

LA INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO EN

# NANO TECNOLOGÍAS

PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN  
MÉXICO



*José Domingo Rafael Castañeda Olvera<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Universidad Tecnológica  
Fidel Velázquez  
Av. Emiliano Zapata s/n  
Col. Tráfico  
Nicolás Romero, Estado de México,  
México, C.P. 54400.*



*rafaelcastaneda10@yahoo.com.mx*

Recibido: **Noviembre 11, 2016.**

Recibido en forma revisada: **Diciembre 10, 2016.**

Aceptado: **Enero 16, 2017.**

■ **Resumen:** El estrés hídrico global como resultado de su uso intensivo en los sectores agrícola e industrial, aunado a una política gubernamental acuífera ineficiente respecto a la gestión de las aguas residuales de tipo residencial, ha hecho necesario el desarrollo de tecnologías alternativas para el tratamiento de los cuerpos de agua en México. Esta investigación se propone mostrar el panorama de la Investigación y el Desarrollo (IyD) de las nanotecnologías (NTs) aplicadas a las diferentes etapas de la cadena de valor en el tratamiento de aguas en nuestro país. Con esta investigación, se busca aportar una base de datos que permita servir como nexo tanto a investigadores como a grupos de investigación, ya que no existe una sistematización de tal orden en nuestro país.

✦ **Palabras clave:** *Nanotecnologías, tratamiento de agua, aguas residuales, cadena de valor, sistemas de purificación de agua, impactos ambientales.*

**Abstract:** Global water stress as a result of its intensive use in agricultural and industrial sectors, coupled with an inefficient governmental water policy regarding the management of residential wastewater, has made it necessary to develop alternative technologies for the water treatment in Mexico. This research aims to show the research and development (R&D) landscape of nanotechnologies (NTs) applied to the different stages of the value chain in water treatment in Mexico. With this research, we seek to provide a common database that allows linking both researchers and research groups, since there is no systematization of such order in our country.

+ **Keywords:** Nanotechnology, water treatment, wastewater, value chain, water purification systems, environmental impacts.

## 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).

Debemos sumar a este panorama una ausencia evidente de políticas públicas efectivas para la gestión adecuada de las aguas residuales de uso doméstico (Corcoran, Nellemann, Baker, Boj, Osborn y Savelli, 2010). 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, Qilin y Álvarez, 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, 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: purificación, remediación y desalinización (Rickerby y Morrison, 2007; Vaseashta, Vaclavikova, Vaseashta, Gallios, Roy y Pummakarnchana, 2007; Qu, Brame, Li y Álvarez, 2012; Prachi, Gautam, Madathil y Brijesh, 2013; Bora y Dutta, 2014). Se comparte en este artículo, este esquema de áreas de aplicación de las NTs para el tratamiento de agua.

El objetivo de este artículo es, por tanto, analizar el panorama de la IyD de las NTs en México y sus aplicaciones en estos tres rubros.

Se analiza qué centros de investigación, universidades e institutos desarrollan IyD sobre el tema y en qué área de aplicación se enfocan. Al no haber un plan o estrategia nacional en México alrededor de las NTs, se busca sistematizar esta información para coadyuvar a la generación de nexos entre investigadores o grupos de investigación que, de alguna u otra forma, están estudiando y generando conocimiento en área similares pero con esfuerzos aislados.

## Método

La metodología utilizada para identificar quiénes realizan IyD sobre NTs para el tratamiento de agua en México se dividió en dos partes.

La primera consistió en indagar en los Cuerpos Académicos (CA) del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP); la información recabada se basó en lo ofrecido en su página web. La página ofrece los siguientes filtros de búsqueda (Tabla 1):

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

Tabla 1. Criterios de búsqueda de CA en PRODEP.

Para el primer filtro se seleccionaron las siete opciones que el subsistema ofrece; en el segundo filtro se seleccionaron las áreas de conocimiento: Agropecuarias, Naturales y Exactas, e Ingeniería y Tecnología; en el tercer filtro, el grado de consolidación del CA, se seleccionaron las tres opciones; para el cuarto filtro se utilizaron las palabras clave nanotecnolog\* y agua. Posteriormente se realizó un análisis manual, ya que algunos CA arrojados no se especializaban en el tratamiento de aguas con NTs, por lo que se hizo necesaria la afinación de la selección.

