

Investigación del tratamiento de aguas contaminadas en Colombia con ayuda de la nanotecnología.

S. Castro, N. Novoa & O. Gama

Abstract— En este artículo se hizo una investigación en Colombia, tomando en cuenta los puntos de vista y diferentes experimentos de investigadores en el área de la nanotecnología con aplicaciones en el tratamiento de agua realizada en México, un país vecino a Colombia que cuenta con factores de contaminación muy similares como lo son las basuras, desechos químicos de las fábricas, industrias, aguas residuales, agentes patógenos; tales como bacterias, virus, protozoarios, Petroleó, etc. Se analizó los aportes de los investigadores sobre ciertos aspectos que consideramos claves en el desarrollo de esta línea de investigación, tales como: redes de colaboración, financiamiento, riesgos relacionados con el uso de nanotecnología (NT) y nanoproductos (NPs) y para el tratamiento de aguas, la postura y opinión del público, y la regulación. Concluye reconociendo la importancia de este campo de investigación y recomendando se amplíe la exploración sobre los posibles efectos toxicológicos de la NPs usada en este campo; usando metodologías como la evaluación del ciclo de vida.

Palabras Claves— Nanotecnología (NT), nano-productos (NPs), tratamiento de agua, toxicidad, riesgos.

I. INTRODUCCIÓN

Se va a realizar una investigación acerca de experiencias y puntos de vista de investigadores en gran parte de México acerca de puntos de vista hacer que del uso de nanotecnologías. También se va a entrar en contexto tanto de la contaminación, como de la purificación de aguas; cuales son los métodos que se utilizan hoy en día cuando se detecta esta contaminación y de qué forma se pueden mejorar con ayuda de la nanotecnología.

La investigación y desarrollo de nanotecnología (NT) para "remediar o mejorar" el ambiente va creciendo, pues se considera que estas tecnologías emergentes son una opción para enfrentar la contaminación y descontaminar agua, suelo y aire (Watlington, 2005). Si bien Colombia no es aún una referencia en el uso de nanotecnología, existen ya un número considerable de instituciones e investigadores trabajando en esta línea de investigación. Por otro lado, en torno a las visiones sobre los beneficios al medio ambiente con el uso de NT, existen a nivel internacional preocupaciones por los posibles impactos en el ambiente y los organismos vivos, incluyendo los humanos (Greenpeace, 2007), así como por aspectos éticos y sociales (The Royal Society, 2004; Savages, N. en Delgado, 2006).

Cuando se quiere hablar de purificación de aguas contaminadas; el agua se somete a una serie de pasos para que de esta manera elimine organismos y residuos a fin de que el agua sea de mayor pureza y calidad consumible.

Existen diferentes pasos a seguir para la purificación del agua potable:

Cloración

Filtración a través de lecho profundo

Filtración a través de carbón activado

Filtración por cartucho

Suavización del agua

Ósmosis inversa

Rayos de luz ultravioleta

Ozonificación del agua

Cloración

Es el procedimiento primario de desinfección del agua en el que se emplean compuestos clorados, tiene acción germicida que elimina algunas bacterias, mohos y algas; además que mantiene un equilibrio de la población de microorganismos patógenos que pudieran encontrarse en el agua.

Filtración a través de lecho profundo.

Es un sistema de filtrado que atrapa las partículas de mayor tamaño suspendidas en el agua quedando en las distintas capas de arena que en relación guardan distinto espesor.

Filtración a través de carbón activado

Es un filtro que contiene carbón activado que logra eliminar algún sabor u olor del agua, como es el caso del cloro o mercurio. El paso de agua por este filtro tiene que ser lento para así permitirle quitarle la mayor parte de impurezas al agua.

Filtración por cartucho

Es el último paso del agua para lograr su pulido físico, el agua pasa a través de un dispositivo que contiene papel filtro con la capacidad de retener algún posible residuo suspendido en el agua de un tamaño aproximado de hasta 0.22 micras, aunque en las plantas purificadoras el filtrado típico es de 5 micras. Cuando el cartucho se ensucia por el exceso de materia suspendida solo se cambia por otro o bien puede lavarse y reutilizarse.

