

La investigación y desarrollo de las nanotecnologías aplicadas al tratamiento de agua en México

CASTAÑEDA, Rafael*† y ZAYAGO, Edgar.

Recibido Enero 28, 2016; Aceptado Marzo 7, 2016

Resumen

Las nanotecnologías representan un paquete tecnológico con un potencial de influencia sin precedentes. Sus aplicaciones pueden ofrecer posibles soluciones a problemáticas relacionadas con la pobreza y la desigualdad. Una de estas problemáticas es la del agua. Las nanotecnologías han expuesto alternativas a los métodos tradicionales de tratamiento de aguas, contrarrestando así los problemas de escasez y de contaminación de los cuerpos de agua en el mundo. El objetivo de esta investigación es mostrar quiénes están haciendo investigación sobre nanotecnologías aplicadas al tratamiento de agua en México y cuáles han sido sus impactos socioambientales. Metodológicamente se analizaron aquellos Cuerpos Académicos que pertenecen al PRODEP y se hizo una búsqueda en aquellas instituciones que no pertenecen a este programa: UNAM, IPN, UAM, centros de investigación pertenecientes a CONACYT y universidades privadas. Esta investigación busca abonar en la búsqueda por sistematizar la información sobre investigaciones aplicadas de nanotecnologías en nuestro país.

Nanotecnologías, tratamiento de agua, escasez de agua, investigación y desarrollo, cuerpos académicos

Abstract

Nanotechnologies represent a technological package with a potential unprecedented influence. Your applications can offer possible solutions to problems related to poverty and inequality. One of these problems is water. Nanotechnologies have exposed alternatives to traditional methods of water treatment, thus counteracting the problems of scarcity and pollution of water bodies in the world. The objective of this research is to show who is doing research on nanotechnologies applied to water treatment in Mexico and what have been their social and environmental impacts. An analysis of those academic bodies falling within the PRODEP and did a search on those institutions that do not belong to this program was made; UNAM, IPN, UAM, research centers belonging to CONACYT and private universities. This research seeks to pay in the quest to systematize information on nanotechnology applied research in our country.

Nanotechnology, water treatment, water scarcity, resourch and desarrollo, academic corps

Citación: CASTAÑEDA, Rafael y ZAYAGO, Edgar. La investigación y desarrollo de las nanotecnologías aplicadas al tratamiento de agua en México. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable 2016, 2-2: 12-21

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jdomingo.castaneda@utfv.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La problemática del agua es un asunto con características globales. Fenómenos colaterales como el crecimiento demográfico, la urbanización, la migración y la industrialización, al lado del incremento de la producción y el consumo, han generado demandas cada vez mayores del recurso hídrico (UNESCO, 2015). Aunado a esto, su disponibilidad está siendo gravemente afectada por la contaminación de los cuerpos de agua gracias a su uso intensivo en el sector agrícola, en la producción industrial y en la minería. El uso indiscriminado de fertilizantes y de materiales químicos ha contribuido a la eutrofización de ríos y a la creación de “zonas muertas” en distintos hábitats (UNESCO, 2016); además, existe una ausencia de políticas públicas efectivas para la gestión adecuada de las aguas residuales de uso doméstico (Corcoran *et al.*, 2010). Por ello, la preocupación por la disponibilidad y el acceso a agua de calidad en los próximos años ha creado una necesidad por desarrollar nuevas tecnologías y materiales innovadores que puedan garantizar este objetivo.

En este sentido, las nanotecnologías (NTs) han propuesto y desarrollado una serie de mejoras para los métodos de tratamiento de agua tradicionales en las diferentes etapas de la cadena de valor (Brame *et al.*, 2011).

A escala nano, la materia adquiere características fisicoquímicas diferentes de los mismos materiales en escala mayor, propiedades que las hacen especialmente apropiadas para el tratamiento del agua, ya que tienen el potencial de mejorar procesos como el de adsorción, catálisis y desinfección, o bien de acelerarlos y hacerlos más “limpios” (Kharisov *et al.*, 2012).