La segunda parte de la búsqueda consistió en indagar aquellas Instituciones de Educación Superior (IES) y Centros de investigación fuera del PRODEP. Este es un grupo por demás importante, ya que ahí se localizan los centros de investigación dependientes del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), así como los grupos de investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y de las universidades privadas (para nuestro interés, la Universidad de las Américas -UDLA- y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey -ITESM-, ya que ambos ofrecen las carreras de nanotecnología y poseen, también, cuerpos de investigación). Para lograr este objetivo, se hizo una búsqueda manual para selec-



cionar aquellos que cumplieran con los criterios mencionados (Tabla 2): remediación/purificación, filtración/detección y desalinización.

Temática	Palabras clave
Investigación en <u>nanoagua</u> en México	<u>investigacion</u> and nano* and agua and México
Investigación en instituciones educativas sobre <u>nanoagua</u> en México	<u>investigacion</u> and institucion and educativas and nano* and México
Investigación en centros de investigación sobre <u>nanoagua</u> en México	<u>investigacion</u> and centros de <u>investigacion</u> and nano* and México
Investigación en universidades sobre <u>nanoagua</u> en México	<u>investigacion</u> and universidad and nano* and México

**Tabla 2. Criterios de búsqueda de instituciones educativas y centros de investigación independientes al PRODEP.**

Estos criterios ayudaron a identificar manualmente a aquellos investigadores que se localizan en las IES más importantes del país (UNAM, IPN, UAM, entre otros) y los centros de investigación que desarrollan IyD en NTs (IPICYT, CINVESTAV, CIMAV, etc.).

Si bien es cierto que establecer estos criterios de búsqueda seguramente no agotaron las posibilidades de todas aquellas instituciones o grupos de investigación que en México se dedican al tema de nanoagua, nos parece que es un punto de partida posible a perfeccionarse con el tiempo y la investigación misma sobre el tema.

## Discusión y resultados

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 (Tabla 3).

