

NANOTECNOLOGÍA APLICADA AL TRATAMIENTO DE AGUA EN MÉXICO

José Domingo Rafael Castañeda Olvera
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez
rafaelcastaneda10@yahoo.com.mx

Edgar Záyago Lau
Centro de Investigaciones Avanzadas
zayagolau@gmail.com

Este material está basado en parte en el trabajo de postdoctorado realizado en la Unidad de Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Contó con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Abstract

El objetivo de este trabajo es analizar cómo las nanotecnologías ofrecen una alternativa a los métodos de tratamiento de aguas tradicionales, los cuales muestran sus límites en el saneamiento de cuerpos de agua altamente contaminados. Se analizan las investigaciones que en México se dedican a este rubro y en dónde se llevan a cabo; la metodología de investigación consistió en una búsqueda en internet de Cuerpos Académicos en todo el país con líneas de investigación sobre este rubro; además, se realizó una búsqueda en las principales universidades del país y centros de investigación como la UNAM, el IPN, el IPICYT, CIMAV, entre otros. Se concluye que, pese a que hay investigaciones diversas, la ausencia de una estrategia nacional alrededor de la investigación y desarrollo de las nanotecnologías en México obstaculiza la aplicación de estos y su impacto socioambiental directo.

Palabras clave: Nanotecnologías, tratamiento de aguas, contaminación de aguas, investigación y desarrollo, cambio climático.

. La problemática del agua ha adquirido ya dimensiones globales y es uno de las consecuencias más devastadoras que ha traído consigo el cambio climático.

Por ello, se ha recurrido a la ciencia para generar alternativas en los métodos de tratamiento de aguas tradicionales, ya que estos están mostrando sus límites por la velocidad con la que ríos, lagos, lagunas y

mantos acuíferos son contaminados alrededor del mundo.

Las nanotecnologías, en este escenario, ofrecen una respuesta al volver más eficaces estos métodos y prometen acelerar el proceso de purificación gracias a la naturaleza de ciertas nanopartículas.

El objetivo de este ensayo es mostrar cómo las nanotecnologías pueden ayudar al saneamiento y purificación de diferentes cuerpos de agua contaminados y exponer quién en México está desarrollando investigación en este tema y en qué institución se desempeña.

1. Las nanotecnologías: ideas básicas

Las nanotecnologías (NTs) son el conjunto de ciencias y tecnologías aplicadas que implican tanto el control como la manipulación de la materia en una escala nanométrica.

Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro; a esta escala, la materia adquiere características fisicoquímicas diferentes a su escala micro o macro, hecho que las colocó en el foco de atención de una gran diversidad de investigaciones científicas y del interés industrial alrededor del mundo.

Así, desde el desarrollo de nanopartículas de oro útiles para el tratamiento de tumores malignos hasta el uso de nanopartículas de zinc para reforzar los recubrimientos metálicos haciéndolos considerablemente más sólidos; o desde la incorporación de nanotubos de plata para elevar la conductividad eléctrica en ciertos materiales hasta la implementación de nanopartículas de aluminio para hacer de los metales materiales más resistentes a la abrasión; lo cierto es que las NTs auguran la llegada de nuevos materiales y el desarrollo de nuevas

tecnologías con un alto impacto en la vida cotidiana (Acharya, 2011).

Por ello, se asegura que las NTs, cobijadas por tecnologías intermediarias, brindan soluciones a un gran número de problemáticas propias del mundo moderno como el ahorro energético, el envasado de alimentos, la descontaminación por herbicidas, curas a nuevas enfermedades o la purificación del agua, entre otros.

Esto gracias a la posibilidad que poseen de diseñar materiales con características novedosas, o bien de potenciar propiedades como la adsorción, la selectividad, la eficiencia, la fortaleza, la conductividad, la inocuidad, la resistencia química, térmica y mecánica en los materiales, etc.

En el caso que nos atañe, las propiedades únicas que poseen algunas nanopartículas las hacen especialmente apropiadas para el tratamiento de aguas, ya que tienen el potencial de mejorar procesos como el de adsorción, catálisis y desinfección, o bien de acelerarlos.

2. Tratamientos de agua tradicionales

El tratamiento del agua es un proceso complejo que exige un importante esfuerzo para la evaluación de las necesidades de depuración, así como para la caracterización de las aguas residuales.

Esto se logra a partir de diversas mediciones físicas y quimicobiológicas, entre las cuales se incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda química y bioquímica de oxígeno y el pH del agua contaminada. Sin embargo, como ya hemos mencionado, los grados de toxicidad de algunos materiales vertidos en los cuerpos de agua han alcanzado tal nivel que algunos

métodos de medición se han vuelto, incluso, inoperantes (Drexler, 1986).