Suavización del agua

Se lleva a cabo en el filtro suavizador y es para quitarle la dureza al agua (contenido alto en sales). En este filtro se usan resinas que retienen el calcio, sodio y magnesio y pueden ser naturales o creadas artificialmente, los sólidos en suspensión (sales) que quedan flotando por encima de la resina se drenan y se van al drenaje.

Ósmosis inversa

Es conocida como ultra purificación en la cual se hace pasar al agua a altas presiones a través de una membrana semipermeable que separa el agua más alta en sales y el agua baja en sales.

La función de la membrana semipermeable es quitar la mayor parte de los sólidos disueltos totales de un 95% a un 99% y el 99% de todas las bacterias. El agua pasa a través de la membrana a alta presión de tal modo que las impurezas salen por detrás dejando fluir y continuar con su proceso al agua más pura.

De ser necesario se vuelve a pulir el agua físicamente con un filtro que contenga un cartucho con capacidad de retener hasta una micra o menos.

Luz ultravioleta

La luz ultravioleta se usa para matar a bacterias pues gracias al espectro que tiene es posible llegar a exterminarlas esterilizando así al agua.

Ozonificación de agua

Se emplea después de que el agua ha pasado por los rayos ultravioleta, es un gas que se inyecta al agua de la forma más directa posible en combinación con el aire que al tener contacto con el agua lleva cabo la oxidación de los compuestos orgánicos e inorgánicos de está, destruyéndolos y evitando la formación de algas.

La efectividad de la desinfección mediante ozono tiene que ver con la cantidad empleada de este y con el tiempo en contacto con el agua.

II. HISTORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel, figura 1) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena

o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo, en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

Alrededor del año 3000 a.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán) utilizaba instalaciones y necesitaba un suministro de agua muy grande. En esta ciudad existían servicios de baño público, instalaciones de agua caliente y baños.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

El agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Los Romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua. El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores.

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 París empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas.

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.

3. CONTAMINACION DEL AGUA

Por otro lado, la contaminación hídrica generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales.

Aunque la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales, como la ceniza de un volcán, la mayor parte de la contaminación actual proviene de actividades humanas. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluvial y marítimo que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas por su petróleo o combustible. Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación de origen antrópico que las aguas subterráneas, por su exposición directa a la actividad humana. Por otra parte, una fuente superficial puede restaurarse más rápidamente que una fuente subterránea a través de ciclos de escorrentía estacionales. Los efectos sobre la calidad serán distintos para lagos y embalses que, para ríos, y diferentes para acuíferos de roca o arena y grava de arena de patos. La presencia de contaminación genera lo que se denominan “ecosistemas forzados”, es decir ecosistemas alterados por agentes externos, desviados de la situación de equilibrio previa obligados a modificar su funcionamiento para minimizar la tensión a la que se ven sometidos.

4. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA

Los contaminantes del agua se pueden clasificar de diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos:

Microorganismos patógenos: son los diferentes tipos de microorganismos (bacterias, virus, protozoos y otros organismos microscópicos) que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en esta agua peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda biológica de oxígeno).

Sustancias químicas inorgánicas: en este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos: Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua con mal olor e inutilizable.

Compuestos inorgánicos: Muchas moléculas inorgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Sedimentos y materiales suspendidos: Muchas partículas desprendidas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.

