

# 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

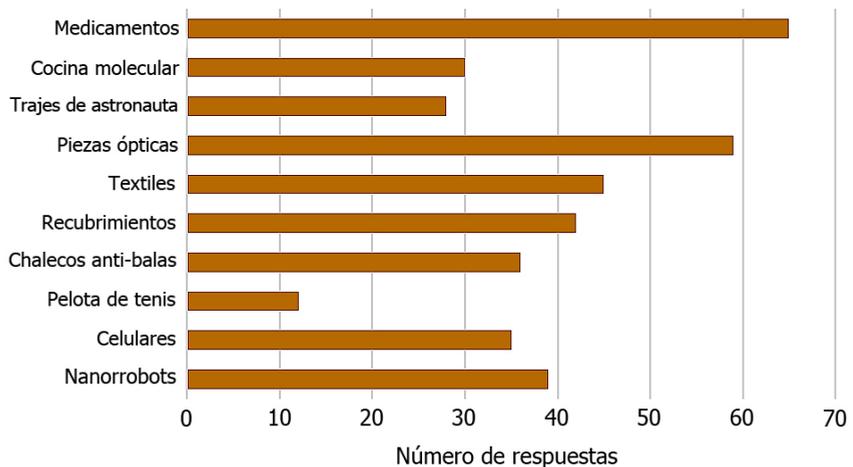
El 96.7% de los participantes considera que la nanotecnología ya cuenta con aplicaciones. A estos participantes se les pidió que indicaran qué materiales creían o sabían que producía la nanotecnología, dándoseles una lista de opciones tanto verdaderas como falsas. Las opciones más populares de aplicaciones 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-

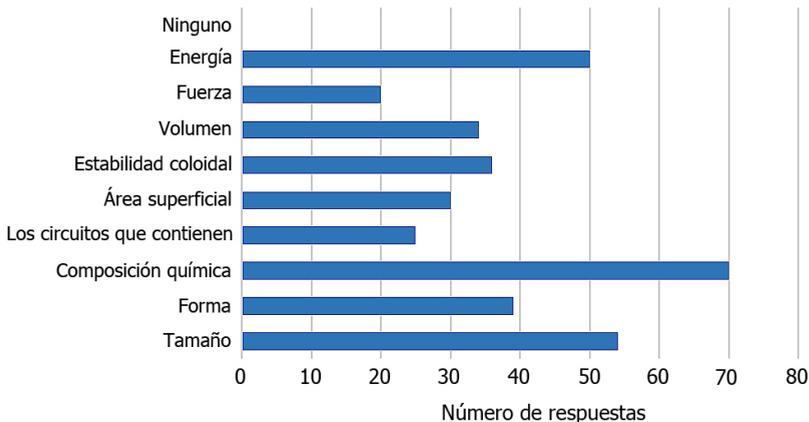
**FIGURA 1.** Opciones dadas en la encuesta como productos que incorporan nanotecnología y las respuestas de la población encuestada.



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).

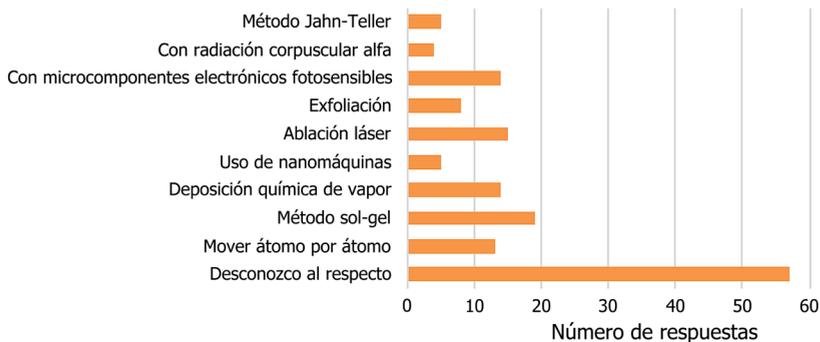
Por los resultados conseguidos en este rubro, puede afirmarse que los encuestados están parcialmente al tanto de la realidad sobre los factores que repercuten en el comportamiento de los materiales (tamaño y la composición química). Sin embargo, el hecho de que los participantes de la encuesta consideren 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 sinfín 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).

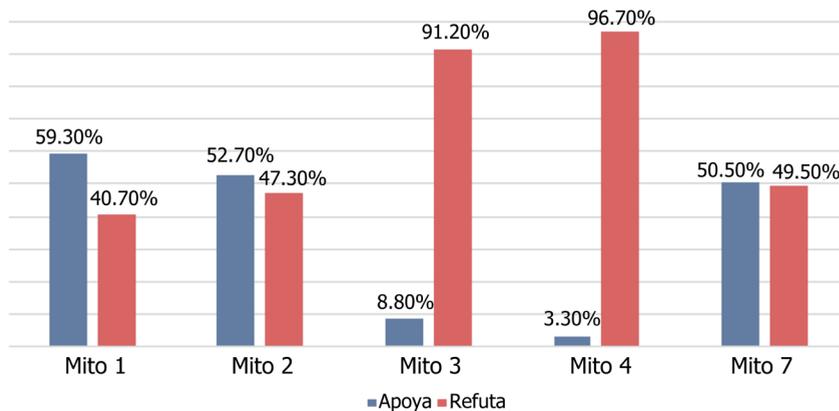
La nanotecnología no está del todo desregulada en México. Para comenzar, México ha participado en el comité de la ISO de nanotecnología, y ha empleado las definiciones de la misma para emitir normas mexicanas. Esto lo ha hecho a través del Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías (CTNNN), 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](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-reportaje>
- 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/>