- O'Brian Fern, P. (2011). An overview of the law of nanotechnology. En Dana David (2011, ed.), *The nanotechnology challenge: creating legal institutions for uncertain risks*. Cambridge University Press, 357-378.
- OECD (2011). Regulated nanomaterials: 2006-2009. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 30.
- Ponce del Castillo, Aida / ETUI (2010). The EU approach to regulating nanotechnology. Bruselas, 45pp.
- Prosafé (2017). *The ProSafe White Paper. Towards a more effective and efficient governance and regulation of nanomaterials*. 45 pp.
- Red Nanociencia y Nanotecnología (2012). *Iniciativa para el desarrollo de la NT en México*. Monterrey, 27 y 28 de Nov. (Memoria).

- Saldívar, Laura (2018). Borrador de capítulo de tesis sobre regulación de la nanotecnología en México.
- SE-Secretaría de Economía (12 de noviembre de 2012). Lineamientos para regulaciones sobre nanotecnologías para impulsar la competitividad y proteger al medio ambiente, la salud y la seguridad de los consumidores. México: Secretaría de Economía de los Estados Unidos Mexicanos. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/competitividad/lineamientos_regulaciones_nanotecnologias_261112.pdf
- STOA / EP (2012). Nanosafety – Risk Governance of Manufactured Nanoparticles. Science and Technology Options Assessment, Options brief No 2012-04, junio 2012, pp.
- Royal Society & Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Cardiff, UK: Clyvedon Press, 125 pp.
- UNESCO (2006). *The ethics and politics of nanotechnologies*. Francia, 25 pp.
- Vázquez, Rafael (2017). SINANOTOX, a National System of Toxicological Evaluation of nanomaterials. (talk) IUPAC Workshop on Safety of Engineered Nanomaterials. 28 y 29 Sept. CENAM Querétaro.
- WB-The World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (2007). The role of law. En *Governance and the Law*. Cap. 3: 83-101.

Propiedades antimicrobianas y citotóxicas de un adhesivo de uso ortodóncico adicionado con nanopartículas de plata[†]

Antimicrobial and cytotoxic properties of an orthodontic adhesive added with silver nanoparticles applications

Liliana Argueta-Figueroa,^{*} Ma. Concepción Arenas-Aroccena,^{*}
Ana Paulina Díaz-Herrera,^{**} Susana Vanessa García-Benítez,^{**}
René García-Contreras^{*}

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the antibacterial effect and cytotoxicity of an orthodontic adhesive with silver nanoparticles (Ag NP's). The antimicrobial activity was determined by a disc diffusion test for *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Enterococcus faecalis* at different concentrations of silver nanoparticles in an orthodontic adhesive. As well as cytotoxicity of said adhesive to be incorporated Ag NP's was evaluated, through the MTT method. The results showed that the bacteria under study, *S. aureus*, *E. coli* and *E. faecalis* were susceptible both to the Ag NP's and to the orthodontic MIP adhesive added with Ag NP's at 10, 5 and 3 v/v%. The antibacterial effect of silver nanoparticles is dose dependent. The cytotoxicity of the orthodontic MIP adhesive itself exhibits a mild to moderate cytotoxicity as well as incorporating the Ag NP's at the concentrations above mentioned. The nanoparticles incorporated in the adhesive for orthodontic use show antibacterial effect as well as maintain a slight cytotoxicity.

KEYWORDS: biocompatibility, cell viability, nanotoxicology, antibacterial effect, metal nanoparticles, orthodontic adhesive.

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto antibacteriano y la citotoxicidad de un adhesivo de uso ortodóncico con nanopartículas de plata (Ag NP's). Se determinó la actividad antimicrobiana mediante una prueba de difusión en disco para *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, y *Enterococcus faecalis* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata en un adhesivo ortodóncico. También se evaluó la citotoxicidad de dicho adhesivo al ser incorporadas

Recibido: 16 de junio de 2017.

Aceptado: 10 de abril de 2018.

[†] Agradecimientos: Liliana Argueta-Figueroa agradece a la DGAPA-UNAM por la beca posdoctoral brindada. Gracias por el financiamiento otorgado a través de PAPIIT IN225516 y IA204516. PAPIIME: PE210616, PE201617 y PE208518; Sener-Conacyt proyecto no. 207450 (CEMIE-Sol/27), Conacyt-México (CB176450) y Sener-Conacyt (245811), y Red Farmacéuticos de Conacyt.

^{*} Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria, Área de Nanoestructuras y Biomateriales, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León; León, Guanajuato, México

^{**} Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León; León, Guanajuato, México

Autor de correspondencia: (dentist.garcia@gmail.com).

Ag NP's, mediante el método de MTT. Los resultados mostraron que las bacterias en estudio, *S. aureus*, *E. coli* y *E. faecalis* fueron susceptibles tanto a las Ag NP's como al adhesivo MIP ortodónico adicionado con Ag NP's a concentraciones de 10, 5 y 3 v/v%.

El efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata es dosis dependiente. La citotoxicidad del adhesivo MIP ortodónico en sí mismo exhibe una citotoxicidad ligera a moderada, así como al incorporarle las Ag NP's a las concentraciones antes mencionadas. Las nanopartículas incorporadas en el adhesivo de uso ortodónico muestran efecto antibacteriano así como mantienen una citotoxicidad ligera.

PALABRAS CLAVE: biocompatibilidad, viabilidad celular, nanotoxicología, efecto antimicrobiano, nanopartículas metálicas, adhesivo ortodónico.

Introducción

Existen en el mercado diferentes sistemas de adhesión para la fijación de brackets en ortodoncia, entre los cuales se encuentran los sistemas con *primer-adhesivo* hidrofílicos (MIP) y sistemas de resina hidrófila que se han introducido recientemente en la práctica odontológica, los cuales pretenden proporcionar una mejor adhesión al esmalte (Anand *et al.*, 2014). El MIP más comúnmente utilizado es Transbond MIP (3M Unitek, Monrovia, California, EUA) Transbond MIP permite la adhesión en un entorno húmedo sin comprometer su fuerza de adhesión. Se han publicado numerosos estudios *in vitro* sobre la efectividad de este adhesivo (Littlewood *et al.*, 2000; Webster *et al.*, 2001; Anand *et al.*, 2014; Deng *et al.*, 2016; Grandhi y Combe, 2001).

A pesar de los grandes avances científicos en materiales adhesivos utilizados en ortodoncia, se necesitan mejoras adicionales (Argueta-Figueroa *et al.*, 2015) para evitar la formación indeseable de las lesiones de *mancha blanca* en el esmalte (Sudjalim y Woods, 2006). La desmineralización del esmalte es común durante el tratamiento de ortodoncia fija y se asocia con la acumulación de placa dental retenida alrededor de la aparatología y los agentes de unión (adhesivo y resina) (Heymann y Grauer, 2013). Estudios previos han demostrado que hay un aumento significativo de bacterias causantes de caries cuando se colocan aparatos ortodóncicos fijos. Generalmente, la producción de ácido por bacterias causa la desmineralización de la superficie del esmalte, lo que puede conducir a caries dentales (Sukontapitark *et al.*, 2001). Una propiedad deseable de la ortodoncia adhesiva contemporánea es que pueda poseer un efecto antibacteriano que limite la proliferación bacteriana.

La aplicación de la nanotecnología en ciencia de materiales es un gran paso hacia la producción de materiales con mejores propiedades químicas, mecánicas, ópticas y eléctricas. Actualmente, una potencial aplicación de la nanotecnología es el efecto antibacteriano que pueden exhibir algunas nanopartículas (Hajipour *et al.*, 2012), entre estas, destacan las nanopartículas de plata (Ag NP's) por su excelente efecto bactericida (García-Contreras *et al.*, 2011). Es un hecho bien conocido que los iones de plata y los compuestos a base de plata son altamente tóxicos para los microorganismos.

Este aspecto de la plata lo convierte en una excelente opción para múltiples funciones en el área biomédica. La plata se usa generalmente en forma de nitrato para inducir el efecto antimicrobiano, pero cuando la plata alcanza la escala nanométrica, su efecto antimicrobiano aumenta. Se ha afirmado que la concentración de Ag NP's que impide el crecimiento bacteriano es dosis-dependiente y es diferente para cada tipo de bacteria (Souza *et al.*, 2016; Prabhu y Poulouse, 2012; Van Dong y Ha, 2012). También se ha investigado la actividad antimicrobiana de las Ag NP's y se ha concluido que la concentración mínima inhibitoria y mínima bactericida es diferente en principio por el tipo de membrana de las bacterias Gram positivas o Gram negativas (Franci *et al.*, 2015; Hajipour *et al.*, 2012).

Es importante señalar que la acción antibacteriana de las Ag NP's es altamente dependiente del tamaño de la partícula, morfología y dosis (García-Contreras *et al.*, 2011). Las NP's deben de ser lo suficientemente pequeñas para penetrar la membrana celular y con ello afectar la homeostasis intracelular. La interacción de las partículas con la bacteria depende del área superficial disponible (partículas pequeñas con una mayor área superficial disponible para la interacción tienen más efecto bactericida que las partículas grandes). Es posible que las Ag NP's no solo interactúen con la superficie de la membrana, sino que también penetren al interior de la bacteria (Xiu *et al.* 2012). De tal manera, el efecto bactericida de las Ag NP's puede ser un sinergismo de los siguientes mecanismos: las Ag NP's penetran a la bacteria con facilidad debido a su tamaño diminuto, las Ag NP's liberan iones de plata y se enlazan con grupos sulfhidrilos de biomoléculas y con compuestos fosforo-sulfurados como los presentes en el ADN, lo que inactiva a las bacterias y la producción de especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo que conlleva a la muerte bacteriana (Prabhu y Poulouse, 2012).

Por lo tanto, con la finalidad de disminuir las complicaciones a consecuencia del tratamiento ortodóncico sin causar citotoxicidad, el propósito de este estudio fue la incorporación de nanopartículas de plata (Ag NP's) en un adhesivo MIP para determinar el efecto antibacteriano, así como evaluar la citotoxicidad del mismo. La hipótesis de trabajo es que el adhesivo adicionado con Ag NP's presentará efecto antibacteriano y citotoxicidad ligera.

Material y método

Síntesis de Ag NP's

La síntesis de las Ag NP's, utilizada en este estudio, se basó en el método desarrollado por Solomon *et al.* (2007), con algunas modificaciones. En una reacción típica, en 30 ml de una solución recién preparada 0.002M de borohidruro de sodio (NaBH_4), se le agregaron 2 ml de una solución 0.001M de nitrato de plata (AgNO_3) con una velocidad de adición de 0.2ml/seg. La disolución se mantuvo en agitación magnética hasta que se añadió completamen-

te el AgNO_3 . La formación de las Ag NP's puede confirmarse al observar que la disolución presenta una coloración amarillo claro (Solomon *et al.* 2007).

Preparación de las muestras de adhesivo adicionado con Ag NP's

Para este estudio, se seleccionó un adhesivo ortodóncico fotopolimerizable convencional (Transbond MIP, 3M Unitek, CA, EUA) debido a sus propiedades hidrofílicas. Las Ag NP's, suspendidas en agua deionizada en una concentración de 3.3 nM, se añadieron al adhesivo con una micropipeta en diferentes concentraciones y se mezclaron en el adhesivo a través de agitación en vórtex por 1 min. Los grupos de tratamiento que se emplearon en este estudio pueden observarse en la tabla 1.

Prueba de difusión en disco

La actividad antibacteriana del adhesivo se determinó por la técnica de difusión en disco de acuerdo con las recomendaciones del National Committee for Clinical Laboratory Standards. Se prepararon cultivos frescos con *S. aureus*, *E. coli* y *S. faecalis*. Los cultivos fueron ajustados con solución salina estéril para obtener una turbidez equivalente al 0.5 del estándar de McFarland. Se prepararon placas de agar Mueller-Hinton (MHA) y se inocularon con 200 μl de cada cepa bacteriana del estándar de McFarland en dilución 1:20. Posteriormente se colocaron discos de papel filtro estériles sobre la superficie de las placas de agar y se agregaron con micropipeta 20 μl del agente a probar en cada disco según correspondiera, se utilizó como control positivo (+) un disco con clorhexidina y como control negativo (-) se empleó un disco con agua destilada estéril; y se incubaron a 37 °C durante 24 horas en condiciones aeróbicas. El ensayo se realizó por triplicado en dos ensayos independientes. Finalmente, se tomaron fotografías de las cajas y se midieron en milímetros los halos de inhibición bacteriana producidos en las placas de agar, con el programa *Image J* (U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland). El programa fue calibrado usando una distancia conocida y cada halo fue medido en tres direcciones, obteniéndose el promedio del diámetro de cada uno de los halos.

TABLA 1. Relación de adhesivo adicionado con Ag NP's en los grupos de tratamiento.

Grupos	Relación en porcentaje de volumen/volumen (v/v%)	
	Porcentaje de adhesivo	Porcentaje de Ag NP's
Ag NP's	0	100
Adh/Ag NP's 10	90	10
Adh/Ag NP's 5	95	5
Adh/Ag NP's 3	97	3
Adh	100	0

Fuente: Elaboración de los autores.

Ensayo de citotoxicidad

Cultivo celular. Fibroblastos gingivales humanos (FGH) fueron obtenidos a partir de tejido gingival recolectado durante la extracción de la cirugía del tercer molar de un paciente de 25 años con consentimiento informado escrito previo firmado y aprobado por el Comité de Bioética de la Escuela Nacional de Educación Superior (ENES), Campus León, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Todos los tejidos se cortaron en pequeños explantes utilizando una hoja de bisturí estéril y los fragmentos de tejido se sembraron en una placa de cultivo de 10 cm y se cultivaron en Alpha Modification of Eagle's Medium (α -MEM, Life Technologies, Gibco, Carlsbad, CA, EUA) Complementado con un 20% de suero fetal bovino inactivado por calor (FBS, Life Technologies, Gibco), 100 UI/ml de penicilina, 100 mg/ml de estreptomina (Life Technologies, Gibco). Los cultivos primarios se incubaron a 37 °C en una atmósfera humidificada de CO₂ al 5% hasta que la población celular cubrió el 80% de la placa. Después, las células se recuperaron mediante tratamiento con 0.25% de tripsina-EDTA-2Na al 0.025% en PBS (-) y se subcultivaron o se usaron para experimentos. Las células se subcultivaron en medio de Eagle modificado de Dulbecco (DMEM, Life Technologies, Gibco) suplementado con 10% de SFB, 1% de Glutamax (Life Technologies, Gibco) y 2% de penicilina y estreptomina (Life Technologies, Gibco).

Actividad citotóxica (dosis-respuesta). De un cultivo de fibroblastos gingivales humanos (FGH) en su división celular (PDL, del inglés *population doubling level*) 12, se obtuvo un cultivo secundario en su división número 13. Se inocularon dichas células (2×10^5 células/ml) en cada pocillo de una microplaca de 96 pocillos y se incubaron durante 24 h para lograr la completa confluencia y adherencia celular. Posteriormente, se inocularon las muestras de adhesivos con Ag NP's a diferentes concentraciones (10, 5, 3 y 0 v/v%) previamente diluidas cada una de ellas en medio de cultivo en una relación 1:1 para permitir el crecimiento celular; más adelante se realizaron diluciones seriadas de cada una de las muestras. Después, se incubaron durante 24 horas a 37 °C, con una humedad relativa del 95% y CO₂ al 5%. El número relativo de células viables se determinó mediante el método MTT (Sigma-Aldrich, St Luis, MO, EUA). El medio de cultivo de cada pocillo se reemplazó con MTT (0.2 mg/ml) disuelto en DMEM, y las células se incubaron durante 4 h a 37 °C. Después de reemplazar el medio, el formazano se disolvió completamente en dimetilsulfóxido (DMSO, Sigma-Aldrich) y se determinó la absorbancia a 570 nm utilizando un lector de microplacas (Thermo Scientific, St. Luis, MO, EUA). La citotoxicidad se calificó de acuerdo con la norma ISO 10993-5 como no citotóxica (viabilidad celular superior al 75%), ligeramente citotóxica (viabilidad celular entre 50% a 75%), moderadamente citotóxica (la viabilidad celular entre 25% a 50%), y severamente citotóxica (viabilidad celular inferior al 25%). La concentración citotóxica media (CC₅₀) se determinó a partir de la curva dosis-respuesta. Se obtuvieron datos reproducibles por triplicado y en tres experimentos independientes.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se expresan como la media \pm desviación estándar (SD). La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se realizó para todos los datos. El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de ANOVA de una vía, t de Student, Kruskal-Wallis y la prueba U de Mann-Whitney. Se utilizó SPSS (Paquete estadístico para las ciencias sociales, Chicago, IL, EUA) En todos los análisis. Las diferencias se consideraron significativas si $p \leq 0.05$.

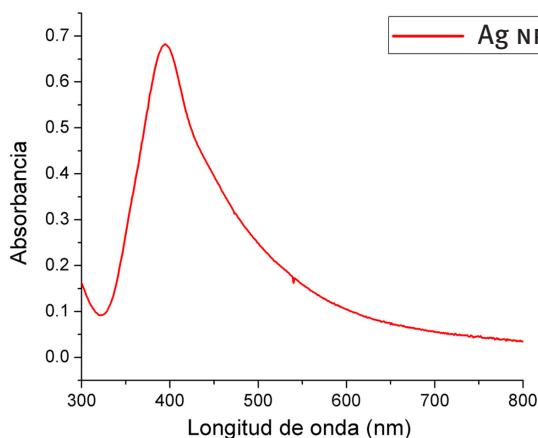
Resultados y discusión

Síntesis de Ag NP's

En la figura 1, se observa el pico de la resonancia de plasmón superficial en 399 nm, el cual se encuentra dentro del rango característico de la banda de absorción centrada en 395 a 438 nm asignada a la resonancia del plasmón superficial de nanopartículas de plata de forma esférica, el tamaño de estas es mayor conforme más se encuentra desplazado a la derecha de 400 nm del espectro. La anchura a media altura (Full Width at Half Maximum, FWHM) del plasmón fue de 68 nm. De acuerdo con un reporte de Solomon, *et al.*, 2007, con estos datos puede predecirse el tamaño de partícula de las Ag NP's (a través de este método de síntesis a través de reducción química) el cual se encuentra en el rango de 10-14 nm de diámetro.

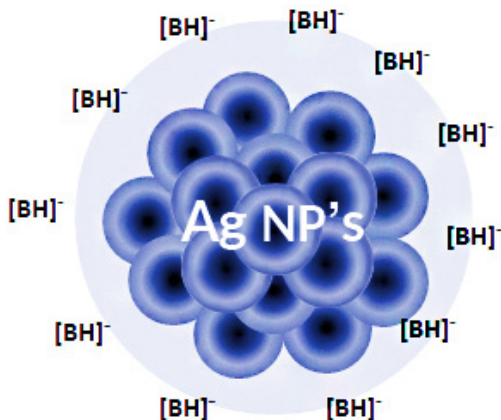
En este mismo estudio se postula que la adsorción de borohidruro juega un papel clave en la estabilización de las nanopartículas de plata durante su formación al proporcionar una carga negativa superficial de partículas. Los átomos de plata que conforman cada nanopartícula son pasivados o estabilizados por los aniones del [BH⁻] provenientes del agente reductor, un diagrama ilustrativo de lo anterior puede observarse en la figura 2. Por lo tanto,

FIGURA 1. Espectro de Uv-vis de las nanopartículas de plata.



Fuente: Elaboración de los autores.

FIGURA 2. Diagrama ilustrativo de la pasivación de una nanopartícula de plata con los aniones $[\text{BH}]^-$ provenientes del borohidruro de sodio.



Fuente: Elaboración de los autores.

mientras la proporción de borohidruro de sodio: nitrato de plata se encuentre en una relación estequiométrica de 2:1, las partículas obtenidas serán estables a través del tiempo (Solomon *et al.*, 2007) y esto se confirma a través del espectro de Uv-vis. En el método de síntesis empleado por Solomon se propone que con el fin de evitar la precipitación o agregación de las partículas se adicione un surfactante, polivinilpirrolidona (PVP), sin embargo, en este estudio no se utilizó dicho surfactante pues se colocaron en el adhesivo y este cumplió con la función de estabilizar a las NP's.

Prueba de susceptibilidad antimicrobiana por difusión en agar

Entre las complicaciones más importantes del tratamiento de ortodoncia fija se encuentra la desmineralización del esmalte, ya que la aparatología fija ortodóncica facilita la acumulación de placa, lo que conlleva a un aumento en el recuento bacteriano (Agarwal *et al.*, 2015), debido a esto, es importante desarrollar un adhesivo que presente actividad antimicrobiana para reducir la formación de biofilm en la interfase diente-bracket.