Sustancias radiactivas: Hay isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando al largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

Contaminación térmica: El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

5. APLICACIONES DE NANOTECNOLOGIA CON AGUA EN EL MUNDO

La aplicación ambiental de la NT que nos ocupa en el presente artículo es aquella relacionada con el tratamiento de aguas para su a) purificación/desinfección; b) descontaminación de aguas residuales “municipales” (domésticas) e industriales (textil, petroquímica, automotriz, metalúrgica, minera, bebidas); c) desalinización; d) tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios; e) sensores de calidad del agua. Algunas de las nanotecnologías que se están desarrollando y usando internacionalmente para el tratamiento de aguas incluyen:

Nanosemiconductores para fotocatalisis, nanobiopolímeros, zeolitas nanocristalinas, membranas nanoreactivas y/o nanofiltrantes, nanoarcillas, nanocatalizadores, nanopartículas (NPs) magnéticas, nanosensores, nanopelículas, nanotubos de carbono, dendrímeros, NPs-fotocatalizadoras, poliméricas, con enzimas, de metal (de hierro cerivalentes o titanio), entre otras

(Mittal, 2012; Theron et al., 2010; Mahapatra et al., 2010; Meridian, 2006; Watlington, 2005).

Esta diversidad de tecnologías, así como la capacidad de sintetizar nanomateriales (NMs) con características específicas, hace posible incluirlas en los sistemas de potabilización o tratamiento secundario y terciario, diseñándose módulos con NT para eliminar contaminantes indeseados, como arsénico, flúor, metales pesados (cobalto, zinc, plomo, cadmio, mercurio), hidrocarburos, agroquímicos, fármacos u otros tipos de contaminantes emergentes.

El tema del agua es de tal importancia y su recuperación y tratamiento a través de NT tan prometedor que en muchos países existen ya grupos especializados en estas líneas de investigación. Algunos ubicados en los sectores públicos son: el Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN) de la Universidad de Rice, Estados Unidos, donde han desarrollado NPs magnéticas de óxido de hierro para la extracción de arsénico; la University of Central Florida en Orlando, sede del desarrollo de NPs de hierro y magnesio para una mayor degradación de metales pesados y solventes orgánicos; La Stillwater University en Oklahoma, donde se sintetizan polímeros de nanoesferas para detectar materiales peligrosos en ambientes acuáticos (Schmidt, 2007). Para los llamados “países en desarrollo”, la India sería el representante con la creación de filtros domésticos con nanopartículas de plata (AgNPs) para eliminar pesticidas (PEN, 2007).² En la iniciativa privada hay también quienes desarrollan estas tecnologías. Ejemplos de ello son: El VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. en Finlandia, que desarrolla tecnologías para el tratamiento de aguas incluyendo NTs, y Nanostruck Technologies Inc. (antes Blue Gold Water Technologies Ltd.) una empresa de Canadá que también desarrolla tecnologías “a la medida” para el tratamiento de descargas industriales (tequileras, herramientas, calzado), jales de minas, remoción de metales pesados e incluso el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

Otra línea de investigación derivada de la relación NT y agua es aquella que se enfoca en el efecto de los NMs en organismos acuáticos, así como los efectos de utilizar NTs para el tratamiento de aguas en plantas de tratamiento (Keller, 2012; Weinberg et al., 2011; Farré et al., 2011; Pérez, et al., 2009; Luoma, S. 2008; Hillie, 2006). Se habla de tres formas principales en que los NMs pueden terminar en los cuerpos de agua: 1) fuentes puntuales; 2) fuentes dispersas, cuando productos de consumo que contiene NMs los liberan al ambiente (aire, suelo y agua) y éstos son lavados, y, 3) descargas de plantas de tratamiento.³

Un ejemplo de NPs que ingresan a medios acuáticos son los utilizados en textiles,⁴ suelen llegar a los cuerpos de agua a través de las descargas de la industria textil que las usa o de efluentes de lavanderías de hospitales u hoteles (Rezic, 2011; Som et al., 2011). Las NPs más frecuentes en medios acuáticos son de plata (Ag), el dióxido de titanio (TiO₂), el óxido de zinc (ZnO) y los nanotubos de carbono (NTC),⁵ y por lo mismo son de los más estudiados en cuestión de toxicidad ambiental y humana⁶ (Faunce y Watal, 2010; Som, 2011). De acuerdo con varios estudios (ver recuadro) las NPs de ZnO causan mayores efectos negativos como el de inhibir el crecimiento de los productores primarios, las algas.