Los métodos de tratamiento de agua tradicionales pueden clasificarse en físicos, físico-químicos y biológicos. Cada uno de ellos tiene características particulares y la elección de alguno de ellos depende del tipo y grado de contaminación de las aguas residuales, de los agentes contaminantes que en el cuerpo de agua persisten y del uso posterior que se le dará a ésta.

Lo cierto es que la comunidad científica y el sector industrial aseveran que, en la actualidad, el tratamiento de aguas no garantiza la devolución de las características que le permitirían ser nuevamente para consumo humano directo.

El método tradicional de tratamiento de agua se divide en tres etapas: tratamiento primario, secundario y terciario. Cada etapa tiene una lógica de depuración propia.

En la primera etapa se busca eliminar un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia orgánica; en la segunda etapa se trata de reducir el contenido de materia orgánica, acelerando los procesos biológicos naturales; por último, en la tercera etapa se busca eliminar el 99% de los sólidos, ya que al llegar a esta etapa se busca que el agua sea reutilizada, por lo que se emplean varios procesos químicos para garantizar que esta quede libre casi en su totalidad de impurezas (de la Peña, 2013).

Para cada una de estas etapas, la oferta nanotecnológica varía, ya que se ofrecen nanopartículas que pueden acelerar procesos fisicoquímicos y/o biológicos y otras que lo hacen con mayor precisión y eficacia. Algunas nanopartículas, inclusive, detectarían el grado

de contaminación de un cuerpo de agua para, posteriormente, saber qué método utilizar.

Se ofrecen también nanomateriales que le otorgan características distintas a los que se ocupan para tratar el agua, haciendo el proceso más “limpio”. Incluso se piensa en la generación de nuevos materiales que permitirían seleccionar el tipo de residuo a eliminar de manera específica en algún cuerpo de agua, haciéndola útil para un uso particular posterior.

3. Las nanotecnologías en el tratamiento de aguas

El uso de NTs en el tratamiento de aguas involucra a las tres partes del proceso.

En el tratamiento primario lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar. En plantas de tratamiento tradicionales, la sedimentación es resultado de la acción de la fuerza de gravedad sobre los materiales vertidos en el agua estancada: los materiales se almacenan en el fondo de los estanques para ser retirados.

En plantas más especializadas se utilizan algunos químicos que aceleran este proceso. Este tratamiento adquiere entonces características físico-químicas; estas pueden variar su naturaleza y se utilizan dependiendo del tipo de aguas residuales. Esto es importante, ya que la condición esencial para la elección del método de tratamiento se da en función del tipo de contaminación en el cuerpo de agua.

En general, en esta etapa primaria hay una adición de reactivos químicos que modifican la estructura química que el agua contaminada posee, buscando eliminar algunos compuestos (sales de hierro, manganeso, aluminio, polielectrolitos

floculantes o hidróxidos añadidos), o bien neutralizarla.

En esta primera etapa, las NTs ofrecen alternativas al asegurar que, con el uso de ciertas nanopartículas, este proceso se aceleraría, tendría mayor eficacia e, incluso, podría hacerla nuevamente para consumo humano.

Podemos mencionar algunos ejemplos de investigación y desarrollo (I+D) que se encuentran en su etapa experimental para este primer momento: en el Center for Biological and Environmental Nanotechnology de la Universidad de Rice y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts se han hecho investigaciones y aplicaciones en laboratorio sobre nanopartículas magnéticas de óxido de hierro (FeO) para la extracción de hierro en aguas residuales; en la University of Central Florida en Orlando se hacen investigaciones sobre la efectividad al manejar nanopartículas de hierro y magnesio para la degradación de metales pesados y solventes orgánicos en aguas residuales.

En la Universidad de Santiago, Chile, se realizan estudios sobre la efectividad de las nanopartículas de plomo y de arsénico como método de adsorción en aguas grises; asimismo, en el Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología - CEDENNA- en el mismo país sudamericano, se llevan a cabo estudios sobre el vertimiento de nanopartículas de hierro para la adsorción de arsénico.

En Australia, investigadores de la Organización Científica e Industrial de la Commonwealth trabajan con arcilla sintética, o hidrotalcita, que atrae el arsénico y lo elimina del agua.