La prueba de difusión en agar determina la capacidad de los agentes antibacterianos para difundirse con el agar y producir una zona de inhibición bacteriana (Rose y Miller, 1939), sin embargo, es una prueba cualitativa que solo puede mostrar si existe o no un efecto antimicrobiano (Jorgensen y Turnidge, 2015), cuando no ha sido estandarizado a través de regresión lineal la asociación entre agentes antimicrobianos nuevos y la susceptibilidad a cada cepa bacteriana (Matuschek, Brown y Kahlmeter, 2014). Por otro lado, esta prueba es útil para detectar resistencias bacterianas (Balouiri y Sadiki, 2016), esto es evidente cuando se observan colonias dentro de los límites de la zona de inhibición. En la presente prueba de difusión en agar de este estudio, no se observaron colonias que indicaran resistencia bacteriana en ninguna de las cepas en

estudio. Por otra parte, los promedios de los halos de inhibición se compararon por medio de la prueba estadística de Mann-Whitney, entre las diferentes concentraciones de las nanopartículas de plata incorporadas en el adhesivo ortodóncico. En la tabla 2 se muestran los resultados de dicha prueba y las comparaciones múltiples. Se observa que las Ag NP's (sin adhesivo) son las que exhiben para todas las cepas bacterianas estudiadas el mejor efecto antibacteriano, y que dicho efecto se ve ligeramente disminuido al incorporarse en el adhesivo. También los resultados de esta prueba muestran que el efecto es dosis-dependiente, es decir, que mientras mayor es la dosis de las Ag NP's incorporadas, mejor es el efecto antibacteriano que exhibe el adhesivo.

Ensayo de citotoxicidad

En la tabla 3 y figura 3 se muestran los resultados obtenidos de la viabilidad celular relativa en FGH expuestos a diferentes concentraciones de adhesivo ortodóncico adicionado con nanopartículas de plata (v/v%). Las nanopartículas por sí solas son consideradas no citotóxicas (viabilidad celular $\geq 75\%$) excepto en las tres dosis más altas en donde resultaron tener una citotoxicidad ligera (viabilidad celular $< 75\%$), el adhesivo sin nanopartículas muestra una citotoxicidad severa (viabilidad celular $< 25\%$) en la dosis más alta. La citotoxicidad de los compuestos correspondió de la siguiente manera con base en la concentración citotóxica media (CC_{50}): Adh/Ag NP's 5 (0.95%) > Adh (1.37%) > Adh/Ag NP's 3 (1.45%) > Adh/Ag NP's 10 (1.48%). El análisis estadístico se llevó a cabo a través de comparaciones múltiples con t de Student y Post ANOVA de Tukey.

A pesar de que las nanopartículas de plata han sido muy estudiadas siguen siendo una de las áreas de investigación más controvertidas con respecto a su toxicidad para los sistemas biológicos. Se ha encontrado que in-

TABLA 2. Halos de inhibición producidos en la prueba de susceptibilidad antimicrobiana por difusión en agar.

	Halo de inhibición (mm)		
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>E. faecalis</i>
Ag NP's	16 ^a	15 ^a	15 ^a
Adh/Ag NP's 10	14 ^a	12 ^b	12 ^b
Adh/Ag NP's 5	15 ^a	8 ^c	12 ^b
Adh/Ag NP's 3	10 ^b	14 ^a	10 ^b
Adh	0 ^c	0 ^c	0 ^c
Control (+)	24 ^d	22 ^d	19 ^d
Control (-)	0 ^c	0 ^c	0 ^c

Letras minúsculas diferentes son estadísticamente significativas a la comparación intra grupos (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$). Letras iguales no muestra diferencias entre los grupos ($p > 0.05$).

Fuente: Elaboración de los autores.

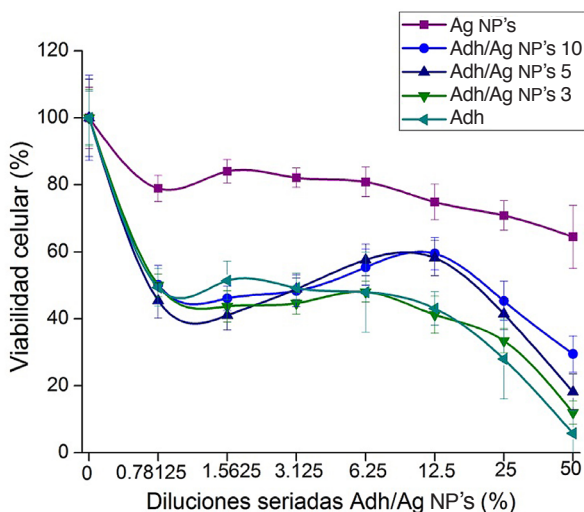
TABLA 3. Halos de inhibición producidos en la prueba de susceptibilidad antimicrobiana por difusión en agar.

Concentración (%)	Ag NP's	Adh/Ag NP's 10	Adh/Ag NP's 5	Adh/Ag NP's 3	Adh
0	100±9.2 ^{aA}	100±12.7 ^{aA}	100±11.5 ^{aA}	100±8.4 ^{aA}	100±7.9 ^{aA}
0.78125	78.93±3.9 ^{bA}	50.15±5.7 ^{bB}	45.41±5.3 ^{bB}	49.98±3.4 ^{bB}	49.32±5.6 ^{bB}
1.5625	84.02±3.5 ^{bA}	41.06±4.5 ^{cB}	43.72±4.7 ^{bB}	51.4±5.8 ^{bC}	51.4±5.8 ^{bC}
3.125	82.13±2.9 ^{bA}	48.31±4.7 ^{bB}	48.89±3.2 ^{bB}	44.68±3.3 ^{bC}	49.22±4.3 ^{bB}
6.25	80.87±4.4 ^{bA}	55.39±5.4 ^{bB}	57.58±4.7 ^{cB}	48.05±3.1 ^{bC}	47.93±11.9 ^{bC}
12.5	74.91±5.3 ^{cA}	59.46±4.8 ^{bB}	58.17±5.3 ^{cB}	41.22±5.6 ^{cC}	43.1±5.0 ^{bC}
25.0	70.82±4.4 ^{cA}	45.32±5.9 ^{cB}	41.45±4.7 ^{bB}	33.45±3.6 ^{dC}	27.98±11.9 ^{dC}
25.0	64.46±9.4 ^{dA}	29.47±5.4 ^{dB}	18.17±5.3 ^{dC}	11.99±3.5 ^{eD}	5.79±6.7 ^{eE}

Letras minúsculas diferentes son estadísticamente significativas a la comparación intra grupos (t-student pareada, $p \leq 0.05$). Letras mayúsculas diferentes son estadísticamente significativas diferentes a la comparación entre grupos a la misma dosis (Post ANOVA, $p \leq 0.05$). Letras iguales no muestran diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0.05$).

Fuente: Elaboración de los autores.

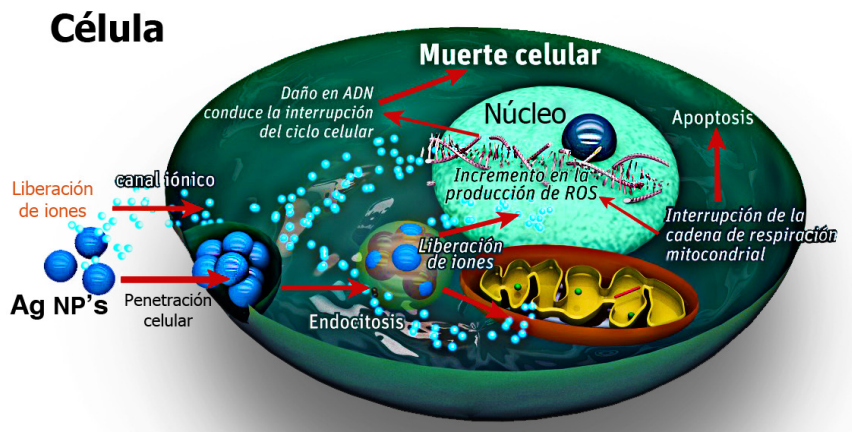
ducen citotoxicidad moderada *in vitro* en ensayos de micronúcleos en células TK6 (Li *et al.*, 2012) y células de hígado de rata BRL 3a (Hussain *et al.*, 2005). En otro estudio se analizó la distribución de las Ag NP's al estar en contacto con células y estas se encontraron dentro de las mitocondrias y el núcleo empleando microscopía electrónica de transmisión (TEM), lo cual implica su

FIGURA 3. Gráfico de viabilidad celular de FGH en contacto con el adhesivo de uso ortodóncico adicionado con nanopartículas de plata a diferentes concentraciones.

Fuente: Elaboración de los autores.

participación directa en la toxicidad mitocondrial y el daño del ADN. En dicho estudio se propuso un posible mecanismo de toxicidad que implica la interrupción de la cadena respiratoria mitocondrial por las Ag NP's, lo que conduce a la producción de especies reactivas al oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) e interrupción de la síntesis de ATP, que a su vez causa daño en el ADN. Se anticipa que el daño en el ADN se ve aumentado por la deposición de las NP's, seguido de las interacciones de Ag NP's con el ADN, lo que conduce al detenimiento del ciclo celular en la fase G2/M (Choi y Hu, 2008). Asimismo, se ha hipotetizado que la liberación de iones extracelular e intracelularmente es un mecanismo que actúa de forma simultánea a la deposición de dichas nanopartículas (Choi *et al.* 2008). También se ha postulado que otro posible mecanismo de muerte celular es a través de apoptosis mediada por vía receptor 2 tipo-Toll (Kim *et al.*, 2012), un diagrama de estos mecanismos puede observarse en la figura 4. Por otro lado, los resultados de un estudio *in vivo* realizado por Kim *et al.* (2008) mostraron que las nanopartículas de plata no afectaron ni el conteo de eritrocitos policromáticos micronucleados, tomados como un indicador de daño en el ADN, ni la relación PCE/(PCE+NCE), un indicador de toxicidad para células de la médula ósea, en las ratas macho y hembra; sin embargo, los 28 días de dosis orales repetidas de nanopartículas de plata indujeron toxicidad hepática y tuvieron un efecto de coagulación en la sangre periférica (Kim *et al.*, 2008). Los resultados del presente estudio muestran, que la viabilidad celular de los FGH fue superior para las Ag NP's sin adhesivo en todas las diluciones seriadas (mostrando no citotoxicidad) excepto en la dosis más alta, en donde la viabilidad celular fue similar a la del adhesivo con Ag NP's al 10, 5 y 0%. Lo cual es indicativo de que el adhesivo MIP ortodóncico en sí mismo exhibe una citotoxicidad moderada a se-

FIGURA 4. Diagrama ilustrativo de los posibles mecanismos de acción de las nanopartículas sobre las células.



Fuente: Elaboración de los autores.

vera similar al adhesivo si se le incorporan Ag NP's, es notorio que estadísticamente hubo diferencias significativas entre el adhesivo con nanopartículas de plata 10 en comparación con el adhesivo sin nanopartículas. La mayor viabilidad celular se observa en las nanopartículas de plata presentando diferencias estadísticamente significativas, en todas las dosis, respecto al adhesivo con o sin nanopartículas, por lo cual parece evidente que dichas nanopartículas no potencializan el efecto citotóxico del adhesivo en sí mismo.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y bajo las condiciones de este estudio es posible concluir que las bacterias en estudio, *S. aureus*, *E. coli* y *E. faecalis* fueron susceptibles tanto a las Ag NP's como al Adhesivo MIP ortodóncico adicionado con Ag NP's a diferentes concentraciones. El efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata es dosis-dependiente. La citotoxicidad del adhesivo MIP ortodóncico en sí mismo exhibe una citotoxicidad moderada a severa, mostrando que las nanopartículas de plata no potencializan el efecto citotóxico del adhesivo.

Referencias

- Agarwal, N., Agarwal, U., Katiyar, S. y Gupta, S. (2015). An *in vivo* comparison of bacterial colonization with orthodontic bracket system. *Advances In Human Biology*, 5(2): 72-77, Citeseer.
- Anand, M. K., Majumder, K., Venkateswaran, S. y Krishnaswamy, N. R. (2014). Comparison of shear bond strength of orthodontic brackets bonded using two different hydrophilic primers: an *in vitro* study. *Indian Journal of Dental Research*, 25(2): 191, Medknow Publications.
- Argueta-Figueroa, L., Scougall-Vilchis, R. J., Morales-Luckie, R. A. y Olea-Mejía, O. F. (2015). An evaluation of the antibacterial properties and shear bond strength of copper nanoparticles as a nanofiller in orthodontic adhesive. *Australian orthodontic journal*, 31(1).
- Balouri, M., Sadiki, M. y Ibsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2): 71-79, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Choi, O., Deng, K. K., Kim, N.-J., Ross Jr, L., Surampalli, R. Y. y Hu, Z. (2008). The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. *Water research*, 42(12): 3066-3074, Elsevier.
- Choi, O. y Hu, Z. (2008). Size dependent and reactive oxygen species related nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. *Environmental science y technology*, 42(12): 4583-4588, ACS Publications. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.02.021>
- Deng, S., Chung, K. H., Chan, D. C. N. y Spiekerman, C. (2016). Evaluation of bond strength and microleakage of a novel metal-titanate antibacterial agent. *OPERATIVE DENTISTRY*, 41(3), E48-E56. <https://doi.org/10.2341/14-257-L>

- Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G. y Galdiero, M. (2015). Silver nanoparticles as potential antibacterial agents. *Molecules*, pp. 8856-8874. <https://doi.org/10.3390/molecules20058856>
- García-Contreras, R., Argueta-Figueroa, L., Mejía-Rubalcava, C., Jiménez-Martínez, R., Cuevas-Guajardo, S., Sánchez-Reyna, P. A. y Mendieta-Zeron, H. (2011). Perspectives for the use of silver nanoparticles in dental practice. *International Dental Journal*, 61(6). <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2011.00072.x>
- Grandhi, R. K., Combe, E. C. y Speidel, T. M. (2001). Shear bond strength of stainless steel orthodontic brackets with a moisture-insensitive primer. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 119(3): 251-255, Elsevier. <https://doi.org/10.1067/mod.2001.110988>
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., De Aberasturi, D. J., De Larramendi, I. R., Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J. y Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 30(10): 499-511, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Heymann, G. C. y Grauer, D. (2013). A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 25(2): 85-95, Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1111/jerd.12013>
- Hussain, S. M., Hess, K. L., Gearhart, J. M., Geiss, K. T. y Schlager, J. J. (2005). *In vitro* toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. *Toxicology in vitro*, 19(7): 975-983, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2005.06.034>
- Jorgensen, J. H. y Turnidge, J. D. (2015). Susceptibility test methods: dilution and disk diffusion methods. *Manual of Clinical Microbiology*, eleventh ed., American Society of Microbiology, 1253-1273.
- Kim, A.-S., Chae, C.-H., Kim, J., Choi, J.-Y., Kim, S.-G. y Baciut, G. (2012). Silver nanoparticles induce apoptosis through the Toll-like receptor 2 pathway. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology*, 113(6): 789-798. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2012.01.019>
- Kim, Y. S., Kim, J. S., Cho, H. S., Rha, D. S., Kim, J. M., Park, J. D., Choi, B. S., Lim, R., Chang, H. K. y Chung, Y. H. (2008). Twenty-eight-day oral toxicity, genotoxicity, and gender-related tissue distribution of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats. *Inhalation toxicology*, 20(6): 575-583, Taylor y Francis. <https://doi.org/10.1080/08958370701874663>
- Li, Y., Chen, D. H., Yan, J., Chen, Y., Mittelstaedt, R. A., Zhang, Y., Biris, A. S., Heflich, R. H. y Chen, T. (2012). Genotoxicity of silver nanoparticles evaluated using the Ames test and in vitro micronucleus assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 745(1): 4-10, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.11.010>
- Littlewood, S. J., Mitchell, L., Greenwood, D. C., Bubb, N. L. y Wood, D. J. (2000). Investigation of a hydrophilic primer for orthodontic bonding: an *in vitro* study. *Journal of Orthodontics*, 27(2): 181-186, Taylor y Francis. <https://doi.org/10.1093/orto/27.2.181>
- Matuschek, E., Brown, D. F. J. y Kahlmeter, G. (2014). Development of the EUCAST disk diffusion antimicrobial susceptibility testing method and its implementa-

- tion in routine microbiology laboratories. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(4): O255-O266, Elsevier. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12373>
- Miller, R. E. y Rose, S. B. (1939). Studies with the Agar Cup-Plate Method: I. A Standardized Agar Cup-Plate Technique. *Journal of bacteriology*, 38(5): 525-537, *American Society for Microbiology* (ASM).
- Prabhu, S. y Poulouse, E. K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2(1): 32, Springer. <https://doi.org/10.1186/2228-5326>
- Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A. y Boritz, C. (2007). Synthesis and study of silver nanoparticles. *J. Chem. Educ.*, 84(2): 322, ACS Publications. <https://doi.org/10.1021/ed084p322>
- Souza, T. A. J., Franchi, L. P., Rosa, L. R., Da Veiga, M. A. M. S. y Takahashi, C. S. (2016). Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles of different sizes in CHO-K1 and CHO-XRS5 cell lines. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 795: 70-83, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2015.11.002>
- Sudjalim, T. R., Woods, M. G. y Manton, D. J. (2006). Prevention of white spot lesions in orthodontic practice: a contemporary review. *Australian Dental Journal*, 51(4): 284-289, Wiley Online Library.
- Sukontapatipark, W., El-Agroudi, M. A., Selliseth, N. J., Thunold, K. y Selvig, K. A. (2001). Bacterial colonization associated with fixed orthodontic appliances. A scanning electron microscopy study. *The European Journal of Orthodontics*, 23(5): 475-484, Oxford University Press.
- Van Dong, P., Ha, C. H. y Kasbohm, J. (2012). Chemical synthesis and antibacterial activity of novel-shaped silver nanoparticles. *International Nano Letters*, 2(1): 9, Springer. <https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-9>
- Webster, M. J., Nanda, R. S., Duncanson, M. G., Khajotia, S. S. y Sinha, P. K. (2001). The effect of saliva on shear bond strengths of hydrophilic bonding systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 119(1): 54-58, Elsevier. <https://doi.org/10.1067/mod.2001.109888>
- Xiu, Z., Zhang, Q., Puppala, H. L., Colvin, V. L. y Alvarez, P. J. J. (2012). Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles. *Nano letters*, 12(8): 4271-4275, ACS Publications. <https://doi.org/10.1021/nl301934w>

Mitos y realidades de la nanotecnología en México

Myths and realities of nanotechnology in Mexico

Eduardo Camarillo Abad,* Rafael Blome Fernández,*
Pablo Ivan Castellanos Andrade* y Jessica Campos Delgado*

ABSTRACT: The present study is a first approach to elucidate the concept that Mexican society has about nanotechnology. As a survey tool, the survey was used, in order to detect myths and set the tone for their clarification. The results of this survey are presented and the answers received are discussed to validate and/or correct them. This work concludes that it is imperative to design strategies to raise awareness in Mexican society about nanotechnology and eliminate erroneous ideas about it that may impede its progress and implementation.

KEYWORDS: nanotechnology, society, myths, realities.

RESUMEN: El presente estudio es un primer acercamiento para elucidar el concepto que la sociedad mexicana tiene sobre la nanotecnología. Como herramienta de sondeo se utilizó la encuesta, a manera de detectar mitos y dar la pauta a su esclarecimiento. Se presentan los resultados de esta encuesta y se discute en torno a las respuestas recibidas para validarlas y/o corregirlas. En este trabajo se llega a la conclusión de que es imperioso el diseño de estrategias para concientizar a la sociedad mexicana sobre la nanotecnología y eliminar ideas erróneas sobre la misma que puedan impedir su progreso e implementación.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, sociedad, mitos, realidades.

Introducción

La nanotecnología es un campo de investigación con un enorme potencial de innovación para la resolución de los problemas actuales en áreas tan disímiles como la medicina, la electrónica, la remediación ambiental, la producción de energía, los textiles o los cosméticos.

Varios autores ya han aportado a la literatura escritos donde se detalla el potencial de la nanotecnología y se describen los avances hechos hasta el momento por la misma (Molins, 2008; Beaumont, 2005); sin embargo, la investigación sobre la conciencia social de la nanotecnología no ha sido tan prolífera hasta el momento.