6. APLICACIONES DE NANOTECNOLOGIA EN AGUAS DE COLOMBIA

En Colombia no es claro o no existe suficiente información si se ha utilizado la nanotecnología con el fin de descontaminar fuentes hídricas, ya que, si se ha tenido en cuenta para diferentes problemas como marcapasos y en general para fines de tratamientos médicos, aunque existen algunas empresas que dicen contar con sistemas que lo contienen, todos ellos de origen extranjero (Hasars Grupo Ecologico, Bio-DAF, TSSI). Expuestos ya los grandes beneficios de la NT para purificar y eliminar ciertos contaminantes del agua y la necesidad de mejorar los sistemas y procesos de tratamiento primario, secundario y terciario en nuestro país no es extraño que ya se esté usando o que en poco tiempo sea así. Hay también un escaso número de investigadores que investigan el efecto del uso de estas NT y NMs en ambientes acuáticos (Cuevas, 2014 com, per.).

7. POTENCIAL DE LA NANOTECNOLOGIA

A diferencia de otras tecnologías, que han nacido directamente de una disciplina científica concreta, la nanotecnología abarca un amplio abanico de áreas de estudio. En esencia, se define por la escala en la que opera: la nanociencia y la nanotecnología suponen estudiar y trabajar con materia a escala ultra pequeña. Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro y un solo cabello humano tiene unos 80.000 nanómetros de ancho. [3] Es difícil hacerse una imagen visual del tamaño, pero para tener una idea, si la distancia que hay entre el Sol y la Tierra fuera de un metro, un nanómetro sería lo que ocuparía una cancha de fútbol.

Los materiales trabajados a escala nanométrica suelen tener propiedades ópticas o eléctricas distintas a los mismos materiales manipulados a escala micro o macro. Las nanotecnologías podrían paliar los problemas del agua si resuelven los retos técnicos que presenta la remoción de contaminantes como bacterias, virus, arsénico, mercurio, pesticidas y sal. Muchos investigadores e ingenieros sostienen que las nanotecnologías ofrecen alternativas más económicas, eficaces, eficientes y duraderas, en particular porque el uso de nanopartículas para el tratamiento de aguas permitirá que los procesos de fabricación contaminen menos en comparación con los métodos tradicionales y porque se necesita menos mano de obra, capital, tierra y energía.

8. CATALIZADORES, IMANES Y DETECTORES NANO

Los nanocatalizadores y las nanopartículas magnéticas son otros ejemplos de cómo la nanotecnología podría transformar el agua muy contaminada en agua apta para consumo, saneamiento y riego. Los nanocatalizadores deben sus mejores propiedades catalíticas a su diminuto tamaño o al hecho de ser modificados a escala nanométrica. Las nanopartículas magnéticas ocupan grandes superficies en proporción a su volumen y se unen con facilidad a sustancias químicas. En las

aplicaciones destinadas al tratamiento de aguas, pueden utilizarse para unirse a contaminantes como el arsénico o el petróleo y luego ser eliminadas mediante un imán. Varias empresas comercializan este tipo de tecnologías y los científicos publican a menudo nuevos descubrimientos en el área.

Por ejemplo, científicos de la Universidad de Rice, de Estados Unidos, emplean "nano óxido" para eliminar el arsénico del agua potable. [10] La amplia superficie del nano óxido permite capturar cien veces más arsénico que si se emplea óxido manipulado a una escala mayor. El equipo prevé que una dosis de entre 200 y 500 miligramos de nano óxido alcanza para tratar un litro de agua.