En India, la Universidad de Banaras experimenta con nanotubos de carbono para la eliminación de bacterias y virus; el Instituto Indio de Ciencias de Bangalore y el Centro de Investigación Atómica de Bombay utilizan nanocatalizadores de dióxido de titanio (TiO₂) y óxido de plata (AgO) como capturadores de contaminantes químicos; también, el Instituto Indio de Tecnología de Chennai en cooperación con Eureka Forbes Limited manejan filtros de nanoplatina para la adsorción y degradación de pesticidas.

La lista de investigaciones alrededor del mundo sobre este método de oxidación avanzada a través de la aplicación de nanopartículas para generar el método de adsorción es grande. Sin embargo, cabe especificar que muchas de estas investigaciones se mantienen a nivel laboratorio, es decir, en su etapa experimental, y sólo algunas llegan a la etapa de prueba piloto.

Se conocen sólo ejemplos aislados de investigaciones aplicadas de tratamiento de agua a través del método de oxidación en grandes cuerpos de agua, sin que se hayan reportado aún éxitos en el tratamiento de agua.

Se pueden observar desde casos en países no industrializados, con uso de NTs en cuerpos de aguas contaminados por industrias textiles, petroleras y mineras, hasta investigaciones de universidades y centros de investigación de países altamente industrializados, con análisis en cuerpos de agua contaminados con tierras raras y metales pesados.

Es, por tanto, una fase donde la I+D adquiere relevancia, ya que el *know how* se vuelve un punto fundamental, ya que la transferencia de conocimiento y de tecnología

puede viabilizar una investigación acerca del tratamiento de cierto tipo de agua (Roco, 2003).

Por otra parte, en el tratamiento secundario se intentan eliminar sedimentos y sustancias que no se logran eliminar durante el primer tratamiento (de la Peña, 2013).

Si bien es cierto que en un exitoso tratamiento primario se logran remover hasta el 60% de los residuos, con el tratamiento secundario se busca que estos se eliminen hasta en un 90%. En esta segunda etapa puede haber tratamientos biológicos y químicos cuyo objetivo es eliminar materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándolos en sólidos suspendidos para su fácil eliminación.

Los tratamientos de tipo biológico se dividen en aerobios y anaerobios; en ambos, sus objetivos son tres: reducir el contenido de materia orgánica, reducir su contenido en nutrientes y eliminar los patógenos y parásitos. Para ello, existen métodos como el de lodos activados¹, tratamientos anaerobios², humedales artificiales³, entre otros.

Los estudios realizados desde las NTs para el tratamiento secundario tienen varias

vertientes: los estudios de membranas desalinizadoras que se realizan en la Universidad de California en Los Ángeles, donde la combinación de polímeros y nanopartículas atrae iones de agua y repele sales disueltas; Saehan Industries, empresa coreana dedicada a la desalinización y métodos de reuso del agua, ha operado ya plantas piloto de sanitización de agua en China, logrando desalinizarla, y en Irán, con menores costos que siguiendo tratamientos tradicionales; en el Institut Català de Nanotecnologia (ICN) se trabaja con electrodos nanoestructurados de carbono para medir el grado de contaminación presentes en un cuerpo de agua; entre otros.

Por último, el tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente a los estándares requeridos antes de que sea descargada en lo que se conoce como un ambiente receptor (generalmente un río, una laguna, el campo, el mar, etc.).

La finalidad del tratamiento terciario es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminadas no eliminadas en los tratamientos secundarios como, por ejemplo, los nutrientes, el fósforo y el nitrógeno. En esta etapa, los procesos utilizados pueden ser de naturaleza biológica o fisicoquímica (de la Peña, 2013).

Las investigaciones alrededor del mundo sobre este proceso se reducen en número: el Center for Biological and Environmental Technology (CBEN) de la Universidad de Rice y su división empresarial Oxane Materials han desarrollado membranas de ferrocene que se aplican en la última etapa del tratamiento biológico del agua, ya que imitan el funcionamiento de membranas celulares activas durante el proceso; asimismo, trabajan con cerámica

¹ Este método comprende un tanque de aireación y uno de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces; estos tienen como fin oxidar la materia biodegradable (oxidación) para permitir la floculación, proceso que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Véase www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm

² Consiste en una serie de procesos microbiológicos dentro de un recipiente hermético dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en donde se usan esencialmente bacterias. Véase www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm

³ Proceso que consiste en la recreación del sistema de purificación de agua que en el sistema natural dota de oxigenación nuevamente al agua ya utilizada; en este se involucra una mezcla de procesos bacterianos aerobios y anaerobios, utilizando esencialmente plantas con raíces profunda. Véase www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm

nanoestructurada que ayudan a purificar el agua “pasiva” en los tanques de almacenamiento de cuerpos de agua.