No	INSTITUCIÓN	NOMBRE	CUERPO ACADÉMICO	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
1	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO	JOSÉ AARON MELO BANDA ADRIANA ISABEL REYES DE LA TORRE	NANOTECNOLOGÍA Y ENERGÍAS RENOVABLES	DESARROLLO DE NANOESTRUCTURAS DE CARBÓN
2	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA	ALMA DOLORES PÉREZ SANTIAGO MARÍA DE JESÚS GIL GALLEGOS	CIENCIA DE MATERIALES Y QUÍMICA AMBIENTAL	DESARROLLO DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS
3	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA	MARÍA SONIA MIREYA MARTÍNEZ GALLEGOS GENOVEVA GARCÍA ROSALES MA. GUADALUPE MACEDO MIRANDA	DESARROLLO DE NANOTECNOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE MATERIALES PARA APLICACIONES AMBIENTALES	DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE MATERIALES NOVEDOSOS PARA EL MEDIO AMBIENTE
4	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA	HÉCTOR JOSÉ PEINADO GUEVARA JOSÉ DE JESÚS CAMPOS GAXIOLA ADRIANA CRUZ ENRIQUEZ	INGENIERÍA DE CRISTALES Y AMBIENTAL	HIDROLOGÍA Y GEOHIDROLOGÍA A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS
5	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO	MIRELLA GUTIÉRREZ ARZALUZ LIDIA LÓPEZ PÉREZ VIOLETA MUJICA ÁLVAREZ MIGUEL TORRES RODRÍGUEZ LUIS ENRIQUE NOREÑA FRANCO JULIA AGUILAR PLIEGO VICTOR DANIEL DOMÍNGUEZ SORIA LILIA FERNÁNDEZ SÁNCHEZ VIRGINIA GONZÁLEZ VELEZ	NANOTECNOLOGÍA Y CALIDAD AMBIENTAL	DETERMINACIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN, CATÁLISIS AMBIENTAL Y PROCESOS DE MEMBRANAS, MATERIALES APLICADOS A CATÁLISIS Y ADSORCIÓN
6	UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, CENTRO UNIVERSITARIO DE LA CIÉNAGA	ARTURO BARRERA RODRÍGUEZ JACOBO AGUILAR MARTÍNEZ VICTOR VLADIMIR AMILCAR FERNÁNDEZ ESCAMILLA REYES JOEL SANJUAN RAYGOZA OSCAR JAIME RÍOS DÍAZ	NANOMATERIALES POLIMÉRICOS Y CATALÍTICOS	CATÁLISIS Y NANOTECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES CATALÍTICOS
7	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA FIDEL VELÁZQUEZ	MANUEL MEDINA MENDOZA ENRIQUE PÉREZ VALDIVIESO VICTOR MIGUEL ALMAZÁN GONZÁLEZ	NANOTECNOLOGÍA	MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE MATERIALES TRADICIONALES A TRAVÉS DE LA NANOTECNOLOGÍA
8	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TULA-TEPEJI	SERGIO TEJEDA ZÚÑIGA FAUSTO TOVAR LEÓN SONIA HERNÁNDEZ GONZÁLEZ VICTOR ALFREDO NOLASCO ARIZMENDI AUREA GUADALUPE GÓMEZ VEGA	INGENIERÍA Y SISTEMAS AMBIENTALES	BIOTECNOLOGÍA Y NANOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
9	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA	JUAN CARLOS FIERRO GONZÁLEZ ARMANDO ALMENDÁREZ CAMARILLO GLORIA MARÍA MARTÍNEZ GONZÁLEZ	QUÍMICA DE NANOMATERIALES	USO DE MATERIALES AVANZADOS EN TECNOLOGÍAS AMIGABLES CON EL MEDIO AMBIENTE
10	INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE MORELIA	GUILLERMO ANDRADE ESPINOZA ABRAHAM GARCÍA CHÁVEZ ALEJANDRO ROMERO BAUTISTA REBECA GONZÁLEZ VILLEGAS	BIOINGENIERÍA EN AGRONOMÍA SUSTENTABLE	DESARROLLO Y MANEJO DE BIOINGENIERÍA EN AGRONOMÍA SUSTENTABLE