Además de servir para tratar el agua, la nanotecnología es capaz de detectar contaminantes transportados por ella. Los investigadores desarrollan nuevas tecnologías de sensores que combinan la micro y la nanofabricación para la creación de sensores pequeños, portátiles y ultraprecisos, que pueden detectar en el agua células individuales de determinadas sustancias químicas y bioquímicas.

9. HISTORIA

La historia de la nanotecnología en Colombia se puede considerar reciente, ya que antes de cinco años ésta se fundamentaba principalmente en trabajos más a título personal de investigadores interesados en la temática, que a nivel gubernamental y de perspectiva de centros de investigación y universidades. Los inicios de la inclusión de la nanotecnología por parte del gobierno colombiano comienzan en el 2004 cuando Colciencias selecciona el área de "Nanotecnología y Materiales Avanzados" como una de sus ocho áreas estratégicas para el desarrollo de la productividad y competitividad colombiana.

En el 2005, se creó el Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología impulsado por la Sección Colombia del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), y a continuación se instaló una red de investigación y desarrollo de nanotecnociencias en centros educativos como la Universidad Javeriana, Universidad de San Buenaventura, Universidad del Bosque, Universidad Distrital, y Universidad Santo Tomás.

De la misma manera se contempla la importancia en el "desarrollo y la adopción de las llamadas tecnologías convergentes" en el texto Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 elaborado por el Departamento Nacional de Planeación DNP y la "nanociencia y nanotecnología" en el texto del Plan Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación 2007-2019 elaborado por Colciencias en el año 2006.

En cuanto a adopción e incorporación de la nanotecnología en la educación básica y media en Colombia, no se ha encontrado información. En las universidades, ha sido reciente la aparición de la nanotecnología y se presenta esta asignatura en algunos programas de pregrado, como en ingenierías, física y química, así como a nivel de especializaciones maestrías y doctorados en diversas áreas.

10. METODOLOGÍA

Lo primero fue hacer un trabajo bibliográfico en internet. En este se llevaron a cabo búsquedas de temas como: nano + agua + tratamiento de agua, potabilización; búsquedas en páginas de instituciones académicas que trabajan NT; redes de NT e investigadores en el tema; la consulta de información bibliométrica, para identificar actores científicos en el tema; y la búsqueda de artículos científicos de investigadores sobre NTs con aplicaciones en agua; se identificaron investigadores que trabajaran en esta línea para sí poder tomar su opinión acerca de este tema.

Resultados

A continuación, se tomaron opiniones de 19 investigadores, los cuales se encuentran en estas instituciones: UAM-Iztapalapa, IPN, UdeGto., CIMAV, IPICYT, UANL, BUAP, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Instituto Tecnológico de Toluca (ITT), Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Las líneas específicas de investigación en las cuales trabajan los investigadores son:

nanocatalizadores (8), nanopelículas (6), nanoarcillas (4), NPs magnéticas (3), membranas nanofiltrantes (2), fotocatalizadores, nanoesferas sólidas semiconductoras, materiales adsorbentes a base de NPs metálicas, materiales tipo hidrotalata (HDL), hidróxidos doble laminares, nanozeolita, nanosuavización de aguas y toxicidad de NPs en los procesos de tratamiento de aguas aerobios y anaerobios. Todos estos casos están en etapa experimental, excepto uno en que ya se había incluido como una fase de una planta de tratamiento piloto para una comunidad rural en Puebla, México.

Algunos usos de la NT fueron mencionados: electrodos para purificación de agua; foto degradación y adsorción; fotocatalisis combinada con TiO_2 y ZnO ; degradación de contaminantes fenólicos-fungicidas y colorantes; en forma de polvos para la eliminación de pesticidas, insecticidas, fenoles, polifenoles, fármacos, metales altamente tóxicos como cromo (Cr), arsénico (As), mercurio (Hg), y cadmio (Cd); remoción de cloro fenoles y paracetamol; NPs de óxido de hierro (Fe_2O_3) para la remoción de arsénico; nanosilice para absorber clorofenoles y paracetamol; adsorción de contaminantes de efluentes; nanocatalizadores para la degradación de diclofenaco, y naproxeno, así como para la desinfección de agua (desactivación del parásito *Ascaris suum*); nanozeolitas para eliminar flúor en planta de potabilización en población de menos de 3,000 habitantes. También se habla de una tecnología ya utilizada: nanozeolita en tratamiento de lixiviados de relleno sanitario (Nanostruck/Blue Gold); membranas vibrantes en plantas de tratamiento (New Logic Research Inc.); y de una propuesta para usar NPs para remoción de arsénico en una planta potabilizadora de Guanajuato, Guanajuato.