Específicamente para el caso de México, hay pocos estudios al respecto que involucren directamente a la sociedad. Delgado y Peña (2011) realizaron un estudio sobre la percepción de la nanociencia y la nanotecnología, pero fue hecho centrándose únicamente en la comunidad universitaria de la UNAM,

Recibido: 16 de enero de 2018.

Aceptado: 17 de agosto de 2018.

* Universidad de las Américas, Departamento de Ciencias Químico Biológicas.
Autora para correspondencia: (jessica.campos@udlap.mx).

excluyendo así a otros sectores sociales. Por su parte, Mata y Peña (2012) llevaron a cabo otro estudio con los estudiantes de la UAM, la UDLAP y el IPN, contando con la misma desventaja. Los temas tratados en los estudios disponibles giran más en torno a la confianza de la sociedad hacia los productos nanotecnológicos que hacia su percepción y al conocimiento de la nanotecnología en sí misma.

La promoción de los aspectos relacionados con la nanotecnología en el sector social es de vital importancia, pues, pese al carácter revolucionario de esta área y las elevadas expectativas generadas por sus resultados hasta la fecha, en los últimos años han surgido cuestionamientos sobre sus implicaciones éticas, sanitarias y ambientales conduciendo a la aparición de rechazos e inseguridades en relación con ella en algunos sectores de la población (Serena, 2013). Más aún, en México no toda la sociedad está consciente de lo que la nanotecnología involucra y otros han recibido información errónea sobre ella por parte de medios de difusión de baja calidad, lo cual amenaza con desencadenar tanto indiferencia como desconfianza hacia la nanotecnología (Delgado, 2011). Todo lo anterior, evidentemente, pone en juego el éxito de las aplicaciones nanotecnológicas y hace un llamado a la instauración de más estrategias de divulgación que, conscientes de la complejidad e interdisciplinariedad de la nanotecnología, consigan esclarecer su naturaleza, ventajas y limitaciones, y desmientan así cualquier concepción errónea que la sociedad pueda tener sobre ella. En realidad, diversos promotores de la nanotecnología insisten en la mejora de la comprensión pública de la misma, buscando la aceptabilidad social como medio que conduzca al apoyo a inversiones, generación de políticas y consumo de productos, de manera que la nanotecnología contribuya positivamente al desarrollo económico y productivo (De Cózar, 2009).

El presente estudio es un primer acercamiento para elucidar el concepto que la sociedad mexicana tiene sobre la nanotecnología. Como herramienta de sondeo se utilizó la encuesta, a manera de detectar mitos y dar la pauta para su esclarecimiento. Se presentan los resultados de esta encuesta y se discute en torno a las respuestas recibidas para validarlas y/o corregirlas. En este trabajo se llega a la conclusión de que es imperioso el diseño de estrategias para concientizar a la sociedad mexicana sobre la nanotecnología y eliminar ideas erróneas sobre la misma que puedan impedir su progreso e implementación.

Métodos

Con el objeto de determinar el conocimiento que la sociedad mexicana actual tiene alrededor de la nanotecnología, se comenzó por proponer siete aspectos concretos sobre los cuales la sociedad podría tener una idea errónea, es decir, siete mitos potenciales de la nanotecnología. Se realizó una encuesta digital en Google Docs (cuestionario y gráficos de respuestas incluidos en Informa-

ción Suplementaria) con preguntas relacionadas con los mitos potenciales. La difusión de la encuesta se realizó a través de redes sociales (Facebook y WhatsApp), dándose un plazo de siete días antes de cerrarla y recopilar las respuestas obtenidas. Se optó por realizar una encuesta digital debido a la versatilidad que ofrece esta herramienta, proporcionando al encuestado comodidad, privacidad, accesibilidad y disponibilidad. Sin embargo, la metodología utilizada restringe y sesga la población encuestada, lo cual acarrea implicaciones en la información recopilada, dichas implicaciones se discuten en la sección de resultados. La tabla 1 muestra los mitos potenciales propuestos y las preguntas relacionadas. Cabe recalcar que la encuesta incluyó 4 preguntas de información general (nacionalidad, edad, relación con las ciencias exactas y conocimiento de la nanotecnología) que no aparecen en la tabla.

Con base en las respuestas obtenidas en la encuesta, se procedió a determinar si los mitos potenciales propuestos en un inicio estaban arraigados en la sociedad mexicana o si esta conocía la realidad respecto a ellos. Para todos los casos, se presenta la realidad sobre el mito potencial propuesto inicialmente con base en una revisión de la literatura, a manera de contar con los argumentos adecuados para poder hacer una disertación informada al respecto.

Resultados y discusión

Para comenzar se hará referencia a las preguntas de información general, pues esto permite tener un panorama de la población participante.

TABLA 1. Mitos potenciales de la nanotecnología (columna izquierda) y preguntas relacionadas en la encuesta realizada (columna derecha).

	Mitos sobre la nanotecnología	Preguntas relacionadas en la encuesta
1	La nanotecnología es algo novedoso y hecho por el hombre	¿Piensas que la nanotecnología es algo artificial? ¿Piensas que la nanotecnología es algo nuevo?
2	La nanotecnología hace nanorrobots	¿Dirías que la nanotecnología produce nanorrobots?
3	En México aún no se hace nanotecnología	¿Consideras que la nanotecnología se hace en México?
4	Aún no hay productos con nanotecnología	¿Consideras que la nanotecnología ya ha hallado aplicaciones? Si respondiste que sí en la pregunta anterior, ¿qué materiales sabes o crees que produce la nanotecnología?
5	El tamaño es lo más importante en los nanomateriales	De los siguientes factores, ¿cuáles crees o sabes que repercuten en el comportamiento de los nanomateriales? Señala los que apliquen
6	Los nanomateriales se crean moviendo átomo por átomo	¿Cuál de las siguientes técnicas sabes o crees que se utiliza en la síntesis de nanomateriales?
7	En México no existe regulación en cuanto a nanotecnología	¿Consideras o crees que existen regulaciones hacia la nanotecnología en México?

Fuente: Elaboración de los autores.

La encuesta contó con 91 participantes, siendo mexicanos el 96.7% de los encuestados, por lo cual podemos considerar que las respuestas corresponden realmente a una visión de la sociedad mexicana. De los encuestados, el 57.1% tiene entre 16 y 25 años; el 8.8% entre 26 y 40 años; el 30.8% entre 41 y 60 años; el 2.2% entre 61 y 80 años, y, el 1.1% tiene una edad mayor o igual a 81 años. Se puede considerar que un poco más de la mitad de los encuestados (57.1%) son jóvenes y están en edad escolar, mientras que casi el 40% tiene entre 26 y 60 años y solo un 3.3% están en un rango de edad considerado como la tercera edad, esto nos permite concluir que nuestra encuesta refleja la visión de una población económicamente activa. Debe recalarse que el grueso de las respuestas (casi el 60%) fue dado por una población joven, la cual está más en contacto con las redes sociales y con un flujo diario y cuantioso de noticias. Por tanto, es posible que, a través de ellas este sector de la población esté más familiarizado con la nanotecnología.

Dada la participación recibida, hacemos hincapié en que este trabajo provee información prioritariamente cualitativa en cuanto a la percepción de la sociedad mexicana sobre la nanotecnología, siendo una primera aproximación para ubicar tendencias en el área que orienten futuros estudios y estrategias de divulgación.

Continuando con la información general, el 52.7% de los encuestados están involucrados en un trabajo o área de estudio que guarda alguna relación con las ciencias exactas, lo que implica que los resultados reflejan equitativamente diferentes percepciones de la nanotecnología.

Por último, el 80.2% de los encuestados sabe lo que significa la nanotecnología, sin embargo, este alto porcentaje puede en realidad no ser un reflejo confiable del nivel de conocimiento de la nanotecnología por parte de la sociedad mexicana. Hay que recordar que las encuestas fueron difundidas por redes sociales a los contactos de los autores, la relación con los mismos pudo influenciar el conocimiento expresado sobre el concepto de nanotecnología debido a que los autores tienen un quehacer en esta área. Como se mencionó, este estudio busca ser un primer acercamiento y pretende abrir una brecha hacia estudios más cuantiosos y representativos que exploren aspectos hasta ahora no considerados en investigaciones de carácter social en torno a la nanotecnología. Insistimos en la necesidad de trabajos más extensos que involucren un mayor número de participantes donde estos sean seleccionados aleatoriamente para obtener un reflejo más objetivo de la percepción social.

A continuación, se enlistan uno a uno los mitos propuestos. Posteriormente, se discuten las respuestas de la encuesta.

Mito 1. La nanotecnología es algo novedoso y hecho por el hombre

El 40.7% de los encuestados piensan que la nanotecnología es algo artificial y el 59.3% piensa que es algo nuevo.

Para esclarecer este punto, es importante comenzar por mencionar que la nanotecnología se encuentra presente en la naturaleza; tan solo la brisa del mar, el polvo, la arena o la ceniza volcánica contienen diferentes nanoestructuras (Lohse, 2013), e incluso la leche, la niebla o nuestra misma sangre son dispersiones de nanomateriales (Filipponi y Sutherland, 2010). Asimismo, muchos seres vivos han hallado ingeniosas maneras de incorporar nanoestructuras en sí mismos para conseguir propiedades únicas y resolver distintos problemas a los que se enfrentan. Los ojos de las polillas, por ejemplo, cuentan con nanoestructuras que consiguen una eficiente absorción de luz y les permiten ver mejor en la oscuridad (Galeotti *et al.*, 2014). Las telarañas, por su parte, deben su gran fuerza al arreglo que las proteínas que las componen tienen a nivel nanométrico (Du *et al.*, 2006). La flor de los Alpes cuenta con nanoestructuras que la protegen de la radiación ultravioleta y le dan su característico color blanco (Vigneron *et al.*, 2005). También, existen bacterias que producen nanopartículas de magnetita y las usan como guías magnéticas para desplazarse (Arakaki *et al.*, 2008) e incluso las flores de Loto deben sus propiedades de autolimpieza e hidrofobicidad a la presencia de nanoestructuras de cera en su superficie (Karthick y Maheshwari, 2008). Por si fuera poco, nuestros propios huesos cuentan con nanoestructuras de un mineral llamado hidroxiapatita que contribuyen a sus propiedades de rigidez, flexibilidad y ligereza (Filipponi y Sutherland, 2010.).

No obstante, pese a que la naturaleza nos precede en la producción de nanotecnología, esto no implica que la producción de la misma por parte de los humanos sea reciente. Actividades humanas como el encender una vela, la minería, la combustión de motores de diésel o encender un cigarro producen involuntariamente, por ejemplo, nanoestructuras de carbono (Lohse, 2013). En realidad, si la nanotecnología es considerada como nueva es porque no fue sino hasta el siglo pasado que se desarrollaron las técnicas de visualización que permitieron la detección de los nanomateriales y que condujeron al surgimiento de la nanotecnología como un área de estudio. Por lo tanto, lo verdaderamente reciente es el diseño controlado de nanomateriales, esto a manera de producirlos de forma deliberada con características específicas que permitan su inclusión en distintos sectores como el energético, la medicina, la electrónica o la remediación ambiental, entre otros. Así, teniendo en cuenta la cantidad de personas que afirmaron que la nanotecnología era nueva y artificial, podemos aseverar que existe un mito respecto a este tema en la sociedad que probablemente se deba a que no fue sino hasta hace poco que las palabras con “nano” como prefijo comenzaron a ser escuchadas, ligadas a discusiones sobre avances tecnológicos.

Mito 2. La nanotecnología hace nanorrobots

Respecto a este mito potencial, la encuesta indica que poco más de la mitad de la población (52.7%) considera que la nanotecnología hace nanorrobots. Esto

es algo preocupante, y esta mala concepción se atribuye principalmente a las ideas que Eric Drexler plantea en su libro *Engines of creation*, donde describe un futuro lleno de máquinas minúsculas que son capaces de reconstruir (o destruir) objetos a partir de materia atómica (Drexler, 1986). Esta idea ha crecido todavía más debido a que la ciencia ficción ha alimentado la creencia en los nanorrobots, pues son múltiples las películas y series de televisión que les atribuyen características normalmente relacionadas con fines bélicos.

En general, un nanorrobot sería cualquier estructura tanto pasiva como activa capaz de actuar, procesar información y tener inteligencia a escala nanométrica, mas ningún dispositivo de este talante se ha desarrollado aún. La investigación en torno a los nanorrobots no se basa en su totalidad en construirlos con piezas mecánicas o electrónicas, sino en que estos tengan un funcionamiento molecular capaz de imitar la forma en que la naturaleza trabaja a la nanoescala. La nanorrobótica es un área que requiere de la participación de físicos, químicos, biólogos, programadores, ingenieros y otros especialistas, y este campo está aún evolucionando. En realidad, una de las principales razones por las cuales la nanorrobótica ha tenido un avance pobre en comparación con otras áreas es por la incertidumbre de su naturaleza cuántica

Conforme a lo anterior, y teniendo en cuenta la gran cantidad de personas que afirmaron que la nanotecnología produce nanorrobots, puede concluirse que existe un mito que debe ser erradicado mediante la concientización social sobre la importancia de desligar la ciencia ficción de la realidad y no creer todo lo narrado en películas o series de televisión, las cuales ya han sido señaladas como las probables culpables del surgimiento de este mito.

Mito 3. En México no se hace nanotecnología

Los resultados de la encuesta muestran que casi todos los encuestados (91.2%) consideran que en México se hace nanotecnología. Sin embargo, como se recaló anteriormente, es probable que los resultados no reflejen el nivel de consciencia real sobre la nanotecnología en México debido a la relación de los encuestados con los autores. Reafirmamos la necesidad de un estudio que contemple más participantes y la selección al azar de los mismos para evidenciar un panorama más verídico sobre la consciencia de la sociedad respecto a la investigación en nanotecnología en nuestro país.

A manera de ahondar en este punto, debe comenzarse por afirmar que México se halla por detrás de otros países en materia del desarrollo de nanotecnología, lo cual puede ser evidenciado por su carencia de un programa nacional de nanotecnología o por el financiamiento público que se le da a esta área. Mientras que la Unión Europea invirtió unos 896 millones de euros en nanotecnología entre 2007 y 2011 como parte del Programa Marco 7; los Estados Unidos 21,000 millones de dólares entre el 2001 y el 2014, y China unos 1,300 millones de dólares para el 2011, se ha estimado que México tan solo invirtió unos 60 millones de dólares en el periodo comprendido entre 2005 y

2010 (Foladori *et al.*, 2014). Sin embargo, esto no implica que la nanotecnología no se desarrolle ni se contemple en el país. El reconocimiento de esta ciencia como un área de oportunidad en México se dio desde el 2001 en el marco del Programa Especial de Ciencia y Tecnología, y a partir de entonces otros programas y planes han reconocido la importancia de la misma. Tan solo entre 1998 y 2004, el Conacyt financió alrededor de 152 proyectos de investigación relacionados con la nanotecnología (Záyago-Lau y Foladori, 2010).

Entre 1994 y 2011, la investigación en nanotecnología realizada en México había generado un total de 175 patentes registradas ante la Organización Mundial de Propiedad Intelectual. Otros indicadores de la presencia de la nanotecnología en México son las 188 empresas nanotecnológicas que, según la OCDE, tienen presencia en el país desde el 2012 (Foladori *et al.*, 2014), o los más de 400 investigadores que trabajan en el área (Záyago-Lau y Foladori, 2010). En total, se estima que hay más de 50 instituciones y más de 159 laboratorios dedicados a la nanotecnología en México (Guerrero, 2015), siendo algunos ejemplos concretos el IMP, la UNAM, el IPICYT, CIQA, y el INAOE, que cuenta con el Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica. Otras instituciones involucradas con la nanotecnología son el IPN, el CIMAV y la UDLAP (Záyago-Lau y Foladori, 2010; Zanella *et al.* 2016).

En cuanto a la formación de recursos humanos en el área, el país cuenta con unos 44 programas de doctorado, 43 programas de maestría y 12 programas de licenciatura en nanotecnología, algunos de estos son ofrecidos por la UNAM, la UDLAP, la Universidad Iberoamericana, el IPN, la UACJ o la UASLP (Foladori *et al.*, 2014; Zanella *et al.* 2016).

Mito 4. Aún no hay productos con nanotecnología

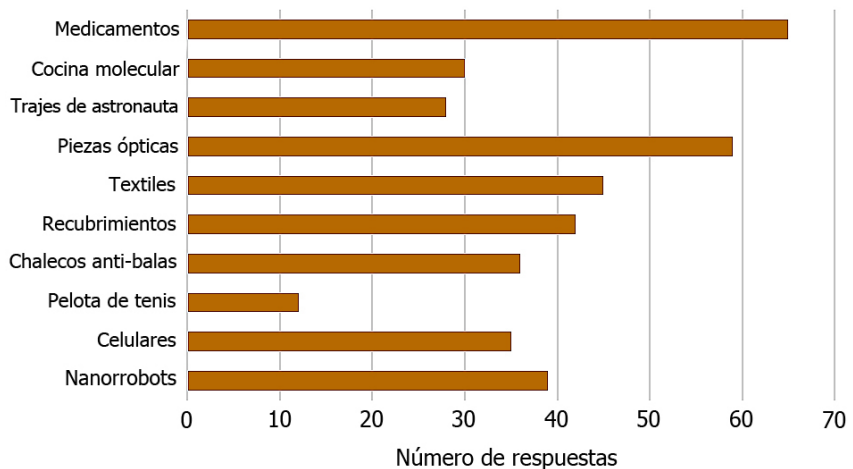
El 96.7% de los participantes considera que la nanotecnología ya cuenta con aplicaciones. A estos participantes se les pidió que indicaran qué materiales creían o sabían que producía la nanotecnología, dándoseles una lista de opciones tanto verdaderas como falsas. Las opciones más populares de aplicaciones de la nanotecnología son piezas ópticas, textiles y medicamentos, mientras que la menos popular son las pelotas de tenis, como se puede ver en la figura 1. Comenzando a ahondar en las aplicaciones de la nanotecnología, debe mencionarse que los artículos deportivos se han orientado hacia la innovación nanotecnológica, ejemplos son las pelotas y las raquetas de tenis (Azo-Nano, 2007). En México, una aplicación notoria de la nanotecnología es la fachada de la torre de especialidades del Hospital General Manuel Gea González, donde se incorporó un recubrimiento de dióxido de titanio nanométrico, que realiza una fotocatalisis del *smog* ambiental, degradándolo y aportando así a la remediación ambiental en la Ciudad de México (Zimmer, 2013).

En el área de los textiles, existen las compañías Nano-Text, Scholler y Quantum Group Inc (Sawhney *et al.*, 2008). Asimismo, los nanotubos de carbono están siendo utilizados para la fabricación de chalecos anti-balas y

demás equipo de protección de alta eficiencia (Zhang *et al.*, 2004; Mylvaganam y Zhang, 2006, 2007). El hecho de que una gran cantidad de personas considere que la nanotecnología hace medicamentos y piezas ópticas puede deberse al auge y el impacto que la nanofotónica y, en especial, la nanomedicina, tienen en comparación con otras ramas de la nanotecnología, haciéndolas más promovidas y conocidas que las otras. En realidad, las aplicaciones de la nanotecnología son tan cuantiosas que se espera que el mercado global de la misma crezca a 64.2 billones de dólares para el 2019 (McWilliams, 2010).

Tomando en cuenta los resultados de la figura 1, se puede, en primera instancia, encontrar como alentadora la respuesta afirmativa de la sociedad sobre las actuales aplicaciones de la nanotecnología, puesto que son una realidad. Sin embargo, esto no puede conducir a la inmediata aseveración de que no existe un mito en torno a este tema, los resultados al respecto mostrados en la figura 2 no muestran un conocimiento del todo veraz. Los resultados obtenidos revelan ideas erróneas en cuanto a aplicaciones de la nanotecnología. Estos mitos giran en torno a la producción de nanorrobots, celulares, trajes de astronauta y cocina molecular, dado que estas aplicaciones son falsas. Es importante aclarar que, respecto a la telefonía móvil, en los últimos años ha habido un gran avance en cuanto a las funciones que permiten estos dispositivos, a su rapidez de procesamiento, a lo compacto y lo ligero de sus diseños, todo esto gracias a los avances en materia de la miniaturización de sus componentes y a la gran capacidad y tamaño reducido de los procesadores actuales basados en materiales semiconductores. Sin em-

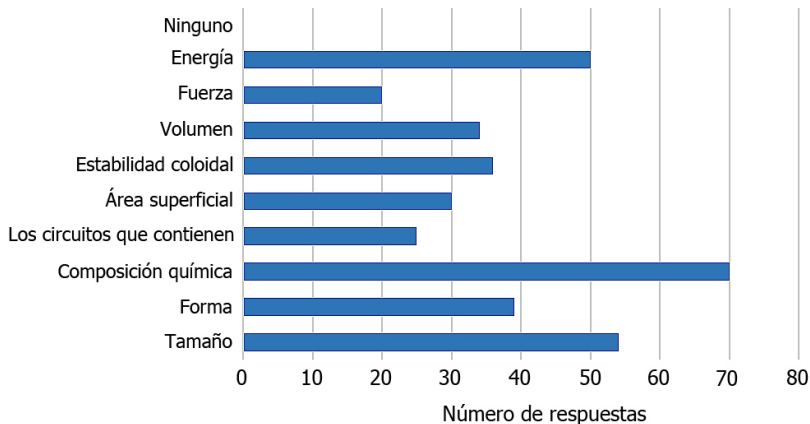
FIGURA 1. Opciones dadas en la encuesta como productos que incorporan nanotecnología y las respuestas de la población encuestada.