Una categorización clásica hecha con base al tipo de tratamiento de los cuerpos de agua los agrupa en tres grandes bloques: tratamiento y remediación, captura y detección, y prevención de la contaminación (Cloete *et al.*, 2008).

Esta clasificación, sin embargo, ha evolucionado a tres categorías donde se identifican las áreas potenciales para la aplicación de las NTs en el tratamiento de aguas: filtración y detección, purificación y remediación, y desalinización (Rickerby y Morrison, 2007; Vaseashta *et al.*, 2007; Qu *et al.*, 2012; Madathil *et al.*, 2013; Bora y Dutta, 2014). Compartimos, en este artículo, este esquema de áreas de aplicación de las NTs para el tratamiento de agua.

El objetivo de este artículo es analizar el panorama de la Investigación y Desarrollo (IyD) de las NTs en México y sus aplicaciones en estos tres rubros. Analizamos qué centros de investigación, universidades e institutos desarrollan IyD sobre el tema y en qué área de aplicación se enfocan.

Nos interesa analizar finalmente el impacto social real de la aplicación nanotecnológica en el tratamiento de agua en México y aportar a la sistematización de un tema que, a nivel global, ha adquirido relevancia en las últimas décadas.

Método

Para identificar la IyD que en México se hace sobre el tema, se dividió la investigación en dos búsquedas.

La primera indagó sobre aquellos Cuerpos Académicos (CA) del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP) que mantienen líneas de investigación sobre nanotecnología y agua. Los CA del PRODEP forman parte de un programa gubernamental que busca impulsar la formación de núcleos de investigación en temas específicos, y representa un catálogo de investigadores adscritos a la mayoría de instituciones públicas de educación superior.

Consecuentemente, se utilizó la plataforma de búsqueda de los CA reconocidos por el PRODEP en el sitio web: <http://promep.sep.gob.mx/ca1/> con el operador de búsqueda nano*, y la selección de todas las instituciones del sistema de educación superior. El sistema incluye Universidades Públicas Estatales y Afines, Universidades Politécnicas, Universidades Tecnológicas, Institutos Tecnológicos Federales, Institutos Tecnológicos Descentralizados, Universidades Politécnicas y Escuelas Normales.

Esta estrategia de búsqueda ha mostrado su efectividad en otros procesos de investigación y para otros temas, lo que ha generado un proceso simplificado de obtención de datos (Zayago, 2015).

A continuación, se coloca en esquema el proceso de filtrado de los datos para la identificación de CA con IyD en nanoagua (Tabla 1).

1er filtro Subsistema	Universidades Públicas Estatales y Afines Universidades Politécnicas Universidades Tecnológicas Institutos Tecnológicos Federales Institutos Tecnológicos Descentralizados Universidades Politécnicas Escuelas Normales
2º filtro Área de conocimiento	Agropecuarias Salud Naturales y exactas Sociales y administrativas Ingeniería y tecnología Educación, humanidades y artes
3er filtro Grado de consolidación	Cuerpos Académicos en Formación (CAEF) Cuerpos Académicos en Consolidación (CAEC) Cuerpos Académicos Consolidados (CAC)
4º filtro Palabras clave	Nanotecnolog* and agua

Tabla 1 Criterios de búsqueda de CA en PRODEP

En un segundo paso, se realizó una búsqueda manual en todos los sitios web de las instituciones ajenas al programa de CA del PRODEP, lo que incluyó a los institutos y centros de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Instituto Politécnico Nacional (IPN), a los centros de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y a las instituciones privadas.

La información de las dos estrategias de búsqueda se registró en una base de datos que incluyó los siguientes campos: nombre de la institución, su pertenencia o no al programa CA de PRODEP, nombres de los investigadores, línea de investigación y área de aplicación nano para agua, así como su dirección electrónica.

