

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

## **Una mirada a la nanotecnología y su aplicación ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Por:

Raquel Calcina Mamani

Yasmin Moreno Cusi

Asesor:

Mg. Juan Eduardo Vigo Rivera

**Juliaca, setiembre del 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

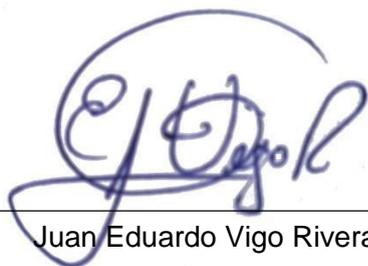
Juan Eduardo Vigo Rivera de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que el presente informe de investigación titulado: **“UNA MIRADA A LA NANOTECNOLOGÍA Y SU APLICACIÓN AMBIENTAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CONSUMO HUMANO”** constituye la memoria que presentan la estudiante Yasmin Moreno Cusi y la estudiante Raquel Calcina Mamani para aspirar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 15 días del mes de setiembre del año 2020.



---

Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 09 día(s) del mes de Setiembre del año 2020 siendo las 9:30 horas  
 se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) MSc. Rose Adeline Ballata Chura el (a)  
 secretario(a): Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez y los demás miembros:  
MSc. Hernan Romulo Apaza Porto  
 y el(la) asesor(a) Ing. Juan Eduardo Vigo  
Rivera



con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Una mirada a la nanotecnología y su aplicación ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano"

de los (las) egresados (as): a) Raquel Balcina Mamani  
 b) Jasmin Moreno Cusi

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental  
 (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por los candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Raquel Balcina Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Buena</u>

Candidato/a (b): Jasmin Moreno Cusi

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Buena</u>

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ..... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

# Una mirada a la nanotecnología y su aplicación ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano

## A look at nanotechnology and its environmental application in the treatment of water for human

Moreno Cusi Yasmin<sup>1</sup> Calcina Mamani Raquel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EP de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

### Resumen

El objetivo de este artículo es revisar la aplicación de la nanotecnología en el tratamiento de aguas para consumo humano; esta revisión abarcó un análisis bibliométrico de publicaciones científicas; revisión de normativas nacionales e internacionales, metodologías de obtención de material nanométrico. Se justifica en la relevancia la difusión de información de tecnologías que aporten al desarrollo de soluciones innovadoras para el tratamiento de aguas para consumo humano.

La nanotecnología es la manipulación de materiales en escala nanométrica, facilitando el ensamblaje de átomos y moléculas según especificaciones exactas; en los sistemas de tratamiento de aguas es aplicable en etapas como: potabilización, desalinización, desinfección, depuración, etc.

Su aplicación es funcional, eficiente y de bajo costo energético y para la obtención de nanomateriales los más usados son los métodos "TOP – DOWN". A nivel nacional en investigación de la nanotecnología aplicada en el tratamiento de aguas para consumo humano, representa el 62.5, 25.0 y 12.5% para remediación - purificación, detección – filtración y desalinización respectivamente. Existe incertidumbre sobre posibles efectos nocivos de la nanotecnología, y actualmente el Perú no cuenta con normas que regulen su aplicación y se recurren a las normativas internacionales.

*Palabras clave: Nanotecnología, nanomateriales, tratamiento de aguas, agua para consumo humano.*

---

### Abstract

The objective of this article is to review the application of nanotechnology in water treatment for human consumption; this review included a bibliometric analysis of scientific publications; review of national and international regulations, methodologies for obtaining nanometric material. It is justified in the relevance of the information dissemination of technologies that contribute to the development of innovative solutions for water treatment for human consumption.

Nanotechnology is the manipulation of materials in a nanometric scale, facilitating the assembly of atoms and molecules according to exact specifications; in water treatment systems it is applicable in stages such as: potabilization, desalination, disinfection, purification, etc.