Las opciones "nanorrobots, celulares, trajes de astronauta y cocina molecular" fueron las aplicaciones falsas dadas.

Fuente: Elaboración de los autores.

FIGURA 2. Opciones dadas en la encuesta de los factores que repercuten en el comportamiento de los nanomateriales y los resultados arrojados por la encuesta.



Las opciones “los circuitos que contienen, volumen, fuerza y energía” son los factores falsos dados. Fuente: Elaboración de los autores.

bargo, aunque hay gran investigación enfocada a nanoelectrónica y muchas compañías prometen la incorporación de procesadores con otras tecnologías (electrónica molecular, electrónica basada en el *spin*, dispositivos de transporte de un solo electrón, grafeno, nanotubos de carbono) en sus dispositivos en un futuro cercano, hoy en día no existe comercialmente un teléfono celular que incorpore nanoelectrónica en sus componentes.

En general, puede notarse que existen tanto mitos como concepciones veraces en cuanto a los productos desarrollados con nanotecnología.

Mito 5. El tamaño es lo más importante en los nanomateriales

A los encuestados se les preguntó qué factores creían o sabían que repercutían en el comportamiento de los nanomateriales, pudiendo escoger de una lista con opciones tanto verdaderas como falsas. Los resultados de esta pregunta pueden observarse en la figura 2.

Es importante mencionar que los nanomateriales muestran fenómenos únicos y novedosos debido a los cambios en sus propiedades respecto a los materiales macroscópicos, o en *bulk*, en parte debido al incremento en la relación área superficial contra volumen que presentan. Es precisamente en la escala nanométrica donde comienzan a observarse fenómenos mecano-cuánticos que deben considerarse y que dan como resultado las insólitas propiedades mecánicas, magnéticas u ópticas de los nanomateriales. Claramente, conforme a lo anterior, puede apreciarse que el tamaño y la relación área superficial contra volumen son factores importantes en el comportamiento de los nanomateriales.

Sin embargo, además de estos factores, hay otros que repercuten en el comportamiento de los nanomateriales. La forma y la composición química de los mismos van a determinar muchas de sus propiedades, pues, por ejemplo, no es lo mismo tener nanopartículas de Zn, de Cu o de Ti, puesto que estas exhibirán propiedades distintas de acuerdo con los orbitales y estados electrónicos de cada metal. Además, existen nanomateriales del mismo elemento, pero de diferente forma y arreglo estructural; formados de un mismo elemento se pueden encontrar diferentes morfologías como lo son: nanotubos, nanolistones, nanofibras o nanopartículas.

Finalmente, la estabilidad coloidal es otro factor determinante para nanopartículas en suspensión (definiendo a un coloide como una dispersión de nanoestructuras), pues estas tienden a aglomerarse, pudiendo ocasionar un crecimiento tal de estas nanoestructuras que provoque su salida de la escala nanométrica, alterando o inclusive erradicando ciertas propiedades de interés de las mismas. Por lo tanto, una buena estabilidad coloidal evitará la aglomeración de las nanopartículas, manteniendo así sus propiedades por un mayor tiempo (Morsy, 2014).

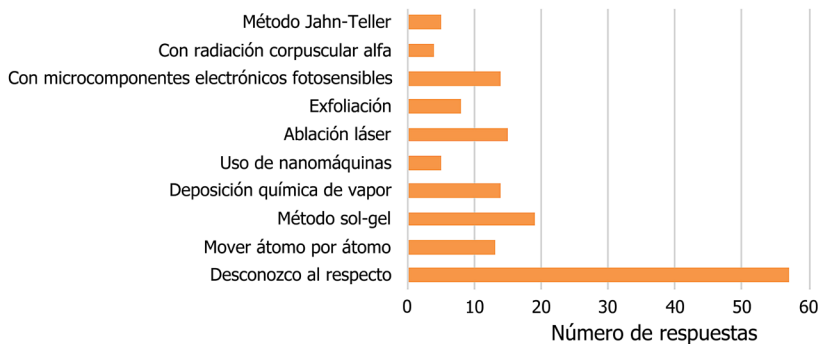
Por los resultados conseguidos en este rubro, puede afirmarse que los encuestados están parcialmente al tanto de la realidad sobre los factores que repercuten en el comportamiento de los materiales (tamaño y la composición química). Sin embargo, el hecho de que los participantes de la encuesta consideren la energía, la fuerza, el volumen o los circuitos que contienen como factores determinantes del comportamiento de los nanomateriales, pone en evidencia percepciones erróneas sobre el tema. Por otra parte, la encuesta muestra que los participantes no están del todo conscientes de la importancia que la forma, el área superficial y la estabilidad coloidal de los nanomateriales tienen en su comportamiento, lo cual hace un llamado a la difusión de tal información a la sociedad.

Mito 6. Los nanomateriales se crean moviendo átomo por átomo

Para abordar este mito se le preguntó a la población qué técnicas sabían o creían que se utilizaban en la síntesis de nanomateriales. Nuevamente se les dio una lista de opciones tanto verdaderas como falsas, y se añadió otra opción en la que los encuestados podían declarar que desconocían al respecto. Los resultados de esta pregunta se muestran en la figura 3. En la gráfica puede apreciarse que la mayoría de los encuestados, un 62.6%, desconocen sobre las técnicas utilizadas para sintetizar nanomateriales.

Respecto al tema, se puede comenzar diciendo que, en los conceptos primordiales de la nanotecnología como tal, establecidos por Richard Feynman durante su afamada charla *There's Plenty of Room at the Bottom* en 1959, se describió la posibilidad de una síntesis a través de la manipulación de átomos. El salto de la imaginación a la realidad se dio en 1981, cuando Binnig y Rohrer desarrollaron el primer microscopio de efecto túnel para visualizar átomos individuales que, posteriormente, fue utilizado exitosamente por Eigler y

FIGURA 3. Opciones dadas en la encuesta como técnicas utilizadas en la síntesis de nanomateriales y las respuestas de la población encuestada.



Las opciones “uso de nanomáquinas, con microcomponentes electrónicos fotosensibles, por medio de radiación corpuscular alfa y por el método Jahn-Teller” son técnicas de síntesis falsas.
Fuente: Elaboración de los autores.

Schweizer para manipularlos (Eigler y Schwizer, 1990). Aunque esto sea una maravilla tecnológica, la realidad es que este tipo de trabajo no tiene aplicaciones reales para manufacturar nanomateriales, pues, aunque podría ser utilizada para construir ciertas nanoestructuras, esto tomaría una gran cantidad de tiempo y el proceso no sería escalable.

En general, los grandes avances tanto de la química como de la física y la ciencia de materiales han hecho posibles diferentes métodos de síntesis para un sinnúmero de materiales nanoestructurados. Existen dos aproximaciones para la producción de nanomateriales; una de ellas es la *top-down* que se refiere a la generación de nanoestructuras desde un material en *bulk* empleando técnicas (generalmente físicas) tales como la litografía y el devastado químico y físico. La otra aproximación es la *bottom-up*, que a su vez consiste en métodos de síntesis química, técnicas de autoensamblaje o deposición. En esta aproximación a partir de la escala atómica o molecular se busca la fabricación de nanoestructuras mediante procesos de autoensamblaje, reacciones químicas, procesos físicos y otras interacciones.

Entre los métodos de síntesis química de nanomateriales los más utilizados son: método solvotermal, método sol-gel, método por reducción, método de poliol y método de microemulsión. Otros métodos de síntesis de nanomateriales son: la deposición química de vapores, la ablación láser, la descarga de arco, la epitaxia de haces moleculares y el *sputtering*.

Tomando en cuenta los resultados de la encuesta, puede afirmarse que hay ignorancia sobre el tema, probablemente debida a que este conocimiento es de naturaleza un tanto más técnica. Ciertamente es que aquellas personas que respondieron a las opciones falsas (uso de nanomáquinas, con microcomponentes electrónicos fotosensibles, por medio de radiación corpuscular alfa y por el método Jahn-Teller) pudieron no haber poseído información errónea, sino haber realizado una selección despreocupada de opciones. No sería una

mala iniciativa, por tanto, desarrollar actividades o estrategias de divulgación que comunicaran de manera general y sucinta las técnicas de síntesis de nanomateriales, lo cual incluso podría ayudar a erradicar el temor hacia la nanotecnología nacido de la desinformación.

Mito 7. En México no existe regulación en cuanto a nanotecnología

Los resultados de la encuesta muestran datos interesantes, pues no parece haber una tendencia clara en la opinión pública sobre el conocimiento de la regulación de la nanotecnología en México (el 49.5 % considera que la nanotecnología es regulada en México).

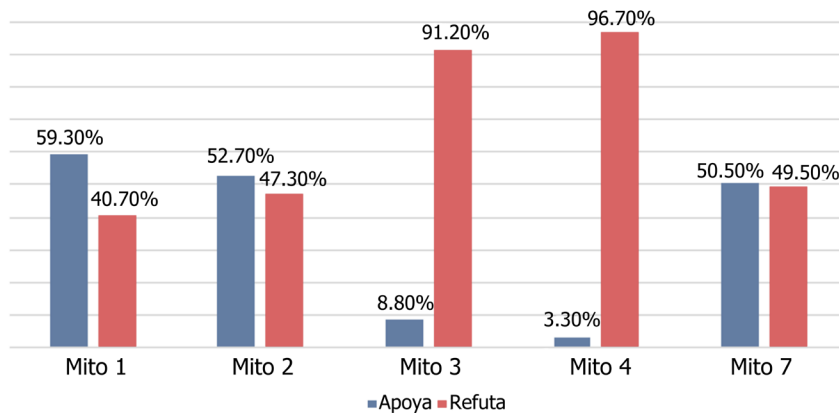
La nanotecnología no está del todo desregulada en México. Para comenzar, México ha participado en el comité de la ISO de nanotecnología, y ha empleado las definiciones de la misma para emitir normas mexicanas. Esto lo ha hecho a través del Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías (CTNNN), creado en el 2007 para la regulación y emisión de normas voluntarias para la nanotecnología en el país (Centro Nacional de Metrología, 2017). Este comité es coordinado por la Secretaría de Economía y co-coordinado por el Centro Nacional de Metrología, y algunas normas mexicanas emitidas por él ya han sido declaradas vigentes, estando relacionadas con la caracterización de nanotubos de carbono o con la terminología y las definiciones para distintos conceptos nanotecnológicos. En todos los casos, estas normas homologan las equivalentes de la ISO. Por otro lado, la participación de México en el TLCAN ha provocado la negociación del país con los Estados Unidos como su principal socio comercial en relación con la nanotecnología; como parte de esto, la negociación con el Departamento de Comercio de los Estados Unidos y otras instituciones ha conducido a que la Secretaría de Economía emitiera, en el 2012, una serie de lineamientos para la nanotecnología (Foladori *et al.*, 2014). Sin embargo, debe recalarse que las normas existentes en la actualidad para la regulación de la nanotecnología en México son de carácter voluntario.

Existe un mito sobre si la nanotecnología es regulada o no en México, la opinión social a este respecto está muy dividida. Por tanto, es necesaria la concientización social sobre la regulación de la nanotecnología no solamente para erradicar mitos y eliminar la falta de información, sino también, para informar a la sociedad e instarla en la discusión sobre la elaboración de política pública, la cual contribuya al desarrollo sostenible de este importante campo de investigación en México.

Conclusiones

El presente estudio ofrece una aproximación sobre el conocimiento de la nanotecnología en un extracto de la sociedad mexicana y un intento por desmitificarla. Como se resalta en la figura 4, de los mitos potenciales propuestos en un inicio, tres de ellos fueron corroborados como mitos arraigados en la

FIGURA 4. Tendencias observadas en los mitos.



En los mitos 1, 2 y 7 se aprecia una creencia en los mismos, mientras que para los mitos 3 y 4 existe un evidente conocimiento sobre su falsedad. La información relevante para los mitos 5 y 6 se puede observar en las figuras 2 y 3, respectivamente.

Fuente: Elaboración de los autores.

sociedad mexicana con base en los resultados de la encuesta (la nanotecnología es algo nuevo y artificial (mito 1), la nanotecnología hace nanorrobots (mito 2) y la nanotecnología no es regulada en México (mito 7)). Nuestra encuesta reveló también que en el tema particular de síntesis de nanomateriales (mito 6: los nanomateriales se crean moviendo átomo por átomo), más que tener ideas erróneas o mitos, la sociedad carece de información al respecto. Otra realidad que vale la pena destacar fue el conocimiento parcial sobre algunos temas, como los factores que repercuten en el comportamiento de los nanomateriales (mito 5) y sobre ciertos productos o aplicaciones de la nanotecnología como en textiles, óptica y medicamentos (mito 4).

En cuanto al mito 3 relacionado con el conocimiento del desarrollo de nanotecnología en México, consideramos que este estudio es insuficiente para arrojar una conclusión debido a la metodología implementada.

De manera general, se encontró que los participantes poseen más mitos que conocimientos verdaderos sobre la nanotecnología, indicando un conocimiento inadecuado de la misma.

El desarrollo ralentizado y atropellado de la nanotecnología en México fue identificado como un promotor de mitos, esto para el caso de la concepción de la nanotecnología como un área no regulada en el país. Además, el recién surgimiento de muchas palabras con “nano” como prefijo, así como la manera en que la nanotecnología es promocionada han sido también propuestos como promotores de que esta ciencia es nueva y artificial.

Todos estos factores contribuyen a la propagación de mitos y constituyen focos de alarma que deben ser atendidos, cada uno a su manera, para conseguir la concientización social sobre la nanotecnología. Solo a través de

un conocimiento certero sobre la misma, de la erradicación de mitos y la promoción de realidades, es que la sociedad se acercará e involucrará más a este campo de conocimientos y se conseguirá un desarrollo e inclusión apropiados de la nanotecnología en México, impulsando así la competitividad del país en el marco científico y tecnológico internacional. Futuros trabajos deberán centrarse en hacer estudios semejantes a poblaciones mayores, cuyos participantes sean elegidos aleatoriamente. Sin embargo, será una responsabilidad importante el que esos trabajos estén acompañados de estrategias de divulgación y concientización social concretas encaminadas a involucrar a la sociedad con el acontecer científico.

Referencias

- Arakaki, A., Nakazawa, H., Nemoto, M., Mori, T., y Matsunaga, T. (2008). Formation of magnetite by bacteria and its application. *Journal of the Royal Society Interface*, 5(26), 977–999. <http://doi.org/10.1098/rsif.2008.0170>
- AZoNano (2007). *Carbon nanotubes and the use of nanocyl carbon nanotubes in sporting goods*. <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1956>
- Beaumont, J. (2005). *The potential of nanotechnology*. PRIME Faraday Partnership. ISBN: 1-84402-035-5
- Centro Nacional de Metrología. (2017). Las nanotecnologías en el CENAM. <https://www.gob.mx/cenam/articulos/las-nanotecnologia-en-el-cenam>
- De Cózar, J. M. (2009). Imaginar la nanotecnología, controlarla democráticamente. *Estudios sociales*, 17(34), 207-224.
- Delgado Ramos, G. C. (2011). Nanotecnología, economía y sociedad: retos y paradigmas desde una perspectiva del caso mexicano. En N. Takeuchi (ed.), *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México* (pp. 221-250). México: Siglo XXI Editores.
- Delgado Ramos, G. C. y Peña Jiménez, J. S. (2011). Análisis de percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de la UNAM. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(1).
- Drexler, K. E. (1986). *Engines of creation*. Estados Unidos, Doubleday.
- Du, N., Liu, X. Y., Narayanan, J., Li, L., Lim, M. L. M., y Li, D. (2006). Design of superior spider silk: from nanostructure to mechanical properties. *Biophysical journal*, 91(12), 4528-4535. <http://doi.org/10.1529/biophysj.106.089144>
- Eigler, D. M., y Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. *Nature*, 344 (6266), 524.
- Filipponi, L. y Sutherland, D. (2010). *NANOYOU Teachers training kit in nanoscience and nanotechnologies*. http://nanoyou.eu/attachments/188_Module-1-chapter-2-proofread.pdf
- Foladori, G., Appelbaum, R., Figueroa, E. A., Robles-Belmont, E., Lau, E. Z., Villa, L., y Parker, R. (2014). Relevancia y apoyo público de la investigación en nanotecnología en México. *ANDULI, Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, (14), 195-222. <http://doi.org/10.12795/anduli.2015.i14.11>

- Galeotti, F., Trespidi, F., Timò, G., y Pasini, M. (2014). Broadband and crack-free antireflection coatings by self-assembled moth eye patterns. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(8), 5827-5834.
- Guerrero, A. (2015). Nanotech, la vanguardia en nanotecnología en México. <http://www.conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/7617-nanotech-laboratorio-de-vanguardia-en-nanotecnologia-en-mexico-reporte>
- Karthick, B., y Maheshwari, R. (2008). Lotus-inspired nanotechnology applications. *Resonance*, 13(12), 1141-1145.
- Lohse, S. (2013). *Nanoparticles are all around us*. <http://sustainable-nano.com/2013/03/25/nanoparticles-are-all-around-us/>
- Mata Méndez, J. M., y Peña Jiménez, J. S. (2012). Análisis de percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de UAM, UDLAP e IPN. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 5(9), p. 81-96.
- McWilliams, A. (2010). *Nanotechnology: A realistic market assessment*. BCC Research.
- Molins, R. (2008). Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alimentos, la agricultura y el ambiente. *Comunica-Perspectivas, Innovación y Tecnología*, 38-53.
- Morsy, S. M. (2014). Role of surfactants in nanotechnology and their applications. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 3(5), 237-260.
- Myvaganam, K., Zhang, L.C. (2006). Energy absorption capacity of carbon nanotubes under ballistic impact. *Applied Physics Letters*, 89, 123127. <http://doi.org/10.1063/1.2356325>
- Myvaganam, K., Zhang, L.C. (2007). Ballistic resistance capacity of carbon nanotubes. *Nanotechnology*, 18, 475701. <http://doi.org/10.1088/0957-4484/18/47/475701>
- Sawhney, A. P. S., Condon, B., Singh, K. V., Pang, S. S., Li, G., y Hui, D. (2008). Modern applications of nanotechnology in textiles. *Textile Research Journal*, 78(8), 731-739. <http://doi.org/10.1177/0040517508091066>
- Serena, P. (2013). Acercando la nanotecnología a la sociedad: la exposición 'un paseo por el nanomundo'. *Revista Digital Universitaria*, 14(4).
- Vignerón, J. P., Rassart, M., Vértesy, Z., Kertész, K., Sarrazin, M., Biró, L. P., Ertz, D. y Lousse, V. (2005). Optical structure and function of the white filamentary hair covering the edelweiss bracts. *Physical review E*, 71(1), 011906. <http://doi.org/10.1103/PhysRevE.71.011906>
- Zanella, R., Delgado, G. C. y Contreras O. E. (coords.) 2016. "Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencia y nanotecnología. Parte 1. *Mundo nano. Revista Interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología* (9)16, UNAM, México.
- Zanella, R., Delgado G. C. y Contreras O. E. (coords.) 2016. "Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencia y nanotecnología. Parte 2. *Mundo nano. Revista Interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología* (9)17, UNAM, México.
- Záyago-Lau, E., & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. *Economía, sociedad y territorio*, 10(32), 143-178.