Análisis y resultados

Las NTs representan una plataforma cuyo poder tecnológico puede hacer más eficientes los métodos de tratamiento de agua. Sin embargo, los esfuerzos por sistematizar la información a este respecto se enfrenta a la problemática que significa no contar, en nuestro país, con una estrategia o un plan nacional alrededor de las NTs, hecho que atomiza la IyD que se desarrolla en México.

Realizar un mapeo de este tipo nos coloca en un punto de arranque para analizar cuál sería el papel real del impacto de las NTs para un asunto estratégico como el del agua en México.

Con la información recabada con los criterios de búsqueda tanto en CA de PRODEP como en aquellas instituciones y centros de investigación que se encuentran fuera de este Programa, se elaboraron las siguientes bases de datos; la primera incluye el centro de investigación o institución, el CA al que pertenece y los nombres de los investigadores que le componen (Tabla 2)¹.

Institución	Cuerpo Académico	Grupo de investigadores
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero	Nanotecnologías y Energías Renovables	José Aarón Melo Banda y Adriana Isabel Reyes de la Torre
Instituto Tecnológico de Oaxaca	Ciencias de Materiales y Química Ambiental	Alma Dolores Pérez Santiago y María de Jesús Gil Gallegos
Instituto Tecnológico de Toluca	Desarrollo de Nanotecnología y Evaluación de Materiales para Aplicaciones Ambientales	María Sonia Mireya Martínez Gallegos, Genoveva García Rosales y Ma. Guadalupe Macedo Miranda
Universidad Autónoma de Sinaloa	Ingeniería de Cristales y Ambiental	Héctor José Peinado Guevara, José de Jesús Campos Gaxiola y Adriana Cruz Enríquez
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	Nanotecnología y Calidad Ambiental	Mirella Gutiérrez Arzaluz, Lidia López Pérez, Violeta Mujica Álvarez, Miguel Torres Rodríguez, Luis Enrique Noreña Franco, Julia Aguilar Pliego, Víctor Daniel Domínguez Soria, Lilia Fernández Sánchez y Virginia González Velez

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Ciénaga	Nanomateriales y Polímeros Catalíticos	Arturo Barrera Rodríguez, Jacobo Aguilar Martínez, Víctor Vladimir Amilcar, Reyes Fernández Escamilla, Joel Sanjuan Raygoza y Oscar Jaime Ríos Díaz
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	Nanotecnología	Manuel Medina Mendoza, Enrique Pérez Valdivieso y Víctor Miguel Almazán González
Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji	Ingeniería y Sistemas Ambientales	Sergio Tejeda Zúñiga, Fausto Tovar León, Sonia Hernández González, Víctor Alfredo Nolasco Arizmendi y Aurea Guadalupe Gómez Vega
Instituto Tecnológico de Celaya	Química de Nanomateriales	Juan Carlos Fierro González, Armando Almendárez Camarillo y Gloria María Martínez González
Instituto Tecnológico del Valle de Morelia	Bioingeniería en Agronomía Sustentable	Guillermo Andrade Espinoza, Abraham García Chávez, Alejandro Romero Bautista y Rebeca González Villegas
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	Micro y Nanociencias	Miguel Ángel Guzmán Altamirano y Javier Gustavo Cabal Velarde
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Diseño y Caracterización de Nuevos Materiales Aplicables en	Cecilia Cuevas Arteaga, Rosa María Melgoza Alemán y Ma. Guadalupe Valladares Cisneros

¹ Cabe mencionar que la investigación también identificó el área de tratamiento de agua en el que dichas investigaciones se

enfocan: filtración/detección, purificación/remediación o desalinización. Por cuestiones de espacio, sólo se rescatarán esos datos para la presentación de conclusiones de la investigación

	Ingeniería Ambiental	
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	Ingeniería de Materiales Nanoestructurados y sus Aplicaciones	Sandra Loera Serna, María Elba Ortiz Romero Vargas, Ana Marisela Maubert Franco, Isaías Hernández Pérez, Marcos May Lozano y Dulce Yolotzin Medina Velázquez
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma	Materiales Nanoestructurados	Maricela Arroyo Gómez, Adolfo García Fontes, Ernesto Hernández Zapata, Yuri Reyes Mercado y José Luis Salazar Laureles

Tabla 2 CA con IyD en NTs y agua

La segunda tabla (Tabla 3) incluye las instituciones educativas y los centros de investigación fuera del PRODEP. En ella se colocó la institución, facultad y/o instituto fuente, la línea de investigación y el nombre de los investigadores.