11	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE IRAPUATO	MIGUEL ÁNGEL GUZMÁN ALTAMIRANO JAVIER GUSTAVO CABAL VELARDE	MICRO Y NANO CIENCIAS	DISEÑO Y DESARROLLO DE MICRO Y NANO SISTEMAS
12	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS	CECILIA CUEVAS ARTEAGA ROSA MARÍA MELGOZA ALEMÁN MA. GUADALUPE VALLADARES CISNEROS	DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES APLICABLES EN INGENIERÍA AMBIENTAL	ESTUDIO DE MATERIALES METÁLICOS Y NANOESTRUCTURADOS APLICADOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
13	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA AZCAPOTZALCO	SANDRA LOERA SERNA MARÍA ELBA ORTÍZ ROMERO VARGAS ANA MARISELA MAUBERT FRANCO ISAIAS HERNÁNDEZ PÉREZ MARCOS MAY LOZANO DULCE YOLOTZIN MEDINA VELÁZQUEZ	INGENIERÍA DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS Y SUS APLICACIONES	REACTIVIDAD QUÍMICA, SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE SISTEMAS NANOESTRUCTURADOS PARA SU APLICACIÓN EN CIENCIAS DE MATERIALES
14	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA LERMA	MARICELA ARROYO GÓMEZ ADOLFO GARCÍA FONTES ERNESTO HERNÁNDEZ ZAPATA YURI REYES MERCADO JOSÉ LUIS SALAZAR	MATERIALES NANOESTRUCTURADOS	NANOSISTEMAS DISPERSOS EN AGUA
15	UNAM CENTRO DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA FÍSICOQUÍMICA DE NANOMATERIALES	NINA BOGDANCHIKOVA MARIO FARIAS SÁNCHEZ MIGUEL ÁVALOS	NO APLICA	PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE NANOPARTÍCULAS Y CÚMULOS DE PLATA Y ORO
16	UNAM CENTRO DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA BIONANOTECNOLOGÍA	RAFAEL VÁZQUEZ DUHALT ALEJANDRO HUERTA SAQUERO	NO APLICA	NANOTOXICIDAD, ESTUDIO DE LA TOXICIDAD DE NANOMATERIALES SOBRE ORGANISMOS Y ECOSISTEMAS
17	UNAM INSTITUTO DE CIENCIAS FÍSICAS CIENCIA DE MATERIALES	RAMIRO PÉREZ CAMPOS	NO APLICA	DEPOSITACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE TiO <sub>2</sub> Y ZnO EN ZEOLITAS PARA APLICACIONES CATALÍTICAS
18	UNAM INSTITUTO DE QUÍMICA	LOURDES ISABEL CABRERA LARA	NO APLICA	SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS
19	UNAM CENTRO DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA	ANDREY SIMAKOV	NO APLICA	DESARROLLO DE NUEVOS CATALIZADORES HETEROGÉNEOS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
20	UNAM CENTRO DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA	ELENA SMOLENTSEVA	NO APLICA	CATALIZADORES Y METALES NOBLES PARA CONTROL MEDIOAMBIENTAL
21	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	JORGE LECHUGA ANDRADE	NO APLICA	ÓSMOSIS INVERSA CENTRÍFUGA
22	CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN UNIDAD DE MATERIALES	MANUEL DE JESÚS AGUILAR VEGA GONZALO CACHÉ ESCAMILLA	NO APLICA	SISTEMAS DE MEMBRANAS PARA APROVECHAMIENTO Y USO RACIONAL DEL AGUA EN YUCATÁN

23	CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE MATERIALES	MARIO MIKI YOSHIDA FRANCISCO PARAGUAY DELGADO FRANCISCO ESPINOZA JOSÉ ALBERTO DUARTE MOLLER	NO APLICA	APLICACIONES DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS FUNCIONALES. ADSORCIÓN DE METALES PESADOS Y OTROS CONTAMINANTES ACUOSOS
24	CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y QUÍMICA DE MATERIALES	LORENA ÁLVAREZ CONTERAS	NO APLICA	CARBONO ACTIVADO COMO SOPORTE PARA CATALIZADORES, ABSORBENTES EN FLITROS PARA GASES, AIRE Y AGUA
25	CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y QUÍMICA DE MATERIALES	ALFREDO MÁRQUEZ LUCERO	NO APLICA	DESARROLLO DE SENSORES Y SISTEMAS DE MONITOREO PARA LA INDUSTRIA PETROLERA Y REDES DE AGUA POTABLE
26	CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES AVANZADOS	ALEJANDRA GARCÍA GARCÍA	NO APLICA	REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: MATERIALES FOTOCATALÍTICOS (TiO <sub>2</sub> )
27	INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	FÁTIMA PÉREZ RODRÍGUEZ	NO APLICA	NANOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
28	INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	JOSÉ RENÉ RANGEL MÉNDEZ	NO APLICA	SÍNTESIS Y MODIFICACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES CON BASE EN NANOTECNOLOGÍA
29	INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	VICENTE RODRÍGUEZ GONZÁLEZ	NO APLICA	INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS
30	INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ LÓPEZ	NO APLICA	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS METÁLICOS Y SU FUNCIONALIZACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE METALES NOBLES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
31	IPN CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA UNIDAD LEGARIA DEPARTAMENTO DE NANOTECNOLOGÍA Y MATERIALES FUNCIONALES	FERNANDO TREJO ZÁRRAGA	NO APLICA	REUTILIZACIÓN DE DE CATALIZADORES GASTADOS PROVENIENTES DE UNA UNIDAD DE HIDROTRATAMIENTO
32	IPN CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO DEPARTAMENTO DE BIOCENCIAS E INGENIERÍA	CARLOS FELIPE MENDOZA	NO APLICA	SÍNTESIS DE NANOESTRUCTURAS, APLICACIONES E IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