- Zhang, M., Atkinson, K.R., Baughman, R.H. (2004). Multifunctional carbon nanotube yarns by downsizing an ancient technology. *Science*, 306, 1358-1361. <http://doi.org/10.1126/science.1104276>
- Zimmer, L. (2013). "Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital has an ornate double skin that filters air pollution". *Inhabitat*. <https://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalezhospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution/>

Nanopartículas de plata: síntesis y funcionalización. Una breve revisión

Silver nanoparticles: synthesis and functionalization. A brief review

Edgar Manuel Díaz Acosta*

ABSTRACT: The objective of the article is to make a brief description of the role of Ag NP's, the functionalization on its surface, as well as the mention of its synthesis, characterization techniques and future trends in research. Future trends put forward a new approach to nanoparticle synthesis using green chemistry to decrease their environmental impact, as well as the construction of better biosensors in order to optimize cancer diagnose and better treatment.

KEYWORDS: nanoparticles, functionalization, protein-corona.

RESUMEN: El objetivo del artículo es realizar una breve descripción del papel de las Ag NP's, la funcionalización en su superficie, así como la mención de su síntesis, técnicas de caracterización y tendencias a futuro en investigación. Las tendencias a futuro proponen la síntesis de estas nanopartículas mediante técnicas de química verde para disminuir su impacto sobre el medio ambiente, y su uso como biosensores de células cancerígenas para optimizar diagnósticos y tratamientos.

PALABRAS CLAVE: nanopartículas, funcionalización, proteína-corona.

Introducción

La nanotecnología como disciplina tecnológica permite la manipulación de la materia, así como el aprovechamiento de los efectos que ocurren en la escala nanométrica de 1 a 100 nm. Materiales con tamaño < 1 nm se llaman sub-nanométricos, y más de 100 nm – micrométricos. Las moléculas pueden ser muy grandes: polímeros (> 100 nm), y muy pequeñas en escala sub-nanométrica, por ejemplo, el tamaño de la molécula de H₂ es ~0.15 nm (Kuzma, 2006). La aparición de la nanotecnología ha permitido fabricar sensores biológicos y químicos, tecnologías energéticas, incluso el desarrollo de la computación cuántica (Lord *et al.*, 2016). En recientes décadas la utilización de nanopartículas ha tenido un gran auge en aplicaciones biomédicas relacionadas con la catálisis de reacciones enzimáticas, detección de ADN, e ingeniería de biomateriales (Alarcón *et al.*, 2012). Durante años la plata ha sido utilizada en

Recibido: 16 de junio de 2017.

Aceptado: 13 de octubre de 2018.

* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
Correspondencia: (edgar.diaz@uacj.mx).

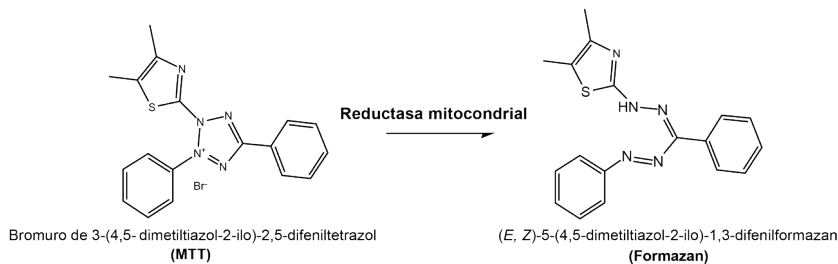
diferentes aplicaciones, tales como quemaduras y heridas. Sin embargo, su consumo se vio afectado desde la década de los años cuarenta del siglo XX, con la producción de la penicilina como antibiótico (Redetic, 2013).

La resistencia de microorganismos a los antibióticos revitalizó el desarrollo de nanopartículas de plata, dada su actividad antimicrobiana ante más de 650 patógenos entre los que se listan bacterias, hongos y virus (Redetic, 2013; Ciobanu *et al.*, 2013). Es por ello que el uso de nanopartículas de plata (Ag-NP's) se ha incrementado en diversas áreas, tales como métodos de liberación de fármacos, propiedades antimicrobianas en empaques inteligentes y el desarrollo de Ag-NP's incorporadas en productos textiles (Kennedy *et al.*, 2014). Varios factores que contribuyen a la unión de las Ag-NP's con moléculas o sustratos, incluyen el tamaño de partícula, carga superficial y el recubrimiento con materiales tales como carbohidratos, así como proteínas adsorbidas en la superficie. En años recientes, las investigaciones se han enfocado en la descripción de la toxicidad *in vitro* e *in vivo* de las Ag-NP's, la mayoría de ellas requieren una caracterización más profunda en fluidos biológicos de prueba, en este contexto la evaluación de toxicidad permanece como un tema crítico (Kennedy *et al.*, 2014; Argenti *et al.*, 2016). El objetivo del presente documento es proveer una breve descripción del papel de las Ag-NP's, la funcionalización en su superficie, así como la mención de su síntesis, técnicas de caracterización y tendencias a futuro en investigación.

Funcionalización y aplicación de Ag NP's

Se ha reportado que las Ag-NP's pueden ser funcionalizadas en su superficie mediante la utilización de carbohidratos, Kennedy *et al.* (2014) reportaron que ciertas nanopartículas (NP's) funcionalizadas con glucanos ofrecen ciertas ventajas tales como sistemas avanzados de transporte de fármacos mayormente eficaces y con la posibilidad de reducir su toxicidad, su síntesis utilizando condiciones biomiméticas reduce respuestas celulares adversas. De igual manera se estudió el efecto que un carbohidrato en la superficie pueda tener como objetivo sobre ciertas moléculas que puedan provocar respuestas celulares en receptores específicos. En su trabajo, Kennedy y colaboradores sintetizaron y funcionalizaron Ag-NP's con tres diferentes monosacáridos y etilenglicol, la evaluación de las NP's consistió en la evaluación de estrés oxidativo y citotoxicidad mediante ensayo de MTT (Bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolio); el reactivo MTT interacciona con el metabolismo celular para producir un compuesto púrpura llamado formazan, mediante la acción de la enzima reductasa mitocondrial (ver figura 1), el efecto se detecta a una longitud de onda máxima de 570 nm. La cantidad de formazan es directamente proporcional al número de células viables a dicha longitud de onda (Arrebola *et al.* 2003; Tonder *et al.* 2015), tal como se muestra en la figura 2. Los resultados indican que las Ag-NP's con galactosa y manosa se consideran menos tóxicas contra células neuronales y hepatocitos,

FIGURA 1. Reacción esquemática de la conversión de MTT a Formazan mediante la acción de la enzima reductasa mitocondrial.



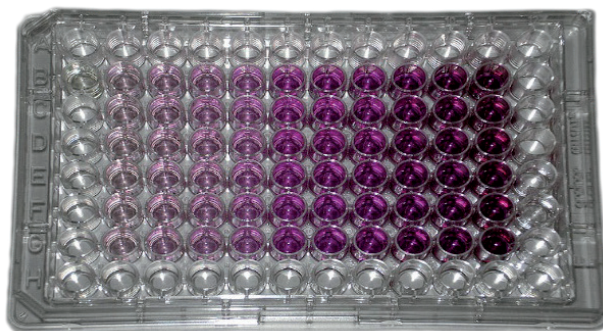
Fuente: Tomado de Tonder, A., Joubert, A., y Cromarty, D. (2015).

comparadas con aquellas funcionalizadas utilizando glucosa, etilenglicol o citrato. La citotoxicidad está relacionada directamente con el estrés oxidativo pero no con receptores celulares.

Por otro lado, la estabilidad de un gran número de NP's se puede lograr mediante la interacción de proteínas en su superficie, formando un complejo llamado proteína corona. El modo de acción biológico tanto citotóxico como genotóxico depende del tamaño y la ruta de acceso, por ejemplo, Asharani *et al.* mostraron mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) que las Ag-NP's pueden penetrar compartimientos celulares, tales como endosomas, lisosomas y mitocondria. Los datos reportados por varios autores indican que la producción de especies reactivas al oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) juegan un papel importante de las Ag-NP's en el efecto citotóxico (Asharani *et al.*, 2009; Duran *et al.*, 2015).

El entendimiento las NP's corona es crucial para la actividad biológica, así como la disminución de los efectos adversos sobre un organismo. Las Ag-NP's

FIGURA 2. Microplaca observada después de un ensayo por el método de MTT. El color púrpura intenso indica el incremento de cantidad celular.

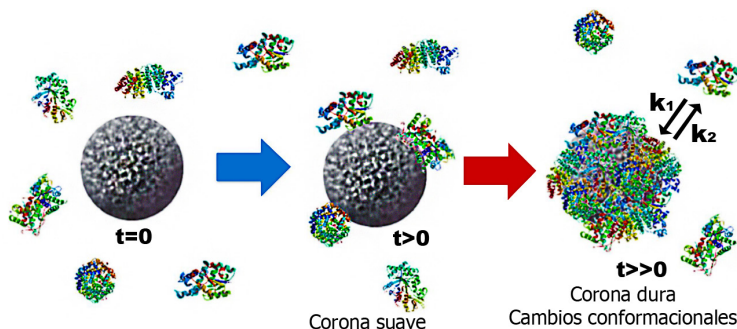


Fuente: Tomado de Tonder, A., Joubert, A., y Cromarty, D. (2015).

interactúan específicamente con un medio en el que están involucradas proteínas, tales como un medio de cultivo celular o bacteriano, previo a su actividad biológica. La presencia de una proteína-corona puede eficientar la actividad biológica. De acuerdo con Durán *et al.* (2015) el proceso de formación depende de la competencia entre proteínas que se adsorben en la superficie de las nanopartículas (9). Por otro lado, Ge *et al.* (2015) mencionan que la formación del complejo NP's-proteína corona es de naturaleza dinámica, el cual implica un amplio rango de afinidades de unión y constantes de equilibrio para las proteínas en la superficie, variaciones en la asociación/disociación y diferencias en el perfil de fluidos biológicos. Se considera también que aquellas proteínas con alta afinidad por la superficie se intercambian lentamente (varias horas), formando una corona dura (ver figura 3). Mientras que las proteínas con baja afinidad son rápidamente remplazadas (varios minutos; ver tabla 1), formando una corona suave (Miclăuş *et al.*, 2014).

Debido a la resistencia de microorganismos a los antibióticos, se ha buscado el desarrollo de agentes antibacterianos novedosos, es por ello que se revitalizó el desarrollo del área de materiales a nanoescala. Ciertos materiales se han utilizado para ser recubiertos con Ag-NP's, Ciobanu *et al.* (2013) reportan la síntesis de nanocristales de hidroxapatita dopados con iones de plata ($\text{Ca}_{10-x}\text{Ag}_x(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), con propiedades antimicrobianas contra cepas bacterianas de *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Providencia stuartii*, *Citrobacter freundii* y *Serratia marcescens*. También reportaron que la actividad inhibitoria aumentó en cada muestra, al aumentar la concentración de plata. Asimismo, Gurunathan *et al.* (2014) probaron como metodología la síntesis de Ag-NP's mediante el tratamiento de iones de plata con extracto de hojas de *Allophylus cobbe*. Las NP's sintetizadas se utilizaron solas o en combinación con antibióticos, con el objetivo de evaluar su efecto antibacteriano y antibiopelícula utilizando técnicas de difusión de disco en agar, inhibición de biopelícula y generación de especies reactivas al oxígeno contra

FIGURA 3. Esquema del complejo NP-proteína corona, se muestran las interacciones de corona suave y corona dura.



Fuente: Tomado de Durán *et al.* (2015).

TABLA 1. Las coronas suaves se caracterizan por intercambio lento y baja abundancia, en contraparte las coronas duras presentan un rápido intercambio y baja afinidad.

Corona	Suave	Dura
K_d (constante de disociación)	Alta	Baja
Adhesión a región hidrofóbica	Baja	Alta
Masa molecular	Baja	Alta
Transporte endosoma-lisosoma	Baja	Baja,* Alta**
Cambios conformacionales (hojas)	Baja	Alta

* Comparada en condiciones sin suero.

** Comparado con coronas suaves.

Fuente: Tomado de Durán *et al.* (2015).

Pseudomonas aeruginosa, *Shigella flexneri*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pneumoniae*. Los datos encontrados indican que en combinación con antibióticos, existe un efecto significativo antimicrobiano e inhibitorio de biopelículas a bajas concentraciones (referencia 0.1-1.0 $\mu\text{g/ml}$) de Ag-NP's, de tal manera, los resultados sugieren que las Ag-NP's pueden ser un coadyuvante terapéutico para el tratamiento de enfermedades infecciosas causadas por bacterias (Gurunathan *et al.*, 2014).

En productos farmacéuticos, dispositivos médicos, así como en un ambiente clínico en el cual es probable que se encuentren patógenos resistentes a los medicamentos, se han utilizado Ag-NP's. En un estudio en el cual se involucran patógenos resistentes a los medicamentos, tales como *Pseudomonas aeruginosa* multirresistente a los medicamentos, *Escherichia coli* O157:H7, resistente a la ampicilina y *Streptococcus pyogenes*, resistente a la eritromicina, se determinó que una suspensión de Ag-NP's es capaz de inactivar el panel de resistencia a antibióticos de bacterias Gram positivas y Gram negativas, respectivamente. Así como ejercer mecanismos bactericidas en lugar de bacteriostáticos, e inhibir el crecimiento bacteriano desde el primer contacto de bacterias con Ag-NP's (Lara *et al.*, 2009).

Síntesis y caracterización de Ag NP's

Existen diversas técnicas para la síntesis de Ag-NP's, ya sea que estas nanopartículas tengan su forma virgen o presenten un recubrimiento para estabilizarlas, por ejemplo, Sujitha *et al.* (2015) utilizaron semillas pulverizadas de la planta *Moringa oleifera* como mediador de la biosíntesis de Ag-NP's, este polvo se lavó y filtró para posteriormente ser tratado con una solución de AgNO_3 . La solución oscura obtenida indica la formación de Ag-NP's estables debido a la reducción de los iones de plata por el extracto de semillas de *M. oleifera*. En otro estudio, se realizó la síntesis de Ag-NP's utilizando soluciones de AgNO_3 a la cual se les agregó nanopartículas de citrato y ácido 11-mercaptopundeca-

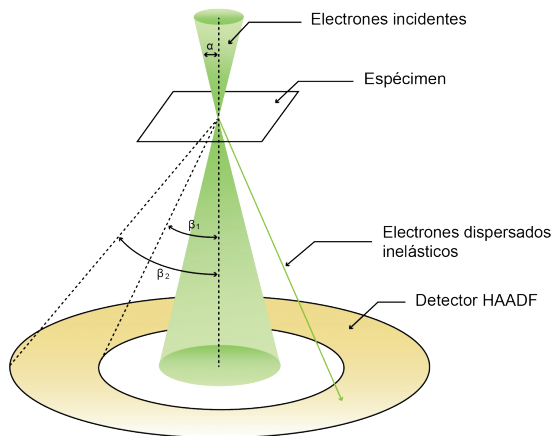
nóico, respectivamente, en agua destilada para alcanzar una concentración deseada, con el fin de evaluar su efecto tóxico contra bacterias, hongos y/o algas (Kennedy *et al.*, 2014; Argentiére *et al.*, 2016; Dorobantu *et al.*, 2015).

Das *et al.* (2013) en su metodología de síntesis utilizaron ácido linoléico como agente estabilizador, solución de AgNO_3 como precursor y etanol como agente reductor. De igual manera, varios autores reportan la síntesis de Ag-NP's con macromoléculas adsorbidas en la superficie, tales como polisacáridos y proteínas. Por ejemplo, Volodkar *et al.* (2010) utilizaron una ruta hidrotérmica simple y reducción química utilizando diferentes carbohidratos, que incluyeron sucrosa almidón de maíz soluble y ceroso como agentes reductores y estabilizadores, con el objetivo de funcionalizar Ag-NP's en su superficie. Huang y Yang (2004) utilizaron el método verde mezclando una solución de AgNO_3 con solución de heparina y quitosana en su superficie. Por otro lado, Ban y Paul (2016) prepararon Ag-NP's utilizando soluciones de AgNO_3 y almidón, de tal manera que las nanopartículas sintetizada se expusieron en cierta cantidad de proteínas de suero sanguíneo humano para su funcionalización como Ag-NP's-proteína corona utilizadas contra bacterias Gram positivas y Gram negativas.

Se han utilizado varias técnicas para la caracterización de la morfología de las nanopartículas, tales como la microscopía electrónica de barrido (SEM) para caracterizar la forma y el tamaño de las partículas en la escala nanométrica, utilizando un haz de electrones para barrer la muestra en su superficie. Espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDX) con el fin de separar los rayos X característicos de diferentes elementos en la muestra. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), la cual detecta señales de compuestos orgánicos cuando interactúan con radiación en el rango del infrarrojo y así obtener una “huella digital” molecular de la muestra. Difracción de rayos X (XRD), una técnica analítica rápida utilizada en la determinación de la fase y estructura cristalina de un material (Rogers *et al.*, 2008).

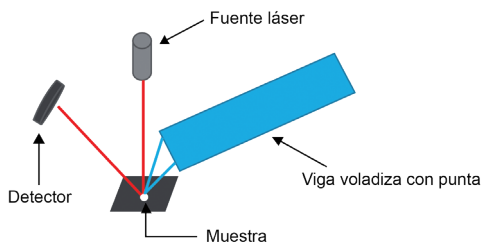
De igual manera, se han utilizado técnicas de microscopía tal como imagen de ángulo anular elevado en campo oscuro (HAADF) acoplada a microscopía electrónica de transmisión de barrido (STEM), con el fin de coleccionar imágenes de electrones dispersados por la muestra con un detector de campo oscuro alrededor del haz de electrones, aumentando así la colección de electrones y por tanto la resolución de la imagen (ver figura 4) (Lara *et al.*, 2009). Microscopía de fuerza atómica (AFM), la cual tiene como función el rastreo de la topografía de la muestra mediante una sonda o punta afilada de forma cónica, capaz de realizar imágenes en el orden de 10^{-9} m o 1 nm, tal como se muestra en la figura 5 (Dorobantu *et al.*, 2015). Finalmente, para determinar las propiedades fisicoquímicas de los nanomateriales se ha utilizado la dispersión dinámica de luz (DLS), para calcular la distribución de tamaño de partículas en suspensión (31) (ver figura 6), así como la microscopía electrónica de transmisión (TEM) para el estudio de muestras biológicas ultrafinas, aunque no es exclusiva en el estudio de estas muestras, también se utiliza la micros-

FIGURA 4. Relación de los ángulos internos y externos en el detector HAADF-STEM, en el cual se detectan electrones dispersados inelásticos.



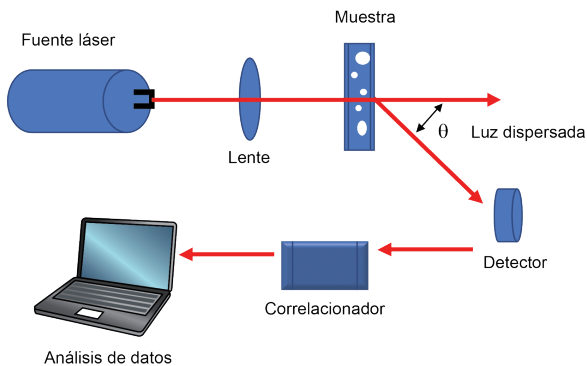
Fuente: Tomado de Otten, M. (1991).

FIGURA 5. Vista esquemática del funcionamiento de un AFM.



Fuente: Tomado de Xíng, Y. et al. (2018).

FIGURA 6. Disposición experimental para el estudio del movimiento browniano de partículas en solución mediante DLS.



Fuente: Tomado de Goldberg, W. (1999).

copia electrónica de transmisión (TEM) y microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM), siendo estas dos últimas las más comunes para el estudio de tamaño y morfología de nanopartículas y su interacción (Kennedy *et al.*, 2014; Argentiere *et al.*, 2016).

Tendencias a futuro de las Ag NP's y conclusión

Las nanopartículas han tomado importancia en el área biomédica así como en otras aplicaciones de la ciencia. Las Ag-NP's, además de ser utilizadas como agentes antimicrobianos y antivirales, tienen aplicación en el tratamiento de agua, la industria de pinturas, dispositivos médicos, entre otros. La tendencia de la síntesis de Ag-NP's se ha enfocado recientemente en la utilización de la "química verde", ganando popularidad debido a sus bajos costos y ser una técnica amigable con el medio ambiente. Estos métodos incluyen, por ejemplo, como lo mencionan Sreelakshmy *et al.* (2016), la formulación de Ag-NP's a partir de la reducción de soluciones de AgNO₃ utilizando el extracto de raíz de *Glycyrrhiza glabra*. En su estudio, revelan que la síntesis verde de Ag-NP's provee un avance en la terapia de úlceras gástricas.