Institución	Línea de investigación	Grupo de Investigadores
UNAM Centro de Nanociencias y Nanotecnol.	Propiedades fisicoquímicas de nanopartículas y cúmulos de plata y oro	Nina Bogdanchikova, Mario Farías Sánchez y Miguel Ávalos
UNAM. Centro de Nanociencias y Nanotecnología Bionanotecnología	Nanotoxicidad, estudio de la toxicidad de nanomateriales sobre organismos y ecosistemas	Rafael Vázquez Duhalt y Alejandro Huerta Saquero
UNAM. Instituto de Ciencias	Deposición de nanopartículas de TiO ₂ y Zn en	Ramiro Pérez Campos

Físicas. Ciencia de Materiales	zeolitas para aplicaciones catalíticas	
UNAM. Instituto de Física	Síntesis y caracterización de materiales	Lourdes Isabel Cabrera Lara
UNAM. Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Nanocatálisis	Desarrollo de nuevos catalizadores heterogéneos para la protección del medio ambiente	Andrey Simakov
UNAM. Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Nanocatálisis	Catalizadores y metales nobles para control medioambiental	Elena Smolentseva
Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería Química	Ósmosis inversa centrífuga	Jorge Lechuga Andrade
Centro de Investigación Científica de Yucatán. Unidad de Materiales	Sistemas de membranas para aprovechamiento y uso racional del agua en Yucatán	Manuel de Jesús Aguilar Vega y Gonzalo Caché Escamilla
Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Departamento de Física de Materiales	Carbono activado como soporte para catalizadores. Absorbentes en flitros para gases, aire y agua	Lorena Álvarez Conteras
Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Departamento de	Desarrollo de sensores y sistemas	

Ingeniería y Química de Materiales	de monitoreo para la industria petrolera y redes de agua potable		Biociencias e Ingeniería	Síntesis de nanoestructuras, aplicaciones e implicaciones medioambientales	
Centro de Investigación en Materiales Avanzados	Remediación de aguas residuales: materiales fotocatalíticos (TiO ₂)	Alfredo Márquez Lucero	IPN Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología. Unidad Altamira		Carlos Felipe Mendoza
Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología	Nanotecnología Ambiental	Alejandra García García	IPN Escuela Superior de Ingeniería Eléctrica y Química	Fabricación y caracterización de nanopartículas de plata en líquidos para el tratamiento de bacterias	
Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología	Síntesis y modificación de materiales adsorbentes con base en nanotecnología	Fátima Pérez Rodríguez			Eugenio Rodríguez González
Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología	Inactivación de microorganismos patógenos	José René Rangel	IPN Escuela Superior de Ingeniería Eléctrica y Química	Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales por medio de tela modificada de carbón activo	
Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología	Síntesis de nanopartículas de óxidos metálicos y su funcionalización con nanopartículas de metales nobles para el tratamiento de aguas residuales	Vicente Rodríguez González		Desarrollo y modificación de materiales nanoestructurados: aplicación como catalizadores electro-catalizadores, sensores y biosensores y en degradación, almacenamiento-captura de compuestos	Ma. Elena de la Luz Navarro Clemente
IPN Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Unidad Legaria Departamento de Nanotecnología y Materiales Funcionales	Reutilización de catalizadores gastados provenientes de una unidad de hidrotreamiento	José Luis Rodríguez López	IPN Escuela Superior de Ingeniería Eléctrica y Química		Ariel Guzmán Vargas
IPN Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo Departamento de		Fernando Trejo Zárraga	IPN Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías	Remoción de cromo y arsénico en agua potable usando TiO ₂ nanoestructurado y luz visible	