En específico, los contaminantes mencionados que se pueden tratar fueron: materia orgánica, microorganismos

(bacterias, virus); compuestos orgánicos (fármacos, colorantes, clorados); una gran variedad de contaminantes inorgánicos: metales pesados y metaloides; contaminantes recalcitrantes, compuestos fenólicos, metales en solución como cromo, arsénico, fenol, nitroferol, ácido 2-4 docloroferoxiacético, y flúor. Un investigador dijo que “con las nanotecnologías existentes, se es capaz de eliminar la gran mayoría de los contaminantes que actualmente hay en el agua. Por mencionar algunos, los colorantes, los compuestos fenólicos, algunos fármacos”. Entre los países que se encuentran a la vanguardia con respecto al desarrollo de NT para tratamientos de aguas son:

- Japón
- Estados Unidos
- China
- Alemania
- Rusia
- Francia
- España
- Corea del Sur
- India
- Países asiáticos
- Y algunos países árabes

Con respecto a “los riesgos están, desde el punto de vista biológico, en la cito, fito y geno toxicidad de los nanomateriales. Esto es, afectan a animales y a plantas a nivel de las paredes celulares. Pero, además, una vez dentro de la célula, tienen la capacidad de interferir con el DNA y el RNA de las células, generando modificaciones en los seres vivos a nivel de procesos celulares. Dos factores son importantes en la nanotoxicidad: la concentración de los nanobjetos, y su tamaño...”; “... llegan hasta el pulmón”; “toxicidad en plantas y afectación a microorganismos”; “los metales empleados y subproductos producidos son en ocasiones dañinos para la salud”. “La posible contaminación de nuestros ríos al usarlos como destinos de desechos químicos durante el procesamiento de las nanoestructuras y nanomateriales con reactivos altamente contaminantes como ácidos y bases altamente puras...”

Un investigador expresa que la reacción inicial será “de desconfianza, pero creo que disminuirá cuando se trabaje en una presentación clara, transparente y objetiva de la tecnología usada para ello, y también cuando el beneficio de contar con sistemas de tratamiento efectivos y económicos ayuden a contar con este recurso en los lugares que lo necesiten”.

11. ANÁLISIS

A continuación, se analizarán los factores que influyen en el desarrollo de NT para tratamiento de aguas.

Financiamiento

Por lo general gran parte de los proyectos de investigación son financiados por el estado. Sin embargo, en algunos casos los proyectos son impulsados por inversiones de empresas privadas, para hacer investigación en sistemas que incluyen NTs para el tratamiento de sus influentes industriales, como sucede en otros sectores y aplicaciones de la industria. Esto

indica que a nivel global el fuerte de la investigación se realiza en centros públicos y es financiado con dinero público. Hecho que se refleja en los siguientes testimonios respecto a la inversión privada:

En Colombia no se tiene la cultura, no hay financiamiento para investigación o desarrollo de tecnología. Generalmente la tecnología se compra... porque los vendedores de equipo siempre llevan la ventaja pues ya llegan con un producto terminado, mientras que la investigación requiere de más tiempo. La industria no quiere invertir en investigación, los industriales nacionales quieren que se desarrolle el producto con tiempos muy cortos y con financiamiento público. Por eso existen los proyectos de coinversión.