Por otro lado, El-Deeb *et al.* (2015), demostraron que es posible la síntesis de Ag-NP's utilizando extracto de miel de abeja. En su investigación reportaron la actividad biogénica de estas nanopartículas sobre cáncer de colon, sus resultados indican que existe un efecto antiproliferativo de células cancerígenas. En este tema se ha puesto especial importancia en la utilización de las Ag-NP's debido a la detección temprana y el tratamiento del cáncer, así como la efectividad de medicamentos anti cáncer y su relación con la posibilidad de llegar a células blanco en suficiente concentración sin dañar tejido y células sanas (Rai *et al.*, 2014). Se menciona que las Ag-NP's pueden ser utilizadas como agentes de liberación terapéutica hacia el blanco biológico canceroso, nano biosensores para predecir la enfermedad y así minimizar el crecimiento del cáncer y reducir el costo de tratamientos (Rai *et al.*, 2014; Jain *et al.*, 2010).

Estudios recientes incluyen el proceso de sulfuración como técnica para disminuir la toxicidad de las Ag-NP's sobre el organismo. Experimentos sobre células alveolares muestran que la formación de sulfuro de plata (Ag₂S) disminuye la toxicidad de nanocables (Chen, S. *et al.* 2013; Miclăuş *et al.* 2016) demostraron también la acción de coronas suaves en la modulación de la sulfuración de Ag-NP's *in vitro*. En su metodología utilizaron el método polirol, donde el tamaño de partícula es controlado mediante el agente polivinilpirrolidona (PVP), mientras que la sulfuración se llevó a cabo utilizando el hidrosulfuro de sodio hidratado (NaSH·xH₂O). Los resultados mostraron la formación de sulfuro de plata alrededor de la capa de NP's que rodean células macrófagos murina (línea celular J774), dichas partículas fueron detectadas utilizando mapeo elemental de rayos X, así como EDX. Se determinó una estructura monoclinica, mediante el patrón de difracción de estas partículas

Ag₂S. Es importante notar que la sulfuración mediada mediante proteínas corona para obtener Ag₂S ha sido descrita como aminorante de la citotoxicidad, en el presente trabajo se reportó que una sulfuración parcial de Ag-NP's previene la muerte celular, incluso una sulfuración completa previene la producción de citocinas pro-inflamatorias (Miclăuş *et al.* 2016).

La utilización de Ag-NP's resulta imperativa en el área de la medicina, bioquímica y nanomateriales debido a las diversas aplicaciones que se han mencionado a lo largo del presente documento; sin embargo, las tendencias a futuro requieren mayor profundidad en su estudio y su entendimiento en posibles efectos dañinos en el organismo, así como en el medio ambiente.

Referencias

- Alarcón, E., Bueno-Alejo, C., Noel, C., Stamplecoskie, K., Pacioni, N., Poblete, H. y Scaiano, J. (2012). Human serum albumin as protecting agent of silver nanoparticles: role of the protein conformation and amine groups in the nanoparticle stabilization. *J Nanopart Res* 15: 1374.
<https://doi.org/10.1007/s11051-012-1374-7>
- Argentiere, S., Cella, C., Cesaria, M., Milani, P. y Lenardi, C. (2016). Silver nanoparticles in complex biological media: assessment of colloidal stability and protein corona formation. *J Nanopart Res*, 18: 253.
<https://doi.org/10.1007/s11051-016-3560-5>
- Arrebola, D., Fernández, L. y Sánchez, D. (2003) Principales ensayos para determinar la citotoxicidad de una sustancia, algunas consideraciones y su utilidad. *Revista toxicológica en línea*, 40-53.
- Asharani P. V., Low Kah Mun G., Hande M. P., Valiyaveetil, S. (2009). Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in human cells. *ACS Nano* 3: 279-290.
<https://doi.org/10.1021/nn800596w>
- Ban, K. y Paul, S. (2016). Protein corona over silver nanoparticles triggers conformational change of proteins and drop in bactericidal potential of nanoparticles: Polyethylene glycol capping as preventive strategy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 146, 577-584. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.06.050>
- Chen S., Goode A.E., Sweeney S., Theodorou I.G., Thorley A.J., Ruenraroengsak P., Chang Y., Gow A., Schwander S., Skepper J., Zhang J.J., Shaffer M.S., Chung K.F., Tetley T.D., Ryan M.P., Porter A.E. (2013). Sulfidation of silver nanowires inside human alveolar epithelial cells: a potential detoxification mechanism. *Nanoscale* 5, 9839-9847. <https://doi.org/10.1039/c3nr03205a>
- Ciobanu, C., Iconaru, S., Coustumer, P., Constantin, L. y Predoi, D. (2012). Antibacterial activity of silver-doped hydroxyapatite nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Nanoscale Research Letters*, 7: 32.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-324>
- Das, B., Dash, S., Mandal, D., Ghosh, T., Chattopadhyay, S., Tripathy, S., Das, S., Dey, S., Das, D. y Roy, S. (2015). Green synthesized silver nanoparticles destroy multidrug resistant bacteria via reactive oxygen species mediated

- membrane damage. *Arabian Journal of Chemistry*.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.08.008>
- Dorobantu, L., Fallone, C., Noble, A., Veinot, J., Ma, G., Goss, G. y Burrel, R. (2015). Toxicity of silver nanoparticles against bacteria, yeast, and algae. *J Nanopart Res*, 17: 172. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2984-7>
- Duran, N., Silveira, C., Duran M. y Martinez, D. (2015). Silver nanoparticle protein corona and toxicity: a mini-review. *J Nanobiotechnol*, 13: 55.
<https://doi.org/10.1186/s12951-015-0114-4>
- El-Deeb N. M., El-Sherbiny I. M., El-Aassara M. R., Hafez E. E. (2015). Novel trend in colon cancer therapy using silver nanoparticles synthesized by honey bee. *J Nanomed Nanotechnol*, 6: 265.
<https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000265>
- Ge, C., Tian, J., Zhao, Y., Chen, C., Zhou, R. y Chai, Z. (2015). Towards understanding of nanoparticle-protein corona. *Arch Toxicol*, 89: 519-539.
<https://doi.org/10.1007/s00204-015-1458-0>
- Goldburg, W. (1999). Dynamic light scattering. *Am. J. Phys.* 67: 1152.
<https://doi.org/10.1119/1.19101>
- Gurunathan, S., Han, J., Kwon, D. y Kim, J. (2014). Enhanced antibacterial and anti-biofilm activities of silver nanoparticles against Gram-negative and Gram-positive bacteria. *Nanoscale Research Letters*, 9: 373.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-373>
- Huang, H. y Yang, X. (2004). Synthesis of polysaccharide-stabilized gold and silver nanoparticles: a green method. *Carbohydrate Research*, 339: 2627-2631.
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.08.005>
- Jain, K. K. (2010). Advances in the field of nano-oncology. *BMC Med*, 8: 83.
<https://doi.org/10.1186/1741-7015-8-83>
- Kennedy, D., Orts-Gil, G., Lai, C., Müller, L., Haase, A., Luch, A. y Seeberg, P. (2014). Carbohydrate functionalization of silver nanoparticles modulates cytotoxicity and cellular uptake. *Journal of Nanobiotechnology*, 12: 59.
<https://doi.org/10.1186/s12951-014-0059-z>
- Kuzma, J. (2007). Moving forward responsibly: Oversight for the nanotechnology-biology interface. *Journal of Nanoparticle Research*, 9: 165-182.
<https://doi.org/10.1007/s11051-006-9151-0>
- Lara, H., Ayala-Nuñez, V, Ixtapan-Turrent, L. y Rodríguez-Padilla, C. (2009). Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. *World J Microbiol Biotechnol*, 26: 615-621.
<https://doi.org/10.1007/s11274-009-0211-3>
- Lord, A., Ramasse, Q., Kepaptsoglou, D., Evans, J., Davies, P., Ward, M. y Wilks, S. (2017). Modifying the interface edge to control the electrical transport properties of nanocontacts to nanowires. *Nano Lett.*, 17 (2): 687-694.
<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b03699>
- Miclăuş, T., Bochenkov, V. E., Ogaki, R., Howard, K. A., Sutherland, D. S. (2014). Spatial mapping and quantification of soft and hard protein coronas at silver nanocubes. *Nano Lett*, 14(4): 2086-2093. <https://doi.org/10.1021/nl500277c>

- Miclăuș, T., Beer, C., Chevallier, J., Scavenius, C., Bochenkov, V., Enghild, J. y Sutherland, D. (2016). Dynamic protein coronas revealed as a modulator of silver nanoparticle sulphidation *in vitro*. *Nature Communications*. 7: 11770.
<https://doi.org/10.1038/ncomms11770>
- Otten, M. (1991). High-Angle annular dark-field imaging on a tem/stem system. *Journal of Microscopy Research & Technique*. 17: 2, 221-230.
<https://doi.org/10.1002/jemt.1060170209>
- Rai, M., Kon, K., Ingle, A., Duran, N., Galdiero, S. y Galdiero, M. (2014). Broad-spectrum bioactivities of silver nanoparticles: the emerging trends and future prospects. *Appl Microbiol Biotechnol*, 98: 5. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5473-x>
- Redetic, M. (2013). Functionalization of textile materials with silver nanoparticles. *J Mater Sci*, 48: 95-107.
- Rogers, J., Parkinson, C., Choi, Y., Spechcock J. y Hussain, S. (2008). A preliminary assessment of silver nanoparticle inhibition of monkeypox virus plaque formation. *Nanoscale Res Lett*, 3: 129-133.
<https://doi.org/10.1007/s11671-008-9128-2>
- Sreelakshmy, V. Deepa M. K. y Muridula P. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles from *Glycyrrhiza glabra* root extract for the treatment of gastric ulcer. *J Develop Drugs*, 5: 152. <https://doi.org/10.4172/2329-6631.1000152>
- Sujitha, V., Murugan, K., Paulpandi, M., Panneerselvam, C., Suresh, U., Roni, M., Nicoletti, M., Higuchi, A., Madhiyazhagan, P., Subramaniam, J., Dinesh, D., Vadivalagan, C., Chandramohan, B., A. Alarfaj, A. Munusamy, M., Barnard, D. y Benelli, G. (2015). Green-synthesized silver nanoparticles as a novel control tool against dengue virus (DEN-2) and its primary vector *Aedes aegypti*. *Parasitol Res*, 114: 3315-3325. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4556-2>
- Tonder, A., Joubert, A., y Cromarty, D. (2015). Limitations of the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide (MTT) assay when compared to three commonly used cell enumeration assays. *BMC Research Notes*, 8:47. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1000-8>
- Valodkar, M., Bhadoria, A., Pohnerkar, J., Mohan, M. y Thakor, S. (2010). Morphology and antibacterial activity of carbohydrate-stabilized silver nanoparticles. *Carbohydrate Research* 345: 1767-1773.
<https://doi.org/10.1007/s00436-015-4556-2>
- Xing, Y., Xu, M., Gui, X., Cao, Y., Babel, B., Rudolph, M., Weber, S., Kappl, M. y Butt, H. (2018). The application of atomic force microscopy in mineral flotation. *Advances in Colloid and Interface Science*. (En prensa, prueba corregida).
<https://doi-org.ezproxy.uacj.mx/10.1016/j.cis.2018.01.004>

Nanopartículas de plata biogénicas a partir del hongo *Punctularia atropurpurascens* para el control de microorganismos*

Biogenic silver nanoparticles from the fungus *Punctularia atropurpurascens* for the control of microorganisms

Paula Sanguineto,** María Belén Estevez,** Ricardo Faccio,**
Silvana Alborés**¹

ABSTRACT: One of the main applications of silver nanoparticles is their antimicrobial activity. The development of drug resistance, as well as the adverse effects that drugs cause, make it necessary to search for alternative strategies for the treatment of these infectious diseases. In the present work, the synthesis of silver nanoparticles by extracts from the fungus *Punctularia atropurpurascens* was carried out. Different synthesis reaction conditions were studied and the antimicrobial potential of the biogenic nanoparticles was evaluated against microorganisms of interest in health and agriculture areas.

KEYWORDS: nanoparticles, fungí, antimicrobials.

RESUMEN: Una de las principales aplicaciones de las nanopartículas de plata es su actividad antimicrobiana. La resistencia a drogas, así como los efectos adversos que ocasionan hacen necesaria la búsqueda de estrategias alternativas para el tratamiento de enfermedades infecciosas. En el presente trabajo se realizó la síntesis de nanopartículas de plata por extractos provenientes del hongo *Punctularia atropurpurascens*. Se estudiaron diferentes condiciones de reacción de síntesis y se evaluó el potencial antimicrobiano de las nanopartículas biogénicas frente a microorganismos de interés en las áreas de salud y agroalimentaria.

PALABRAS CLAVE: nanopartículas, hongos, antimicrobianos.

Introducción

Las nanopartículas de plata poseen propiedades particulares que les atribuyen aplicaciones muy promisorias y novedosas en diversos campos de la

Recibido: 19 de octubre de 2018.

Acceptado: 23 de noviembre de 2018.

* Los autores agradecen al Instituto de Nanociencia de Aragón de la Universidad de Zaragoza, España, (Dras. Grazú y Fratila) por la imagen de TEM. Este trabajo fue financiado por el Proyecto CSIC I+D 1500-UdelaR, y PEDECIBA Química, Uruguay.

** Universidad de la República, Facultad de Química, Montevideo, Uruguay. Correos electrónicos: paulasd@fq.edu.uy; bestevez@fq.edu.uy; rfaccio@fq.edu.uy

¹ Autora de correspondencia: salbores@fq.edu.uy

ciencia, tales como el desarrollo de biosensores, el diagnóstico y tratamiento de cáncer, la liberación controlada de fármacos, y el potencial antimicrobiano (Sripriya *et al.*, 2013; Boca-Farcau *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2014).

La síntesis biológica de nanopartículas es de gran interés sobre otros métodos (físicos y químicos) porque se evita el uso de químicos tóxicos y condiciones drásticas de reacción. Además, algunas nanopartículas de plata sintetizadas por hongos han presentado amplia actividad antimicrobiana contra bacterias Gram negativas, Gram positivas y hongos patógenos de humanos y plantas (Rodríguez *et al.*, 2013; Sanguiniedo *et al.*, 2018), así como actividad citotóxica contra células cancerosas (Gurunathan *et al.*, 2013).

Para el monitoreo de la biosíntesis el método más utilizado por su simplicidad y sensibilidad es la espectroscopía de absorción UV-visible, mediante la aparición de la banda correspondiente a la resonancia de plasmón de superficie de las nanopartículas de plata (Kora *et al.*, 2010).

Es importante el análisis de las condiciones de reacción que permitan una mayor producción de nanopartículas, así como el control del tamaño y la forma, pues se ha demostrado que condiciones como pH, temperatura, concentración de nitrato de plata, agitación, etc., pueden afectar las características de las nanopartículas sintetizadas (Korbekandi *et al.*, 2013). Para la caracterización de las nanopartículas biosintetizadas además de la espectroscopía UV-visible, se utilizan diversas técnicas como difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión (TEM) que permiten caracterizar tamaño, forma y distribución.

Una de las principales aplicaciones de las nanopartículas de plata es su actividad antimicrobiana. Las enfermedades infecciosas son aún una de las principales causas de muerte en el mundo. El desarrollo de resistencia a drogas, así como los efectos adversos que ocasionan hacen necesaria la búsqueda de estrategias alternativas para el tratamiento de dichas enfermedades (OMS, 2014). En el área agrícola, a pesar de las mejoras en la capacidad de diagnóstico y disponibilidad de tecnologías para el control de enfermedades, ellas aún son capaces de causar enormes pérdidas de cosechas (Vurro *et al.*, 2010). El potencial antimicrobiano de las nanopartículas de plata es muy promisorio; se ha demostrado su efectividad para el tratamiento de enfermedades infecciosas, frente a bacterias resistentes a antibióticos, en estudios *in vitro* y en modelos animales (Hajipour *et al.*, 2012; Shanthy *et al.*, 2016), en la conservación de alimentos (Becaro *et al.*, 2016) y en el control de fitopatógenos (Jo *et al.*, 2015; Elgorban *et al.*, 2016).

En el presente trabajo se realizó la síntesis de nanopartículas de plata por extractos provenientes del hongo *Punctularia atropurpurascens*. Se estudiaron diferentes condiciones de reacción de síntesis y se evaluó el potencial antimicrobiano de las nanopartículas biogénicas frente a microorganismos de interés en las áreas de salud y agroalimentaria.

Materiales y métodos

Material biológico

Se utilizó la cepa fúngica *Punctularia atropurpurascens* H2126, perteneciente a la Colección de Cepas de la Cátedra de Microbiología de la Facultad de Química, proveniente de un aislamiento a partir de muestras de madera colectadas en Uruguay. Para los ensayos de actividad antimicrobiana se utilizaron las cepas de colección *Staphylococcus aureus* ATCC6538P, *Escherichia coli* ATCC 25922, y *Candida albicans* ATCC 101231.

Cultivo del hongo y obtención de micelio

Primeramente se realizó un cultivo del hongo en medio sólido *Potato Dextrosa Agar* (PDA, BD Difco). Se extrajeron discos de micelio de dicho cultivo y se inocularon dos discos en 100 mL de medio líquido *Potato Dextrose Broth* (PDB, BD Difco). Se incubó a 28 °C, con agitación constante (150 rpm) en un periodo adecuado para obtener suficiente biomasa para continuar con los ensayos. Finalizado el periodo de incubación en medio líquido, se separó el micelio del medio de cultivo por filtración con papel estéril. El micelio retenido en el filtro se lavó con agua destilada estéril y se secó con toallas de papel estériles. Se determinó el peso húmedo del micelio obtenido.

Biosíntesis de nanopartículas

El ensayo de biosíntesis de nanopartículas (NPs) se realizó con base en el realizado por Rodrigues *et al.* (2013) con algunas modificaciones. El micelio se incubó en agua destilada estéril (0.1 g/mL) durante 72 horas, con agitación constante (150 rpm) a 28 °C. Luego de la incubación, se separó el micelio del caldo extracelular mediante filtración por membrana 0.22 µM (Millipore). El extracto extracelular filtrado se dividió en dos fracciones, una oficiando como control mientras que a la otra fracción se le agregó igual volumen de solución estéril de AgNO₃. Las dos fracciones se incubaron a temperatura ambiente en oscuridad. Se realizó el seguimiento de la biosíntesis mediante realización de espectros de absorción (incluyendo el control) entre 250 y 800 nm, en un espectrofotómetro UV-visible (Jenway 6715), y midiendo el incremento de absorción en el pico de longitud de onda máximo, correspondiente a la resonancia de plasmón de superficie de las NPs sintetizadas, a lo largo del tiempo.

Evaluación de condiciones de reacción de biosíntesis

Para evaluar la incidencia de las variables de la reacción en la biosíntesis de las NPs se estudiaron individualmente las siguientes condiciones experimentales: tiempo de incubación del micelio en agua (24, 48 y 72 horas), temperatura (28 °C y 37 °C) y concentración de AgNO₃ en la reacción de síntesis (1 y 5 µM). Cada variable fue evaluada por duplicado, midiendo la absorbancia a $\lambda = 440$ nm en función del tiempo. Además, se realizó análisis de va-

rianza (ANOVA) en el tiempo final de la síntesis para determinar si existían diferencias significativas en las distintas condiciones evaluadas ($p < 0.05$).

Purificación de las NPs

Las NPs sintetizadas fueron centrifugadas (centrífuga refrigerada SORVALL–Thermo Scientific), lavadas y resuspendidas en agua destilada estéril, obteniendo así la solución de NPs a utilizar en los siguientes ensayos. Se realizó el espectro de absorción, se midió la banda de absorbancia correspondiente a las NPs purificadas y se estimó su concentración según lo descrito por Paramelle *et al.* (2014).

Caracterización de las NPs sintetizadas

Para la caracterización de las NPs biosintetizadas, además de la espectroscopía UV–visible se utilizaron otras metodologías. Mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de rayos X a bajos ángulos (SAXS) se determinó el tamaño, distribución y morfología de las NPs.

TEM

Se depositaron 10 μL de la solución de NPs en una rejilla de cobre recubierta de carbono (*Electron Microscopy Sciences*). Se dejó secar la muestra a temperatura ambiente. El análisis se llevó a cabo en el microscopio electrónico TECNAI T20 (FEI) a 200 kV. El procesamiento de las imágenes fue realizado con el *software* Image J.