En esta misma Universidad, se desarrollan estudios para hacer más eficientes las reacciones fisicoquímicas de algunos materiales (metales pesados, sobre todo), útiles para este último escalafón de tratamiento de agua.

4. La I+D de NTs para el tratamiento de aguas en México

La I+D de NTs para el tratamiento de aguas en México se da tanto en el sector público como en el privado.

En México, la investigación encabezada por el Dr. Edgar Zayago (2013) arrojó que existen alrededor de 30 empresas que se encargan de investigar y desarrollar NTs para el tratamiento de aguas en sus diferentes etapas, así como la oferta de diferentes nanoproductos: desde la I+D hasta la oferta de equipo especializado nanotecnologizado, pasando por la fabricación de nanomateriales, nanointermedios y la oferta de servicios asociados a la instalación y el mantenimiento de plantas de tratamiento en diferentes tipos de cuerpos de agua contaminados.

Este estudio concluye que la industria de NTs para el tratamiento de agua está fuertemente inclinada a aquellas que ofertan nanomateriales para el tratamiento de agua primario, donde se busca, como ya vimos, que las nanopartículas aceleren procesos químicos de adsorción y/o floculación.

Por otra parte, la I+D de NTs en centros de investigación, laboratorios, universidades e instituciones educativas han presentado una escalada tanto en investigadores en NTs como en producción académica sobre el tema de 2000 a la fecha, ello gracias a la creación

de grupos de investigación en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), con la conformación de redes importantes a través de convenios bilaterales tanto con EEUU como con la Unión Europea (Conacyt, 2015).

Sin embargo, no hay a la fecha un programa nacional que logre conjuntar estos esfuerzos científicos. Por tanto, podemos aseverar que en México el avance de la I+D en NTs es resultado del esfuerzo por parte de los centros de investigación especializados en el área, las universidades que ofrecen la carrera, así como de la inversión privada en el ramo, sin que haya una institución u organismo que sistematice y logre gestionar adecuadamente esta información.

A nivel público, destacan algunas instituciones por sus investigaciones en el ramo: Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados (CIMAV) en Monterrey y Chihuahua, el Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología (IPICYT), el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET-UNAM), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL); Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, la Universidad de Guanajuato, el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), entre otros.

A nivel nacional, sólo tres instituciones ofrecen la licenciatura en Nanotecnología: la UNAM, el Instituto Tecnológico de Estudios

Superiores de Monterrey (ITESM) y la Universidad de los Ángeles (UDLA) en Puebla.

En el subsistema de universidades superiores, destaca el esfuerzo de las Universidades Tecnológicas: la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, la Mariano Escobedo, en Nuevo León, la de Altamira, en Tamaulipas, la del Norte de Veracruz, la de Querétaro, la de Tula Tepeji, la de Tulancingo, la de Tecámac, la Fidel Velázquez, en el estado de México, y la Emiliano Zapata, en Morelos.

Como parte de un proyecto más amplio sobre las NTs en México, iniciamos por identificar quién hace I+D en este ramo con respecto al tratamiento de aguas.

La metodología que se siguió fue dividida en dos partes: por un lado, se extrajo información de los Cuerpos Académicos conformados en las Instituciones de Educación Superior (IES) en México. El Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) almacena esa información, ya que a su cargo está apoyar el fortalecimiento de los Cuerpos Académicos, la integración de redes temáticas de colaboración de estos, incluyendo el apoyo para gastos de publicación y becas Post-Doctorales. La información que se obtuvo está en acceso libre a través de su página web⁴.

Por su parte, se hizo una búsqueda en web de las instituciones que no se encuentran dentro de este Programa: UNAM, IPN, Centros de Investigaciones, IES privadas y universidades.

Con base en esta metodología, hemos identificado a 41 investigadores que realizan I+D en NTs referidas al tratamiento de agua en México. 14 de ellos pertenecen a Cuerpos Académicos, con líneas de investigación enfocadas a las NTs y su aplicación al tratamiento de aguas. El resto (27) se divide de la siguiente forma: 13 a institutos y centros de investigación ligados al IPN, seis a la UNAM, cuatro al IPICYT, dos a la Universidad de Yucatán, uno al ITESM y uno más a la UDLA.

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 la primera etapa del tratamiento de aguas.

De estos 27 investigadores, 17 dirigen sus esfuerzos hacia los métodos de remediación de cuerpos de agua, nueve hacia los métodos de filtración y solo uno realiza I+D para la desalinización del agua a través de la ósmosis inversa centrífuga. Por su parte, trece de ellos también combinan sus líneas de investigación con el análisis y la experimentación en la detección del grado de contaminación de cuerpos de agua, investigación que ha tenido éxito en algunos casos documentados tanto en CINVESTAV⁵ como en ITESM⁶.