33	IPN CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA UNIDAD ALTAMIRA	EUGENIO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ	NO APLICA	FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN LÍQUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE BACTERIAS
34	IPN ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y QUÍMICA	MA. ELENA DE LA LUZ NAVARRO CLEMENTE	NO APLICA	REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE TELA MODIFICADA DE CARBÓN ACTIVO
35	IPN ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y QUÍMICA	ARIEL GUZMÁN VARGAS	NO APLICA	DESARROLLO Y MODIFICACIÓN DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS: APLICACIÓN COMO CATALIZADORES ELECTRO- CATALIZADORES, SENSORES Y BIOSENSORES Y EN DEGRADACIÓN, ALMACENAMIENTO- CAPTURA DE COMPUESTOS
36	IPN ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y QUÍMICA	MARTÍN DANIEL TREJO VALDÉZ	NO APLICA	REMOCIÓN DE CR (VI) Y ARSÉNICO EN AGUA POTABLE USANDO TiO <sub>2</sub> NANOESTRUCTURADO Y LUZ VISIBLE
37	IPN UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN	JOSÉ LUIS JIMÉNEZ PÉREZ	NO APLICA	CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE SOLUCIONES CON NANOPARTÍCULAS DE ORO PARA DIFERENTES Ph
38	IPN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS UNIDAD SALTILLO	PRÓCORO GAMERO MELO	NO APLICA	INCREMENTO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE MINERALES; SÍNTESIS DE MATERIALES CATALÍTICOS Y ADSORBENTES NANOPOROSOS Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES ACUOSOS
39	IPN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS UNIDAD ZACATENCO	REFUGIO RODRÍGUEZ VÁZQUEZ	NO APLICA	APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES INDUSTRIALES
40	UNIVERSIDAD DE LOS ÁNGELES, PUEBLA DEPARTAMENTO DE NANOTECNOLOGÍA E INGENIERÍA MOLECULAR	MARCO ANTONIO QUIROZ ALFARO	NO APLICA	PREPARACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE ELECTRODOS ESTABLES DE PbO <sub>2</sub> PARA SU USO EN UN REACTOR ELECTROQUÍMICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES
41	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	NANCY ORNELAS	NO APLICA	DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CON NANOMATERIALES

Tabla 3. Investigadores que realizan IyD en NTs referente al tratamiento de agua en México.



Debido a su naturaleza, el PRODEP compromete a sus miembros 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. Una tarea fundamental del subsistema de Universidades Tecnológicas, por ejemplo, es generar lazos de comunicación entre aquellos CA cuyas líneas de investigación tengan denominadores comunes, en un afán de compartir conocimiento, divulgarlo y acrecentar su impacto real.

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.

De inmediato, salta a la vista que la concentración de investigaciones 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 CA (64%), mientras que en instituciones fuera de CA 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 CA registran IyD dirigida hacia la filtración/detección dentro de los cuerpos de agua (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 Fa-

cultad 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 CINVESTAV como en ITESM. 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 la ausencia de una estrategia gubernamental nacional alrededor de la IyD en NTs impide dirigir las hacia problemáticas específicas y/o regiones vulnerables. 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 existen pocos registros de casos donde se haya pasado a la fase de experimentación en prototipo, con condiciones reguladas o a mediana escala.

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; es decir, donde la aplicación real de NTs pueda medirse en su escala social.

## Conclusiones

La problemática del agua a nivel mundial ha generado una búsqueda de alternativas en los métodos de tratamiento de agua convencionales. Las políticas públicas alrededor del uso racional del agua han sido poco eficaces y los métodos de saneamiento de los cuerpos de agua contaminados son cada vez más rebasados tanto por el tipo de contaminantes vertidos sobre ellos como por la velocidad en la que este fenómeno sucede.

Se han buscado, entonces, respuestas desde las nuevas ciencias. Las NTs les ofrecen gracias a la oferta de nanopartículas que poseen caracte-

rísticas innovadoras que permiten hacer más eficientes dichos métodos: aceleran la adsorción y la remoción de sustancias químicas y de materiales pesados, capturan algunos otros que suelen ser de difícil trato e, inclusive, sirven como sensores para detectar el grado de contaminación en un cuerpo de agua.