Avanzadas Sección de Estudios de Posgrado e Investigación	Caracterización térmica de soluciones con nanopartículas de oro para diferentes pH	Martín Daniel Trejo Valdéz
IPN Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad Saltillo	Incremento de la cadena productiva de minerales; síntesis de materiales catalíticos y adsorbentes nanoporosos y tratamiento de efluentes acuosos	José Luis Jimenez Pérez
IPN Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Unidad Zacatenco	Aplicación de la nanotecnología en el tratamiento biológico de efluentes industriales	Prócoro Gamero Melo
Universidad de Los Ángeles, Puebla. Departamento de Nanotecnología e Ingeniería Molecular	Preparación, caracterización y aplicación de electrodos estables de PbO ₂ para su uso en un reactor electroquímico para el tratamiento de aguas industriales	Refugio Rodríguez Vázquez
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey	Detección de contaminantes con nanomateriales	Marco Antonio Quiroz Alfaro Nancy Ornelas

Tabla 3 IyD en instituciones fuera de PRODEP

Con base en esta metodología, hemos identificado a 41 investigadores que realizan IyD en NTs referidas al tratamiento de agua en México.

14 de ellos pertenecen a CA, con líneas de investigación enfocadas a las NTs y su aplicación al tratamiento de aguas. Debido a su naturaleza, el PRODEP les compromete a generar artículos de difusión y redes de colaboración con sus pares en instituciones educativas del país. De hecho, ambos elementos son factores determinantes para lograr su grado de consolidación. Los 14 CA que desarrollan IyD de NTs para el tratamiento de agua, sin embargo, están en Proceso de Consolidación, lo que denota una ausencia de comunicación y nexos entre estos. Esta lógica es una consecuencia de la ausencia de una estrategia nacional alrededor de la IyD de las NTs en nuestro país.

Por su parte, aquellos investigadores que por la naturaleza de su institución no pertenecen al PRODEP suman 27. Se dividen de la siguiente forma: 13 a institutos y centros de investigación ligados al Instituto Politécnico Nacional (IPN), seis a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), cuatro al Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología (IPICYT), dos a la Universidad de Yucatán, uno al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y uno más a la Universidad de Los Ángeles (UDLA), en Puebla.

La concentración alrededor de las dos principales instituciones de educación superior en México (el IPN y la UNAM) es evidente – cerca del 70%.

Las líneas de investigación que esencialmente se desarrollan en estos giran alrededor del análisis de materiales nanoestructurados, su caracterización, así como las posibles aplicaciones para purificación/remediación de cuerpos de agua.

Hay, en consecuencia, una carga importante de investigaciones dirigidas a la remediación/purificación de agua, ya que 29 de los 41 investigadores en el país se centran en este aspecto; 9 de Cuerpos Académicos (64%), mientras que en instituciones fuera de Cuerpos Académicos se identificaron 20 (74%). Cabe anotar que, de estas 29 investigaciones, 20 centran su estudio en el análisis de materiales nanoestructurados que sirvan como catalizadores para acelerar y “limpiar” este método.

Por su parte, 9 de los 14 Cuerpos Académicos registran IyD dirigida hacia la filtración/detección (71%), mientras que en instituciones ajenas a CA son 19 de 27 (70%).

Por último, sólo hay registrada una investigación dirigida hacia la desalinización del agua a través del ósmosis inversa centrífuga: en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán.

Cabe mencionar que trece líneas de investigación combinan la investigación en remediación/purificación con el análisis y la experimentación en la filtración/detección del grado de contaminación de cuerpos de agua, investigaciones que han tenido éxito en algunos casos documentados tanto en CINVESTAV² como en ITESM³. En la UAM, en IPICYT y en CINVESTAV Sede Chihuahua y Ciudad de México se concentran la IyD con los niveles de sinergia más avanzados, ya que se estudian a la par la caracterización de nanomateriales, su uso en remediación/purificación y su uso en filtración/detección.