Otro dato que resalta es que 20 de los 41 investigadores se concentran en alguna de las tres ciudades de mayor importancia

⁴ Cfr. <http://promep.sep.gob.mx/cal/>

⁵ Cfr. <http://comunicacion.cinvestav.mx/Prensa/Hongosynanopart%C3%ADculaslimpiar%C3%AInaguasnegras.aspx>

⁶ Cfr. http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/por+tema/investigacion/mty_contaminacionagua18sep15

socioeconómica del país: Jalisco, Monterrey o en la Ciudad de México (incluyendo su zona metropolitana), lo cual habla también de la concentración 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 I+D 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

5. Conclusiones

La problemática acuífera a nivel global exige la búsqueda de alternativas para optimizar los métodos de tratamiento de aguas tradicionales al no responder al ritmo de contaminación al que se encuentran sometidos los distintos cuerpos de agua en todo el mundo.

En este sentido, las NTs ofrecen alternativas. Algunas nanopartículas son vertidas en cuerpos de agua buscando tratar con mayor eficacia al capturar residuos químicos u orgánicos. Otras cumplen la función de acelerar procesos como los de adsorción y catálisis; algunos más, inclusive, prometen detectar el grado de contaminación y, en función de eso, determinar el método a seguir.

Estas promesas se presentan como una solución a la contaminación que en países poco desarrollados se presenta, ya que los

residuos químicos son de tal magnitud y la velocidad a la que se hace es tal, que los métodos tradicionales son ya ineficientes. La I+D de NTs en el tratamiento de aguas ha arrojado resultados prometedores; sin embargo, hay pocos casos exitosos en su aplicación sobre cuerpos de agua de grandes dimensiones.

Existe, además, una crítica desde los estudios socioambientales al no haber pruebas de las afectaciones reales sobre el cuerpo y la salud humanas, así como en el medio ambiente, de estas nanopartículas. Se argumenta que no hay pruebas suficientes del grado de toxicidad de estas o del comportamiento sinérgico con el entorno, por lo que se busca, desde el principio precautorio, establecer parámetros de riesgo para el uso de nanopartículas para el tratamiento de aguas.

En México, hay un grupo considerable de investigadores trabajando en el tema, desde aquellos que colaboran con la iniciativa privada hasta aquellos que desarrollan I+D en centros de investigación y universidades en todo el país. Hay una tendencia hacia los métodos primarios de remediación, especialmente aquellos que investigan nanopartículas para filtración y remediación. Esta tendencia, sin embargo, no es resultado de una problemática social específica, ya que la I+D de NTs en nuestro país es presa de la ausencia de una estrategia nacional alrededor de las NTs, hecho que dificulta la integración de las investigaciones con referentes y problemáticas socioambientales específicas.

Los Cuerpos Académicos han servido, dentro del subsistema de Universidades e Institutos Tecnológicos, para generar redes de colaboración entre investigadores e instituciones, ya que su naturaleza es generar proyectos aplicados de carácter tecnológico.

Nueve proyectos de investigación en estas instituciones trabajan actualmente la aplicación de NTs al tratamiento de aguas; pese a ello, la aplicación de estas nuevas ciencias para combatir esta problemática sigue en ciernes mientras que el vital líquido escasea y sólo un porcentaje menor al 30% pasa por un tratamiento adecuado.

En su gran mayoría, las aguas residuales en nuestro país son vertidas nuevamente sobre cuerpos de agua que dotan de agua al sector agrícola y ganadero.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), el 70% del agua residual no es tratada, se vierte nuevamente sobre ríos, presas y lagos que sirven como agua de riego y pastoreo a estados como Hidalgo y Querétaro, estados que surten de carne, frutas y verduras a la ZMCM.

6. Referencias

Acharya, A. S. K. Camilla, M. K. Nayak y G. S. Roy (2011). Nano the revolution of 21th century. India, Krupajala Engineering College.

Conacyt (2015). La nanotecnología en México. Situación actual. Querétaro: Conacyt.

De la Peña, E., Ducci, J. y Zamora, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Nueva York: Banco Interamericano de Desarrollo.

Drexler, E. (1986). Engines of creation. The coming era of nanotechnology. NY, Anchor books.

Roco, M. y W. S. Bainbridge (2003). Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, informatic technology and cognitive science. Netherlands, Kinner Academic Publishers.

Záyago, E. (2013). Empresas nanotecnológicas en México. Hacia un primer ensayo. *Estudios Sociales* 42. Julio-diciembre, 2013.