12. RIESGOS

Partiendo de que un riesgo es la cuantificación de la posibilidad de que ocurra un daño (The Royal Society, 2004) y de que tanto a nivel mundial, como nacional “no hay suficientes estudios sobre la toxicidad y riesgos a la salud y el ambiente”, que tampoco “hay suficientes análisis de ciclo de vida, ni de costo beneficio”, ni “hay estudios del impacto social y económico de la implementación de estas tecnologías.” No podemos cumplir la siguiente afirmación: “...cualquier aplicación de NT debe garantizar un nivel de seguridad ante la exposición de los seres vivos...” y más bien existe una alta posibilidad de padecer “riesgos de enfermedad al realizar un manejo inadecuado de NPs altamente reactivas”. De forma que si bien “existen muchas investigaciones y trabajos relacionados con NT en el tratamiento de agua... aún falta mucho por hacer para llegar a aplicarla en sistemas reales. Una de las grandes preguntas es el efecto toxicológico de los NMs” una vez liberados en los distintos medios (aire, agua, suelo).

Existe “un gran número de riesgos, no sabemos cuáles porque falta inversión para realizar estudios que arrojen información al respecto”. Considerando estos posibles riesgos, y para reducirlo en el caso del tratamiento de aguas, uno de los investigadores propone “el uso de estos materiales en forma de superficies que contienen estas NPs adheridas a alguna matriz que hace más difícil la contaminación del agua tratada con estos materiales”. Recomendación que coincide con aquella otra hecha por The Royal Society (2004: 47) de no usar NPs libres (no fijas a una matriz) para remediación.

13. OPINIÓN DEL PÚBLICO

Se considera que el público colombiano no cuenta con información suficiente y adecuada para opinar al respecto. Es por esto por lo que “hay que difundir un poco más en los medios de comunicación masiva el concepto de NT, tanto los impactos positivos como los impactos negativos”. Por otro, dado las seguras repercusiones económicas, sociales y ambientales es importante considerar la siguiente opinión: “en la toma de decisiones se debería hacer una consulta pública, previamente informando a la gente de los beneficios, riesgos, costos reales; sin embargo, tenemos un gran desconocimiento, entonces ¿cómo podemos decidir si usarla o no?”

14. CONCLUSIÓN

En Colombia ya existe un número considerable de investigadores trabajando sobre el tema de la NT y sus aplicaciones para el tratamiento de aguas, proporcionalmente son aún muy pocos, sobre todos si consideramos que el problema de la contaminación del agua es muy grave en nuestro país y con grandes consecuencias sociales (a salud), económicas y ambientales. Por ello después de haber investigado y analizado el tema en profundidad, llegamos a la conclusión de que la nanotecnología ha sido utilizada en los últimos tiempos como una función primordial de los productos tecnológicos modernos. Hemos aprendido y aprovechado de ella, recordando que muchos de los avances que hoy tenemos como sociedad son gracias a la recién tratada. Con el tiempo la tecnología fue increpando e implementando en nuevos avances, los cuales nos han dado nuevos aportes médicos, sociales, económicos o simplemente de lujos que quizás hoy o más adelante sean imprescindibles para el hombre.