Otro dato que resalta es que 20 de los 41 investigadores se hospedan en alguna de las tres ciudades de mayor importancia socioeconómica del país: Jalisco, Monterrey o en la Ciudad de México (incluyendo su zona metropolitana), lo cual habla también de la centralización educativa y de investigación alrededor de los centros urbanos más importantes del país donde, a su vez, se presentan los conflictos socioambientales con mayor gravedad en México y los problemas de estrés hídrico más preocupantes.

Sin embargo, no existen parámetros claros que nos permitan demostrar que tanto investigadores como líneas de investigación respondan necesariamente a las necesidades sociales, ya que en México no existe una estrategia gubernamental nacional alrededor de la IyD en NTs. Este hueco genera que la relación entre investigación, industria y sociedad haya encontrado otras figuras como los *clusters*, sin que ello haya repercutido en mejoras sociales para la población.

Por último, es importante señalar que no existen registrados casos donde se haya pasado a la fase de experimentación en prototipo, con condiciones reguladas. Huelga decir que no hay un solo caso en el que la IyD se haya puesto en marcha en cuerpos de agua contaminados en México.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo prestado a la Unidad de Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas las facilidades prestadas para el desarrollo del posdoctorado; asimismo, se extiende el agradecimiento el apoyo económico brindado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México.

² Cfr <http://comunicacion.cinvestav.mx/Prensa/Hongosynanopart%C3%ADculaslimpiar%C3%A1naguasnegras.aspx> (Acceso: 2 de julio, 2016)

³ Cfr. <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/por+tema/investigacion/mtycontaminacionagua18sep15> (Acceso: 2 de julio, 2016)

Conclusiones

La problemática del agua a nivel mundial ha generado una búsqueda de alternativas en los métodos de tratamiento de agua convencionales. Las NTs ofrecen respuestas gracias a la oferta de nanopartículas que poseen características innovadoras que permiten hacer más eficientes dichos métodos: acelerarán la adsorción y la remoción de sustancias químicas y de materiales pesados, capturan algunos otros que suelen ser de difícil tratamiento, e, inclusive, sirven como sensores para detectar el grado de contaminación en un cuerpo de agua.

Su impacto en regiones pobres sería inmediato, ya que gran parte de la contaminación de los cuerpos de agua en estas regiones es resultado de las actividades industriales y de los desechos de casa-habitación que se siguen vertiendo sobre ellos. En regiones como la ZMCM, donde la cantidad de agua tratada es poca en comparación con la que se genera, el uso de NTs aparece como una alternativa para el saneamiento de aguas.

Sin embargo, México no cuenta con una estrategia nacional para la IyD de las NTs, hecho que genera obstáculos para unir las necesidades sociales con las investigaciones que se llevan a cabo en el rubro.

Cabe mencionar también, por último, que existe una creciente preocupación científica por el uso de NTs ya que, a escala nano, algunos materiales presentan una toxicidad mucho mayor, por lo que una parte importante de la investigación nanotecnológica se debe centrar en los impactos al medio ambiente y a la salud humana que el uso de estas puede traer consigo.

Un porcentaje importante de la IyD se concentra en instituciones dentro de las tres ciudades más importantes del país, Guadalajara, Monterrey y la Ciudad de México, centros urbanos que comparten un tipo de contaminación de cuerpos de agua.

El primer gran reto de las NTs es la realización de investigaciones en donde se puedan observar consecuencias reales de su aplicación. Esto implica condiciones fuera de laboratorio para evaluar su impacto en el medio ambiente y en la salud humana. Tal circunstancia es ajena en la agenda de investigación científica de las aplicaciones en nano agua en México. Paralelo a esto tenemos la ausencia de estudios a largo plazo que evalúen la acumulación, degradación y disposición de los nanomateriales utilizados en los filtros, membranas y dispositivos para tratar el agua.