SAXS

Se utilizó un difractómetro de polvo Rigaku, model Ultima IV, utilizando radiación generada por un ánodo de Cu con $\text{CuK}\alpha = 1.5418 \text{ \AA}$. Las medidas se hicieron a bajo ángulo, en geometría Bragg–Brentano, con un *offset* de 0.2 Å sobre depósitos de NPs sobre sustrato de silicio. El rango de medida de $q = 0.05 \text{ \AA}^{-1}$ a 1.50 \AA^{-1} .

Evaluación de actividad antimicrobiana *in vitro*. Determinación de concentración inhibitoria mínima (CIM)

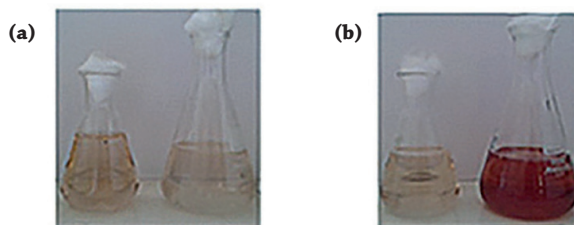
Se determinó mediante la técnica de dilución descrita por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI 2012), en microplacas de titulación de fondo plano (NUNC–Thermo Scientific). Se sembraron suspensiones de los microorganismos en caldo Mueller–Hinton (Himedia) con diluciones seriadas de la solución de NPs. Como controles se sembraron el caldo de cultivo, suero fisiológico (igual volumen que la solución de NPs) con y sin la suspensión del microorganismo. Luego de la incubación a temperatura y tiempo adecuados para cada microorganismo se determinó la mínima concentración que causó inhibición visible del crecimiento microbiano. Además, se incluyeron como controles positivos algunos antimicrobianos (antibióticos, solución de nitrato de plata).

Resultados

Biosíntesis de NPs de plata

Durante el seguimiento de la reacción de síntesis, se constató un aumento de la absorbancia en la región 420-460 nm, el cual se corresponde con la resonancia de plasmón de superficie (RPS). Asimismo, se observó un notorio cambio de color en el medio de reacción de las NPs, no así con la fracción empleada como control (figura 1).

FIGURA 1. Color observado: (a) al iniciar la reacción (0 horas), y, (b) luego de 72 horas de reacción; a la izquierda el control y a la derecha la síntesis de NPs.

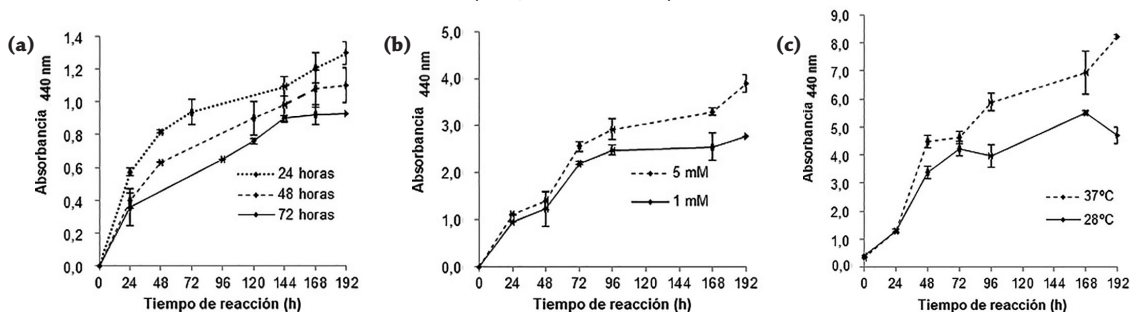


Fuente: Elaboración de los autores.

Evaluación de la incidencia de condiciones de reacción en la biosíntesis de NPs

En el estudio de la incidencia del cambio de variables en la reacción de biosíntesis, se observó que la misma era más favorable al incubar el micelio en agua destilada durante 24 horas (figura 2a). Asimismo, se obtuvieron resultados correspondientes a una mayor síntesis de NPs cuando la temperatura de reacción fue de 37 °C (figura 2b) y también cuando se empleó AgNO₃ 5mM (figura 2c). Además, el análisis de varianza a tiempo final de reacción mostró que existían diferencias significativas en la absorbancia a 440 nm ($p < 0.05$) para las distintas condiciones evaluadas.

FIGURA 2. Efecto de diferentes condiciones de reacción en la síntesis de NPs (medida por absorbancia a 440 nm) en el tiempo (las barras indican la desviación estándar): (a) distintos tiempos de incubación, (b) distintas concentraciones de nitrato de plata, (c) distintas temperaturas.

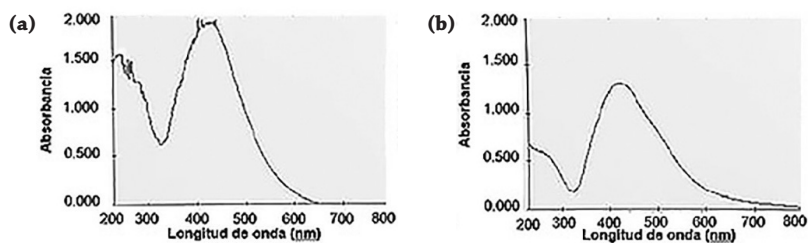


Fuente: Elaboración de los autores.

Purificación de NPs de plata

Las muestras fueron centrifugadas y las NPs en el *pellet* fueron lavadas para obtener las NPs aisladas. Para estudiar la estabilidad coloidal de las NPs purificadas se utilizó espectroscopía UV-vis. Después de la centrifugación y re-suspensión las NPs presentaron una alta banda de absorción por encima de 400 nm correspondiente a la RPS de las NPs de plata (figura 3). Esto demuestra que en estas condiciones de centrifugación las NPs pudieron separarse sin perder estabilidad coloidal (no agregaron).

FIGURA 3. Espectros de absorción UV-vis de las NPs antes (a) y después (b) de la centrifugación.

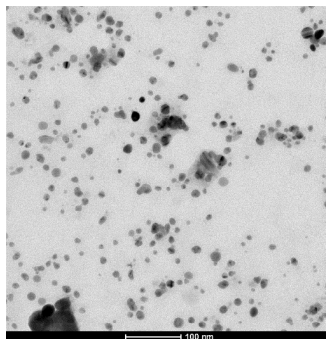


Fuente: Elaboración de los autores.

Caracterización de las NPs

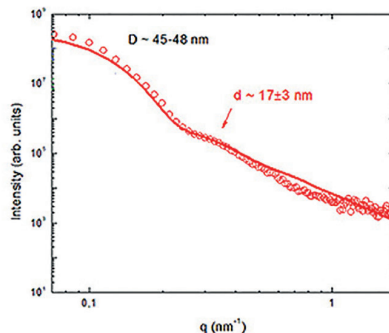
Luego de seleccionadas las condiciones de síntesis se realizó la caracterización de las NPs. El análisis de las micrografías de TEM usando el *software* Image J mostró que eran de forma esférica con un tamaño promedio de 11(2) nm (figura 4). Además, estudios de SAXS mostraron dos picos asociados con poblaciones de NPs esféricas. Las distancias características obtenidas del ajuste corresponden a 17(3) nm y 46(1) nm (figura 5). La primera población podría atribuirse al tamaño de las NPs, mientras que la segunda podría corresponder a una segunda población pero de mayor tamaño, resultado del proceso de secado necesario para realizar el preparado sobre sustrato de silicio.

Figura 4. Micrografía de TEM de las NPs.



Fuente: Dras. Grazú y Fratila del Instituto de Nanociencia de Aragón de la Universidad de Zaragoza, España.

FIGURA 5. SAXS para un preparado de NPs depositada sobre placa de silicio. Se evidencian dos distancias de correlación en 45-48 y 17nm.



Fuente: Elaboración de los autores.

Actividad antimicrobiana. Determinación de la CIM

Para evaluar su potencial aplicación como antimicrobiano se realizó la determinación cuantitativa de dicha actividad (CIM) frente a los siguientes microorganismos: *C. albicans*, *S. aureus* y *E. coli*. Los resultados se presentan en la tabla 1. Los controles positivos utilizados en los ensayos (antibióticos y solución de AgNO_3) presentaron valores de CIM superiores (en el orden de μM y ηM).

TABLA 1. CIM de las NPs frente a distintos microorganismos.

<i>C. albicans</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
2.1 pM	2.1 pM	8.5 p M

Fuente: Elaboración de los autores.

Discusión

En este trabajo se avanzó en estudios de incidencia de condiciones de reacción, caracterización y de aplicaciones como antimicrobianos de las NPs sintetizadas utilizando el hongo *P. atropurpurascens*. Con el objetivo de producir NPs estables, con un mayor rendimiento en tiempos de reacción más cortos para su potencial uso en diversas aplicaciones biotecnológicas, se evaluó la incidencia de las condiciones de reacción para la biosíntesis de NPs. Dentro de los resultados obtenidos vale la pena destacar el tiempo, el cual fue menor que en el protocolo utilizado en estudios previos (Sanguiñedo *et al.*, 2018), lo que representa una ventaja teniendo en cuenta ensayos futuros a mayor escala. Se separaron las NPs por centrifugación y se confirmó su estabilidad; esta estrategia permite la purificación de las NPs, un paso muy importante para las diferentes aplicaciones. Esta estabilidad luego de la centrifugación es indicativo de la formación de una capa orgánica fuertemente unida al core

inorgánico de la nanopartícula metálica. Las NPs sintetizadas se mantuvieron estables luego de dicho proceso, manteniendo la banda correspondiente a la resonancia de plasmón de superficie en el espectro de absorción de la solución de NPs; las propiedades plasmónicas de las NPs de plata proveen un método sencillo para este monitoreo: la agregación de las mismas generaría una disminución de la intensidad en el pico de resonancia de plasmón de superficie así como un corrimiento en el espectro visible hacia el infrarrojo (Sivera *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2016).

Los estudios de caracterización por TEM y SAXS permitieron determinar la forma, el tamaño y disposición de las NPs.

Dentro de las muy diversas aplicaciones de las NPs de plata en este trabajo se abordó su aplicación como agente antimicrobiano. Los resultados de actividad antibacteriana fueron similares a los obtenidos previamente con nanopartículas biogénicas frente a diferentes especies bacterianas (Quinteros *et al.*, 2016). Asimismo, las CIM de las NPs frente a las bacterias utilizadas en este trabajo fueron al menos tres órdenes menores que las obtenidas para los antibióticos gentamicina, cloranfenicol y ciprofloxacina, así como la solución de nitrato de plata, utilizadas como control.

Todos estos resultados obtenidos en los ensayos de actividad antimicrobiana *in vitro* fueron muy promisorios, demostrando el gran potencial antimicrobiano de las NPs tanto frente a bacterias (Gram positivas y Gram negativas) como a hongos, de interés en el área de salud o agroalimentaria.

Referencias

- Becaro AA, Puti FC, Panosso AR, Gern JC, Brandão HM, Correa DS y Ferreira MD (2016). Postharvest quality of fresh-cut carrots packaged in plastic films containing silver nanoparticles. *Food and Bioprocess Technology*, 637-649. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1656-z>
- Boca-Farcau S, Potara M, Simon T, Juhem A, Baldeck P y Astilean S (2014). Folic acid-conjugated, SERS-labeled silver nanotriangles for multimodal detection and targeted photothermal treatment on human ovarian cancer cells. *Molecular Pharmaceutics*, 11: 391-399. <https://doi.org/10.1021/mp400300m>
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (2012). *Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically*, approved standard, 10a ed.
- Elgorban AM, El-Samawaty AERM, Yassin MA *et al.* (2016). Antifungal silver nanoparticles: Synthesis, characterization and biological evaluation. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 30: 56-62. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1106339>
- Gurunathan S, Raman J, Abd Malek SN, John PA y Vikineswary S (2013). Green synthesis of silver nanoparticles using *Ganoderma neo-japonicum* Imazeki: A potential cytotoxic agent against breast cancer cells. *International Journal of Nanomedicine*, 8: 4399-4413. <https://doi.org/10.2147/IJN.S51881>

- Hajipour MJ, Fromm KM, Akbar Ashkarran A *et al.* (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30: 499-511.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Jo Y-K, Cromwell W, Jeong H-K, Thorkelson J, Roh J-H y Shin D-B (2015). Use of silver nanoparticles for managing *Gibberella fujikuroi* on rice seedlings. *Crop Protection*, 74: 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.04.003>
- Kora AJ, Sashidhar RB y Arunachalam J (2010). Gum kondagogu (*Cochlospermum gossypium*): A template for the green synthesis and stabilization of silver nanoparticles with antibacterial application. *Carbohydrate Polymers*, 82: 670-679. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.034>
- Korbekandi H, Ashari Z, Iravani S y Abbasi S (2013). Optimization of biological synthesis of silver nanoparticles using *Fusarium oxysporum*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 12: 289-298.
- Liu Y, Wang G, Li C, Zhou Q, Wang M y Yang L (2014). A novel acetylcholinesterase biosensor based on carboxylic graphene coated with silver nanoparticles for pesticide detection. *Materials Science and Engineering C*, 35: 253-258.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.10.036>
- OMS (2014). *Estadísticas Sanitarias Mundiales 2014: Una mina de información sobre salud pública mundial*. http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2014/es/
- Paramelle D, Sadovoy A, Gorelik S, Free P, Hobley J y Fernig DG (2014). A rapid method to estimate the concentration of citrate capped silver nanoparticles from UV-visible light spectra. *Analyst*, 139: 4855-4861.
<https://doi.org/10.1039/C4AN00978A>
- Quinteros M, Aiassa I, Dalmasso P, Paez P (2016). Silver nanoparticles: Biosynthesis using an ATCC reference strain of *Pseudomonas aeruginosa* and activity as broad spectrum clinical antibacterial agents. *International Journal of Biomaterials*, 5: 1-7. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5971047>
- Rodrigues AG, Ping LY, Marcato PD *et al.* (2013). Biogenic antimicrobial silver nanoparticles produced by fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97: 775-782. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-012-4209-7>
- Sanguiñedo P, Fratila RM, Estevez MB, de la Fuente JM, Grazú V y Alborés S (2018). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using fungi and their antibacterial activity. *Nano Biomedicine and Engineering*, 10: 165-173.
<http://dx.doi.org/10.5101/nbe.v10i2.p165-173>
- Shanthi S, David Jayaseelan B, Velusamy P, Vijayakumar S, Chih CT y Vaseeharan B (2016). Biosynthesis of silver nanoparticles using a probiotic *Bacillus licheniformis* Dahn1 and their antibiofilm activity and toxicity effects in *Ceriodaphnia cornuta*. *Microbial Pathogenesis*, 93: 70-77.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2016.01.014>
- Sharma M, Mishra A, Kumar V y Basu S (2016). Green synthesis of silver nanoparticles with exceptional colloidal stability and its catalytic activity toward nitrophenol reduction. *Nano*, 11: 1650046.
<https://doi.org/10.1142/S1793292016500466>

- Sivera M, Kvitek L, Soukupova J, Panacek A, Pucek R, Vecerova R y Zboril R (2014). Silver nanoparticles modified by gelatin with extraordinary pH stability and long-term antibacterial activity. *PLoS ONE*, 9(8): e103675.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0103675>
- Sripriya J, Anandhakumar S, Achiraman S, Antony JJ, Siva D y Raichur AM (2013). Laser receptive polyelectrolyte thin films doped with biosynthesized silver nanoparticles for antibacterial coatings and drug delivery applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 457: 206-213.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.09.036>
- Vurro M, Bonciani B y Vannacci G (2010). Emerging infectious diseases of crop plants in developing countries: Impact on agriculture and socio-economic consequences. *Food Security*, 2: 113-132.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12571-010-0062-7>

Temática y alcance

Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología es una revista científica de acceso abierto revisada por pares, dirigida a especialistas en nanociencias y nanotecnología. Tiene como objetivo dar a conocer los principales resultados de investigación en el área, incluyendo sus implicaciones sociales, ambientales, éticas y legales. Por su naturaleza es una publicación de alcance internacional. Publica artículos exclusivamente de investigación y revisiones del campo de conocimiento de interés, escritos tanto en inglés como en español.

Se publica dos veces al año (los meses de enero y julio), en formato impreso y electrónico. Editada y patrocinada desde 2008 de forma ininterrumpida por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Política de secciones

Editorial

Escrita por los integrantes del Comité Editorial y, cuando así corresponda, también por los editores invitados. Los textos aquí incluidos destacan las temáticas abordadas en cada fascículo, haciendo énfasis en las principales tendencias de investigación en el área. De igual forma, es un espacio donde se presentan los avances y logros de la revista, así como temas de interés editorial.

Artículos de revisión

Por invitación de los editores o del Comité Editorial. Versan sobre los avances y controversias en el campo de las nanociencias y la nanotecnología, con una amplia revisión bibliográfica, destacando puntos de vista analíticos. Su principal propósito es ofrecer una actualización integral acerca de los temas que trata la revista. Todas las colaboraciones solicitadas para esta sección serán sometidas a dictamen académico bajo la modalidad pares ciegos.

Artículos de investigación

Artículos de alto nivel producto de investigaciones originales e inéditas dentro del campo de las nanociencias y la nanotecnología, tomando en consideración sus implicaciones sociales, ambientales, éticas y legales. Hallazgos o resultados originales de proyectos de investigación que evidencien una postura teórica, metodología clara, resultados, discusión y conclusiones. Todas las colaboraciones dirigidas a esta sección serán sometidas a dictamen académico bajo la modalidad pares ciegos.

Dictamen editorial

Los autores que postulen un artículo para su posible publicación en *Mundo Nano* deberán remitir—completa y en su versión final— la documentación indicada en la sección [requisitos para la postulación de originales](#). Una vez que el equipo editorial acredite el cumplimiento de todos los requisitos de postulación, el texto será remitido a dictamen editorial el cual contempla las siguientes etapas:

1. Acreditar una revisión bajo la herramienta aprobada por el Comité Editorial para detección de plagio. Sólo posterior a ello será posible continuar con las siguientes etapas del dictamen editorial.
2. Se verificará que el texto postulado guarde relación con el enfoque y alcance de la revista. No se considerarán

aquellos trabajos que no contemplen explícitamente como componente relevante la dimensión nano.

3. Se revisará que el texto cumpla con todas y cada una de las indicaciones de forma señaladas en los [requisitos para la postulación de originales](#) y [requisitos para la entrega de originales](#) así como en las [instrucciones para los autores](#).
4. Se revisará que la bibliografía a la que se recurre sea pertinente y actualizada, y que esté debidamente estandarizada según la norma Chicago ver: http://www.chicagomanualofstyle.org/tools_citationguide.html
5. De acuerdo con los lineamientos de política editorial aprobados por el Comité Editorial, se dará prioridad a los textos cuya bibliografía se entregue gestionada electrónicamente y con hipervínculos activos a los DOI respectivos, en todos los casos que así corresponda.

Una vez que el artículo postulado acredite el dictamen editorial, se notificará formalmente al autor de contacto el registro e inicio del proceso de dictamen académico.

Dictamen académico

Los artículos deberán acreditar favorablemente el proceso de dictamen académico el cual operará bajo la modalidad de doble revisión por pares ciegos, donde la identidad tanto de los autores como de los dictaminadores permanecerán en anonimato, para ello se tomarán en consideración los siguientes lineamientos:

1. Los artículos que acrediten el dictamen editorial serán enviados a académicos expertos en la misma área disciplinar y temática que las del texto postulado. Los revisores serán seleccionados de entre la cartera de árbitros—integrada por especialistas de instituciones nacionales e internacionales— quienes emitirán comentarios acerca de la pertinencia y calidad académica del texto propuesto y determinarán la factibilidad de la publicación del texto en cuestión.
2. Los dictaminadores tendrán bajo su responsabilidad revisar y analizar la pertinencia académica, teórica y metodológica de todos y cada uno los artículos que les sean asignados. Serán ellos los responsables de revisar la presencia explícita del apartado teórico-metodológico, así como su congruencia respecto del campo de estudios, la coherencia entre el aporte académico y la relevancia de los hallazgos descritos, así como la actualidad y oportunidad de la bibliografía a la que se recurre.
3. Todos los textos serán remitidos a dos expertos—adscritos a una institución distinta de la adscripción de los autores— quienes emitirán sus comentarios. En caso de discrepancia en los dictámenes, se recurrirá a un tercer evaluador para que dirima el desacuerdo.
4. Finalmente, con base en las recomendaciones de los revisores, la decisión de los editores de *Mundo Nano* será:
 - a. Recomendar su publicación sin modificaciones.
 - b. Recomendar su publicación con cambios menores, y que no hacen necesaria una segunda revisión por parte de los árbitros.
 - c. Condicionar su publicación a la realización de cambios importantes, lo que obliga a una nueva revisión por parte de los revisores. Este proceso se puede repetir hasta un máximo de tres rondas, si a este

punto el documento aún no es recomendado para su publicación, el artículo será rechazado sin opción a un nuevo envío.

d. No recomendar su publicación.