Referencias

- Aschberger, Karin, Micheletti, C., Sokull-Klüttgen, B. y Christensen, Frans M. (2011). Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health — Lessons learned from four case studies. *Environment International*, 37: 1143–1156. doi:10.1016/j.envint.2011.02.005.
- Clarence D. (2007). EPA and nanotechnology: Oversight for the 21st century. *PEN*, 9, mayo. 76.
- Delgado-Ramos, G. C. (2006). Nanotecnología y la disponibilidad de energía y agua en los países del Sur. En Gallina, Andrea; Nuñez J.; Vitorrio C; Montalvo L. F. *Innovaciones creativas y desarrollo humano*. Montevideo, Uruguay: 233-253.
- Faunce, T. y Watal A. (2010). Nanosilver and global public health: International regulatory issues. *Nanomedicine*, vol. 5, núm. 4: 617-632. doi 10.2217/nnm.10.33.
- Farré, M.; Pérez, S.; Kantiani, L.; Barceló D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 27, núm. 11: 991-1007. doi:10.1016/j.trac.2008.09.010.
- Farré M.; Sanchís, J.; Barceló D. (2011). Analysis and assessment of the occurrence, the fate and the behavior of nanomaterials in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 30, núm. 3: 517-527. doi:10.1016/j.trac.2010.11.014.
- GAO (United States Government Accountability Office) (2010). Nanotechnology nanomaterials are widely used in Commerce, but EPA faces challenges in regulating risk. Report to the Chairman, Committee on Environment and Public Works, mayo. U.S. Senate.
- Greenpeace (2007). Nanotechnology. Policy & Position paper. Paul Johnston, David Santillo, John Hepburn, Doug Parr.
- Hillie, T.; Munasinghe, M.; Hlope, M; Deraniyagala Y. (2006). Nanotechnology, water development. *The Meridian Institute*: 44.
- Keller, A.; Garner, K.; Miller, R. J.; Lenihan H. S. (2012). Toxicity of nano-zero valent iron to freshwater and marine organisms. *PLOS one*, agosto, vol. 7, núm. 8, e43983: 10.
- Klöpffer, W. (coord.) (2007). Nanotechnology and life cycle assessment. Workshop organized by EPA. Woodrow Wilson International Center for Scholars & European Commission. Marzo: 37.
- Linares, J. E. (2013). Nanoética: un nuevo campo para viejos problemas del riesgo tecnológico. *Contrastes Revista Internacional de la Filosofía*, vol. XVIII; 339.352.
- Luoma, S. (2008). Silver nanotechnologies and the environment: Old problems or new challenges? *PEN*. 15 septiembre: 72.
- Mahapatra, Alpana; F. Valli y K. Tijoriwala (2010). Nanotechnology for water purification. *Nuclear Desalination* 4: 49-57. <http://www.eurekalert.org/pub_releases/2010-07/ip-nfw072810.php>.
- Meridian Institute (2006). Global dialogue on nanotechnology and the poor: Opportunities and risks (GDNP). Organizado en octubre de 2006, en Chennai, India. Workshop summary.
- Mittal, T. (2012). Significant manipulations of nanotechnology in water purification. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, vol. 1, núm. 1, octubre, 7p.
- Pérez, S., Farre M., Barcelo, D. (2009). Analysis, behavior and ecotoxicity of carbon-based nanomaterials in the aquatic environment. *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 28, núm. 6: 820:832.
- Project on Emerging Nanotechnologies (2007). *Nanofrontiers Developing Story: Nanotechnology and Low- Income Nations*, núm. 2, verano: 10.
- Rezic, I. (2011). Determination of engineered nanoparticles on textiles and in textile wastewaters. *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 30, núm. 7: 1159-1167.
- Schmidt, K. (2007). Green nanotechnology: Easier than you think. *PEN*, 8, abril: 36.
- Som, C., Wick, P., Drug, H., Nowack, B. (2011). Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and façade coatings. *Environment International* 37: 1131–1142.
- Suellen, K., (2008). Room at the bottom? Potential state and local strategies for managing the risk and benefits of nanotechnology. *PEN*, 11, marzo: 58.
- Theron, Jacques, J. A. Walker y T. E. Cloete (2010). Nanotechnology and water treatment: Applications and emerging opportunities. En Cloete et al. (eds.), *Nanotechnology in water treatment applications*. Caister Academic Press. Norfolk, UK: 1-30.
- The Royal Society (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. 116.
- Watlington, Katherine – EPA (2005). *Emerging nanotechnologies for site remediation and waste treatment*. 55p.
- Weinberg, H.; Galyean, A.; Leopold, L. (2001). Evaluating engineered nanoparticles in natural waters. *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 30, núm. 1: 72-83. doi:10.1016/j.trac.2010.09.006.