Es por ello que esta oferta es altamente atractiva. El impacto del uso de NTs para remediar e incluso potabilizar el agua en regiones con poblaciones altamente vulnerables 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. Diversos estudios han mostrado cómo el binomio contaminación / pobreza se entrelazan en regiones como la latinoamericana, y en nuestro país los ejemplos abundan alrededor de nuestro territorio. Las zonas con mayores índices de marginalidad y pobreza en el país suelen tener, al mismo tiempo, los índices más altos de contaminación, de enfermedades y muerte por uso y consumo de agua de mala calidad. Pensar en la posibilidad de atacar de frente a estas problemáticas es una de las grandes promesas que han traído consigo las NTs.

En regiones como la ZMCM, donde la cantidad de agua tratada es muy poca en comparación con la que se contamina, el uso de NTs aparece como una alternativa para el saneamiento de aguas, hecho que impactaría de manera inmediata en la calidad de vida de las personas al ser el acceso al agua de calidad un elemento puntual para lograr un incremento en los índices de desarrollo humano.

Hay ya en nuestro país un cúmulo importante de investigadores trabajando en el tema, muchos de ellos en contextos diferenciados; 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. La urgencia de cubrir este hueco dio pie a esta investigación.

Sin embargo, cabe mencionar 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. Los efectos colaterales del uso de las nuevas tecnologías deben ser estudiados a la par, ya que la experiencia en el uso de nuevas tecnologías durante el transcurso de la historia humana ha dejado sabores amargos, ejemplo de estos son las plantas nucleares que prometían acabar con los problemas energéticos mundiales, el uso de agroquímicos que prometían acabar con las hambrunas en países de tercer mundo, el uso de DDT, asbestos y un largo etcétera, colocan signos de interrogación a las nuevas tecnologías y sus promesas.

Las NTs están, en este momento, en este mismo escenario.

## Bibliografía

- †Bora, Tamujjal; Dutta, Joydeep. et al. *Applications of nanotechnology in wastewater treatment. A review. Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14 (1), 613-626, enero, 2014. En <http://www.ingenta-connect.com/content/asp/jnn/2014/00000014/00000001/art00038>, 1 de julio, 2016.
- †Brame, Jonathan; Qilin, Li; Álvarez Pedro. 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. En: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224411000057>, 1 de julio, 2016.
- †Cloete, E. et al. *Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. Critical reviews in microbiology*, 34, 43-69. En: doi: 10.1080/10408410701710442, 22 de junio, 2016.
- †Corcoran, Emily; Nellemann, Christian; Baker, Elaine; Bos, Robert; Osborn, David; Savelli, Heidi. 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. En: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ra/c2ra20812a#divAbstract>, 30 de junio, 2016.
- †Prachi; Pranjali, Gautam; Deepa Madathil; A. N. Brijesh Nair. et al. *Nanotechnology in waste water treatment: a review. International Journal of ChemTech Research*, 5 (5), 2303-2308, julio-septiembre, 2013. En [http://www.sphinxnsai.com/2013/JulySept13/chPDF/CT=34\(2303-2308\)JS13.pdf](http://www.sphinxnsai.com/2013/JulySept13/chPDF/CT=34(2303-2308)JS13.pdf), 30 de junio, 2016.
- †Qu, X; Brame, J; Li, Q; Álvarez, P.J.J. 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. En <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ar300029v>, 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. En: <http://iopscience.iop.org/article/10.1016/j.stam.2006.10.002/pdf>, 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.;Vaclavikova, M.; Vaseashta, S.; Gallios, G.; Roy, P.; Pummakarnchana, O. et al. *Nanostructures in environmental pollution detection, monitoring, and remediation, Science and Technology of Advanced Materials*,8, 47-59, 2007. En: <http://iopscience.iop.org/article/10.1016/j.stam.2006.11.003/pdf>, 9 de julio, 2016