5. Para que un texto sea aprobado para su publicación es indispensable que al menos dos de los tres dictámenes sean positivos.
6. La dirección editorial garantizará, en todos los casos, que los dictámenes entregados a los autores contengan argumentos sólidos que respalden la decisión editorial.
7. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todas las circunstancias.
8. En caso de recibir observaciones, el autor tendrá un plazo de veintidós días naturales para hacer llegar al editor la nueva versión del trabajo. De hacerlo fuera de este plazo, el documento iniciará un nuevo proceso de dictamen.
9. El tiempo para que el documento sea turnado a dictamen estará en función del número de artículos en la lista de espera. Los árbitros, una vez recibido el artículo, tendrán cuatro semanas para realizar la revisión y entregar el resultado.
10. Los documentos aceptados iniciarán el proceso de edición (corrección de estilo, marcaje de metadatos, formación, maquetación etc.), para, posteriormente, ser incluidos en el fascículo que corresponda, según la decisión de los editores responsables.
11. Una vez concluido el proceso editorial (corrección de estilo, marcaje de metadatos, formación y maquetación), la versión preliminar del texto será turnada a los autores para su última revisión y aprobación. Los autores tendrán un plazo de tres días naturales para la entrega del visto bueno, si no se entregaran comentarios en dicho plazo, la coordinación editorial de la revista asumirá que los autores han dado su aprobación tácita.

Política de acceso abierto

Los autores que publiquen en *Mundo Nano* aceptan las siguientes condiciones:

1. De acuerdo con la legislación de derechos de autor, *Mundo Nano, Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* reconoce y respeta el derecho moral de los autores, así como la titularidad del derecho patrimonial, el cual será transferido —de forma no exclusiva— a la revista para su difusión en acceso abierto.
2. *Mundo Nano* no realiza cargos a los autores por enviar y procesar artículos para su publicación.
3. Todos los textos publicados por *Mundo Nano* —sin excepción— se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.
4. Los autores pueden realizar otros acuerdos contractuales independientes y adicionales para la distribución no exclusiva de la versión del artículo publicado en *Mundo Nano* por ejemplo incluirlo en un repositorio institucional o darlo a conocer en otros medios en papel o electrónicos, siempre que indique clara y explícitamente que el trabajo se publicó por primera vez en *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*.

5. Para todo lo anterior, los autores deben remitir el formato de carta-cesión de la propiedad de los derechos de la primera publicación debidamente requisitado y firmado. Este formato debe ser remitido en archivo PDF al correo: mundonano@unam.mx



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional*.

Código de ética

Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología se suscribe al código de ética para la actuación y desempeño de los actores involucrados en el proceso de publicación de esta revista (editores, comité editorial, autores y revisores) establecidos por el Comité de Ética para Publicaciones (COPE, por sus siglas en inglés) y disponible en <https://publicationethics.org/resources/code-conduct>

Detección de plagio

En *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* se utiliza un software especializado para la detección de plagio. Los textos recibidos serán sometidos a revisión antes de enviarlos a dictamen editorial y académico, se rechazarán si el porcentaje de similitud con otro texto publicado o disponible en internet sea superior a 50%.

Si se detecta o sospecha el uso de información redundante o duplicada en un texto postulado, el procedimiento a seguir es el que COPE resume en el siguiente diagrama: <https://publicationethics.org/files/Spanish%20%281%29.pdf>

Preservación de archivos

Esta revista utiliza el sistema LOCKSS para crear un sistema de almacenamiento distribuido entre las bibliotecas participantes y permite la creación de archivos permanentes en la revista con fines de conservación y restauración ver más: <https://www.lockss.org/>

Lineamientos y buenas prácticas editoriales

Estos lineamientos hacen referencia a las políticas de buenas prácticas editoriales del COPE y disponible en: <http://publicationethics.org/resources/guidelines>

Funciones y responsabilidades del Comité Científico

- Promover entre la comunidad académica nacional e internacional la postulación de trabajos para su publicación en la revista.
- Sugerir lineamientos académicos para actualizar la política editorial de la revista.
- Promover la difusión de la revista en medios académicos nacionales e internacionales.
- Participar como dictaminadores de trabajos recibidos para su publicación o recomendar a otros expertos como dictaminadores.

Funciones del Comité Editorial

- Promover entre la comunidad académica nacional e internacional la postulación de trabajos para su publicación en la revista.

- Apoyar en la selección de los dictaminadores para los trabajos recibidos, así como deliberar sobre las mejores opciones de dictaminadores en casos necesarios.
- Decidir sobre la pertinencia de publicación de los materiales recibidos, apoyándose en los dictámenes de expertos.
- Aprobar el contenido propuesto para cada número de la revista.
- Revisar y evaluar cada número publicado.
- Colaborar con las instancias correspondientes para mantener la periodicidad establecida para la publicación.

Funciones y responsabilidades del editor en jefe y editores

- Coordinar las acciones conducentes al cumplimiento de los objetivos de la revista.
- Procurar un alto nivel académico en el contenido que se publica.
- Recibir los trabajos propuestos para su publicación y solicitar los dictámenes académicos.
- Vigilar el cumplimiento de las recomendaciones de los dictaminadores.
- Informar a los autores la fase del proceso editorial en la que se encuentre el texto enviado.
- Informar al Comité Editorial sobre el proceso de arbitraje de todos los materiales recibidos, cuidando la confidencialidad
- Proponer al Comité Editorial el contenido de cada número de la revista, a partir de los textos que estén corregidos y aprobados al momento.

Funciones y responsabilidad del editor asociado

- Coordinar el proceso de dictamen editorial.
- Planificar y coordinar el proceso de producción editorial de la revista.
- Supervisar el procesamiento técnico de los materiales aprobados por el Comité Editorial, una vez que han cubierto los requisitos académicos establecidos.
- Supervisar la corrección de estilo y la calidad técnica de la revista.
- Colaborar para mantener la periodicidad establecida para la publicación de la revista y para que la difusión y distribución de cada número inicie durante el primer mes del periodo correspondiente.

Responsabilidades de los autores

- Atender los requisitos de publicación de la revista relativos a: originalidad, que el texto sea inédito, pertinencia.
- Presentar sus resultados con honestidad y sin mentira, falsificación o manipulación de datos.
- Asumir la responsabilidad colectiva, si es el caso, para el trabajo presentado y publicado.
- Las fuentes de financiamiento y los conflictos de interés pertinentes deben señalarse en el artículo.
- Citar el trabajo de los demás con precisión y sólo referir publicaciones utilizadas en el texto.
- Los autores deben informar a los editores si los resultados han sido publicados con anterioridad o si varios informes o análisis múltiples de un mismo conjunto de datos están bajo consideración para su publicación en otro lugar. Los autores deben proporcionar copias de las publicaciones o trabajos afines presentados a otras revistas.

Responsabilidades de los dictaminadores

- Aceptará la revisión de textos que se ajusten a su área de especialidad, con el fin de realizar una evaluación adecuada.
- Declarará desde el inicio del proceso si existe conflicto de interés. Si se tiene sospecha de la identidad del autor(es), notificar a la revista si este conocimiento plantea cualquier posible conflicto de intereses.
- Rechazará la revisión de inmediato si no le es posible entregarla en el plazo acordado.
- Emitirá su evaluación basándose en la originalidad, la contribución del artículo a la temática, la metodología empleada, la pertinencia y actualidad de la bibliografía utilizada; el estilo, la coherencia y la calidad en la estructura y en la redacción del texto.
- Informará a la revista, de inmediato, si durante la evaluación encuentra o descubre que no tiene la experiencia necesaria para evaluar todos los aspectos del texto.
- Sus críticas serán objetivas, específicas y constructivas.
- Definirá con claridad la aprobación, rechazo o condicionamiento del texto.
- Emitirá su evaluación en el plazo acordado.
- Respetará la confidencialidad durante y después del proceso de evaluación.
- No utilizará contenido del texto revisado o en revisión.
- No involucrará a otras personas en la revisión que le fue solicitada.
- Comunicar a la revista si detecta similitud del texto con otro que haya revisado o si identifica cualquier tipo de plagio.
- No se permite transferir la responsabilidad de realizar un dictamen a ninguna otra persona, asistente o colaborador.

Registro en directorios y bases de datos de contenido científico

	Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex-Catálogo)
	Índice de Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades de la UNAM (CLASE)
	Bibliografía Latinoamericana (Biblat)

Envíos online

¿Ya cuenta con nombre de usuario/contraseña para *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*?
 VAYA A IDENTIFICACIÓN
 ¿Necesita un nombre de usuario/a/contraseña?
 VAYA A REGISTRO

Es necesario registrarse e identificarse para poder enviar artículos online y para comprobar el estado de los envíos.

Requisitos para la postulación de originales

Los artículos que sean postulados para su posible publicación en *Mundo Nano*. Revista *Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología* deberán remitir la siguiente documentación completa y en su versión final a través de la interfase Open Journal Systems. No se aceptarán postulaciones que no sean enviadas por este medio:

1. **Carta de originalidad y no postulación simultánea**, esta carta también debe ser llenada con los datos del autor o autores, y, en el caso de artículos con dos o más autores, se deben proveer los datos de todos y cada uno de ellos. Se deberá identificar al autor que firma como responsable del texto, así como al autor de correspondencia.
2. **Formato de cesión de derechos patrimoniales**, debe ser llenado y firmado con los datos del autor o autores. En el caso de artículos con dos o más autores, se deben proveer los datos de todos y cada uno de ellos, y se deberá identificar al autor que firma como responsable del texto, así como al autor de correspondencia.
3. Anexar el contenido completo del artículo que se postula y los archivos adicionales, en su versión final. No se aceptarán cambios una vez iniciado el proceso.

Requisitos para la entrega de originales

Para la entrega del material se deberán tomar en consideración los siguientes criterios:

1. **Página de presentación**: se deberá anotar el título del artículo, el cual deberá ser corto y atractivo; el nombre del autor —o autores— y una breve semblanza curricular de no más de tres líneas. Se deberán indicar las instituciones de adscripción de cada autor, con las direcciones postales y electrónicas, así como los números telefónicos. En esta página también se deberá precisar al autor que firma como responsable del texto, así como al autor de correspondencia.
2. Entregar el contenido textual en archivos en formato electrónico para procesador de textos, sin clave de contraseña (el envío de archivos en PDF no es pertinente para el proceso editorial).
3. Entregar fotografías e imágenes en archivos electrónicos en formato jpg (o compatible) con al menos 300 dpi de resolución. Es indispensable anexar las gráficas, tablas o cuadros en hoja de cálculo por separado. Las imágenes de gráficas, cuadros o tablas no son pertinentes para el proceso editorial.
4. Contar con los derechos de reproducción del material gráfico, imágenes, fotografías, obra artística, etcétera, ya sea por parte del propio autor (autores), o bien de terceros.
5. Una vez cumplidos los requisitos de postulación el texto será remitido a **Dictamen Editorial**.

Instrucciones para autores

1. **Naturaleza de los trabajos**: las contribuciones que se reciban para su eventual publicación deben ser resultados originales derivados de un trabajo académico de alto nivel. Sólo se aceptarán documentos vinculados con la nanociencia y la nanotecnología, incluyendo abordajes que destaquen sus implicaciones sociales, ambientales, éticas y legales, con la condición de presentar de mane-

ra explícita y detallada las estrategias teórico-metodológicas a las que se recurre y enfatizar los hallazgos producto de su aplicación.

2. **Extensión y formato**: los artículos de investigación podrán tener una extensión de entre 8,000 y 10,000 palabras, y las revisiones de entre 5,000 y 8,000 palabras. Deberán estar escritos en procesador de textos, en tamaño carta con márgenes de 2.54 centímetros, Times New Roman de 12 puntos, interlineado doble, sin espacio entre párrafos. Las páginas deberán estar foliadas desde la primera hasta la última en el margen inferior derecho. La extensión total incluye abordaje textual, bibliografía, tablas, gráficas, figuras, imágenes y todo material adicional.
3. **Exclusividad**: los trabajos enviados a *Mundo Nano* deberán ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones, por lo que es necesario adjuntar este documento: **Carta de originalidad y no postulación simultánea**.
4. **Coautorías**: de acuerdo con la política editorial y respecto de la autoría colectiva, se aceptarán como máximo cuatro autores, si se postularan artículos con más autores se deberá justificar la razón y naturaleza de la coautoría, quedando a juicio del Comité Editorial la aceptación o rechazo editorial del documento. En todos los casos se deberá indicar el tipo de participación de cada uno de los autores. Por ningún motivo se aceptará cambio en el orden en que fueron presentados los autores al momento de la postulación, y no será posible omitir ni agregar ningún autor que no hubiese sido señalado desde el inicio, por lo que será necesario identificar dicha información en los datos de registro.
5. **Frecuencia de publicación**: cuando un autor ha publicado en *Mundo Nano*, deberá esperar un año para publicar nuevamente.
6. **Idiomas de publicación**: se recibirán textos escritos tanto en español como en inglés.
7. **ID Autores**: es indispensable que todos y cada uno de los autores proporcionen su número de identificador normalizado ORCID. Para mayor información ingresar a www.orcid.org
8. **Institución de adscripción**: es indispensable señalar la institución de adscripción y país de todos y cada uno de los autores, evitando el uso de siglas o acrónimos. Se debe evitar la traducción de los nombres de instituciones.
9. **Anonimato en la identidad de los autores**: los artículos no deberán incluir en el cuerpo del artículo, ni en las notas a pie de página información que revele su identidad, ello con el fin de asegurar una evaluación anónima por parte de los pares académicos que realizarán el dictamen. Si es preciso, dicha información podrá agregarse una vez que se acredite el proceso de revisión por pares.
10. **Estructura de los artículos**: los artículos incluirán una introducción que refleje con claridad los antecedentes del trabajo, el método o estrategia de análisis a la que se recurre, discusión, resultados, conclusiones y bibliografía. Si así lo consideran los autores se podrán presentar secciones y apartados propiamente jerarquizados y diferenciados sólo con el uso de tipografía (sin usar números arábigos o romanos).
11. **Título**: el título del artículo de máximo 15 palabras deberá estar en español e inglés y deberá expresar de manera clara, concisa y descriptiva el contenido.

12. **Resumen y abstract:** deberá integrarse un resumen en español e inglés, de máximo 150 palabras, donde se describa el tema, propósito y resultados principales del trabajo. Se recomienda que el resumen responda a los siguientes temas: pregunta a la que responde el texto, marco o perspectiva teórica asumida, metodología empleada y principales hallazgos.
13. **Palabras clave y keywords:** se deberá incluir una lista de 3 a 5 palabras clave en español e inglés.
14. **Uso de siglas y acrónimos:** para el uso de acrónimos y siglas en el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseñar a colocar la sigla entre paréntesis. Ejemplo: Petróleos Mexicanos (Pemex), después sólo Pemex.
15. **Anexos y apéndices:** los artículos no incluirán anexos o apéndices, para ese caso se sugiere al autor el depósito de los mismos en repositorios de datos y, en su caso, indicar el DOI correspondiente para consulta.
16. **Notas:** las notas deberán indicarse a pie de página, estar numeradas y ser las estrictamente necesarias. Las notas a pie de página se reservarán para ampliaciones al texto o aclaraciones del/la autor/a, no podrán utilizarse para indicar bibliografía con locuciones latinas.
17. **Tablas y figuras:** se incluirán al final del artículo con la anotación precisa para su inclusión en el lugar donde son mencionados en el texto. Por ejemplo: Aquí tabla 1. La numeración de las tablas será consecutiva, en orden ascendente y con números arábigos. De igual manera el título se ubicará en la parte superior y la fuente completa a pie de tabla. Los autores tendrán la obligación de revisar que la fuente de todas las tablas y figuras esté indicada en la bibliografía final.
18. **Elementos gráficos:** todos los elementos gráficos, esquemas, mapas, etc., se nombrarán Figuras y tendrán una numeración consecutiva en números arábigos. El título se ubicará en la parte superior y la fuente completa a pie de cada figura. El autor tendrá la obligación de revisar que las fuentes de todas las figuras estén indicadas en la bibliografía final. Además de incluirlos en el artículo, todo elemento gráfico se entregará en archivo independiente en formato jpg (o compatible), con una resolución mínima de 300 dpi. Si las gráficas son elaboradas en Microsoft Excel, se deberá anexar el archivo fuente.
19. **Información adicional:** los artículos no incluirán epígrafes ni dedicatorias.
20. **Las referencias y citas bibliográficas:** al final del artículo deberán indicarse todas y cada una de las fuentes citadas en el cuerpo del texto (incluyendo notas, fuentes de las tablas y figuras). El autor debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones ni inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Se incluirán en la lista de referencias sólo las obras citadas en el cuerpo y notas del artículo. La bibliografía deberá presentarse estandarizada recurriendo a la norma Chicago, tomando como guía los siguientes ejemplos:

Artículos en revistas (no se abrevien los títulos ni de los artículos ni de las revistas):

- Takeuchi, N. 1998. Cálculos de primeros principios: un método alternativo para el estudio de materiales. *Ciencia y Desarrollo*, 26(142): 18.

Libros:

- Delgado, G. C. 2008. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. México: CEIICH, UNAM.

Internet:

- NobelPrice.org. 2007. The Nobel Prize in Physics 1986. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html

Estos lineamientos fueron aprobados por el Comité Científico y el Comité Editorial de *Mundo Nano*. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, el día 12 de febrero de 2018, y se reflejará en los contenidos que se publiquen a partir de 2019).

Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al / a la editor/a).
2. El archivo enviado está en procesador de palabras, sin contraseña de lectura.
3. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
4. El texto tiene interlineado simple; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final del todo.
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las instrucciones para autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Si está enviando a una sección de la revista que se revisa por pares, tiene que asegurarse de que las instrucciones en garantizar una evaluación por pares anónima han sido seguidas.

Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Garantizar una evaluación por pares anónima

Para asegurar la integridad de la evaluación por pares anónima para el envío a la revista, se debe intentar que los autores y los revisores desconozcan sus identidades entre ellos. Esto implica que los autores, editores y revisores (los cuales suben documentos como parte de su revisión) comprueben si los siguientes pasos se han seguido cuidadosamente en cuanto al texto y las propiedades del archivo:

1. Los autores del documento han eliminado sus nombres del texto, con "Autor/a" y el año que se usa en las referencias y en las notas a pie de página, en vez del nombre de los autores/as, el título del artículo, etcétera.
2. En los documentos de Microsoft Office, la identificación del autor también debe eliminarse de las propiedades del archivo.

Para Microsoft 2003 y versiones previas, y versiones de Word de Macintosh:

- Seleccione en el menú Archivo: Guardar como > He-

ramientas (u Opciones en Mac) > Seguridad > Eliminar información personal en las propiedades del archivo al guardar > Guardar.

Para **Macintosh Word 2008** (y futuras versiones):

- En el menú Archivo seleccione “Propiedades”.
- En la pestaña Resumen elimine la información identificativa de todos los campos.
- Guarde el archivo.

Para **Microsoft 2007** (Windows):

- Haga clic en el botón de Office en la esquina superior izquierda de la aplicación Office
- Seleccione “Preparar” en el menú Opciones.
- Seleccione “Propiedades” para el menú Opciones de “Preparar”.
- Elimine toda la información de los campos de propiedades del documento que aparecen debajo de menú principal de opciones.
- Guarde el documento y cierre la sección de campos de propiedades del documento.

Para **Microsoft 2010** (Windows):

- En el menú Archivo seleccione “Preparar para compartir”.
- Haga clic en el icono “Comprobación de problemas”.
- Haga clic en el icono “Inspeccionar documento”.
- Desmarque todas las casillas excepto “Propiedades del documento e información personal”.
- Ejecute el inspector de documento, el cual realizará una búsqueda en las propiedades del documento e indicará si algún campo de propiedades del documento contiene alguna información.
- Si el inspector de documento encuentra información se lo notificará y le dará la opción “Eliminar todo”, en la cual tendrá que hacer clic para eliminar todas las propiedades del documento y la información personal.

Para archivos **PDF**:

- En los PDFs, los nombres de los autores/as también deben ser eliminados de las propiedades del documento que se encuentran debajo de Archivo en el menú principal de Adobe Acrobat.