En México la producción de dispositivos con estas tecnologías está en ciernes. Solamente 5 empresas están fabricando dispositivos de nanofiltración para el tratamiento de aguas. Esto, hay que resaltar, se hace en un marco donde no hay regulación y obligación legal para etiquetar y registrar los productos nanotecnológicos. Lo anterior complica el ejercicio de hacer un inventario completo de empresas. En este artículo, sin embargo, se ofrece un panorama completo sobre el tema.

Al respecto, destaca que el promedio en costo de los dispositivos de nanofiltración equivalen a 5 veces el salario mínimo, lo cual genera dudas sobre quiénes podrán obtener este tipo de productos. Sobre todo si consideramos que México es un país con más de la mitad de su población viviendo en pobreza. La transición de la tecnología actual a una más moderna, nanotecnológica por ejemplo, dependerá en gran medida a la relación costo-efectividad y a la competitividad en la producción a nivel industrial. Actualmente los altos costos, la modesta capacidad productiva, la desvinculación de la investigación científica con el sector manufacturero, la falta de supervisión del desarrollo de aplicaciones y la ausencia de direccionamiento, han limitado el encadenamiento de la IyD, producción, consumo y comercialización de las NTs en esquemas de remediación, potabilización y uso de agua en México.

Referencias

- Bora, T. *et al.* Applications of nanotechnology in wastewater treatment. A review. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14 (1), 613-626, enero, 2014. Disponible en <http://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn/2014/00000014/00000001/art00038> Acceso: 1 de julio, 2016.
- Brame, J. *et al.* Nanotechnology-enabled water treatment and reuse: emerging opportunities and challenges for developing countries. *Trends in Food, Science & Technology*, 22 (11), 618-624, noviembre 2011. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224411000057> Acceso: 1 de julio, 2016.
- Cloete, E. *et al.* Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. *Critical reviews in microbiology*, 34, 43-69. Disponible en: doi: 10.1080/10408410701710442 Acceso: 22 de junio, 2016.
- Corcoran, E. *et al.* *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment.* Noruega: United Nations Environment Programme (UNEP), UN-HABITAT, GRID-Arendal, pp. 88, 2010.
- Kharisov, I. Iron-containing nanomaterials: synthesis, properties, and environmental applications. *RSC Advances*, 25, 9325-9358, 25 de julio de 2012. Disponible en: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ra/c2ra20812a#!divAbstract> Acceso: 30 de junio, 2016.
- Madathil, A. *et al.* Nanotechnology in waste water treatment: a review. *International Journal of ChemTech Research*, 5 (5), 2303-2308, julio-septiembre, 2013. Disponible en [http://www.sphinxesai.com/2013/JulySept13/chPDF/CT=34\(2303-2308\)JS13.pdf](http://www.sphinxesai.com/2013/JulySept13/chPDF/CT=34(2303-2308)JS13.pdf) Acceso: 30 de junio, 2016.
- Qu, X. *et al.* Nanotechnology for a safe and sustainable water supply: enabling integrated water treatment and reuse, *Accounts of Chemical Research*, 46 (3), 834-843, 2013. Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ar300029v> Acceso: 30 de junio, 2016.
- Rickerrby, D. y Morrison, M. Nanotechnology and the environment: a european perspective, *Science and Technology of Advanced Materials*, 8, 19-24, 2007. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1016/j.stam.2006.10.002/pdf> Acceso: 8 de julio, 2016.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *Water for sustainable world.* Italia: UNESCO, pp. 139, 2015.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *Water and Jobs. The United Nations World Water Development Report 2016.* Francia: UNESCO, pp. 164, 2016.
- Vaseashta, A. *et al.* Nanostructures in environmental pollution detection, monitoring, and remediation, *Science and Technology of Advanced Materials*, 8, 47-59, 2007. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1016/j.stam.2006.11.003/pdf>, 9 de julio, 2016.
- Zayago, E. *et al.* Researching Risks of Nanomaterials in Mexico. *Journal of Hazardous, Toxic, Radioactive, Waste*. 20.1 (2014) B4014001.