Its application is functional, efficient and of low energy cost and for obtaining nanomaterials the most used are the "TOP - DOWN" methods. At national level in research of nanotechnology applied in water treatment for human consumption, it represents 62.5, 25.0 and 12.5% for remediation - purification, detection - filtration and desalination respectively. There is uncertainty about the possible harmful effects of nanotechnology, and currently Peru does not have regulations governing its application and international standards are used.

*Keywords: Nanotechnology; nanomaterials, water treatment, water for human consumption.*

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia: Moreno Cusi Yasmin  
Km. 6 Carretera Arequipa. Villa Chullunquiani.  
Tel.: 950218763  
E-mail: yasmin.mc@upeu.edu.pe<sup>1</sup>

## 1. Introducción

La nanotecnología se define como la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas, con el control de la forma y tamaño en escala nanométrica (CONCYTEC, 2009). Dentro del campo de la investigación posee importancia, gracias a su variada aplicabilidad y eficiencia, lo cual abre posibilidades, para el desarrollo de las áreas científicas, tecnológicas y económicas, pues se dirigen al planteamiento de soluciones innovadoras a problemas ambientales y otros enfrentados por la humanidad (Magaña, 2015). Por ende es vital conocer y actualizarse en temas de desarrollo y avance en nanotecnología y nanomateriales con especial atención en los potenciales y las limitaciones que implica su aplicación en el tratamiento de aguas (Castillo, 2017).

El agua, es un recurso escaso, para muchos países en especial en Medio Oriente, la oferta no satisface la demanda (FCM, 2016). Sometida a las presiones del cambio climático y del crecimiento demográfico, el agua se convertirá en un recurso aún más escaso, sobre todo en las regiones en desarrollo, donde incluso el agua disponible suele no ser apta para el consumo humano (Serrano, 2010), el alcance de las consecuencias de este problema, llega desde afecciones a la salud humana, daños a ecosistemas y degradación de la calidad en las fuentes de agua (Sánchez, et al., 2017). Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) en el 2017 aproximadamente 3.3 millones de personas en el mundo mueren por las diarreas causadas por E. Coli, cólera, infecciones bacterianas, salmonella, patógenos virales, y parásitos en el agua, también se estima que cerca del 80% de las enfermedades en los países en desarrollo, tienen relación directa con la falta de saneamiento y pobre calidad del agua disponible, así mismo a nivel mundial de 17 a 19 millones de personas no cuentan con acceso a agua potable ni saneamiento básico. La ONU (Organización de las Naciones Unidas) considera este problema dentro de los Objetivos de desarrollo de este Milenio, proponiendo que desde el 2015 se reduzca a la mitad la cantidad de personas carentes de acceso sostenible al agua potable (Gómez, 2019).

Una solución económica pondría énfasis en la importancia de la reglamentación, las instituciones y la apertura de los mercados; por su parte, el enfoque tecnológico se centraría en el diseño de bombas de agua, sistemas de filtración o aplicaciones novedosas, por ejemplo, de tipo nanotecnológico (CONCYTEC, 2010). La nanotecnología emerge como una interesante alternativa para el tratamiento de aguas, pues la escala de trabajo así como las características de los nanomateriales hacen de la nanotecnología un campo de gran potencial (Chávez Lizarraga, 2018). Hasta el día de hoy se tienen antecedentes que lo respaldan, su aplicación puede potenciar técnicas convencionales que son ya usadas para el tratamiento de aguas, técnicas como: floculación, coagulación y adsorción (Noriega et al. 2012). Así mismo la nanotecnología ha sido usada de manera eficiente, en la remediación de aguas, biorremediación, la remoción de tintas, la absorción de contaminantes, la remoción de metales pesados y en los procesos de filtración (Ramírez, 2012). La escala de trabajo permite resultados precisos y según especificaciones exactas requeridas. En aplicaciones como la filtración de aguas, implicaría que se podría modificar o ajustar filtros y otros materiales de acuerdo a las necesidades, por ejemplo: metales pesados, toxinas de origen biológico, restos de aguas contaminadas por industrias y otros (Grimshaw, 2009).

El objetivo del presente artículo es revisar el panorama de aplicación de la nanotecnología en el tratamiento de aguas para consumo humano, partiendo de conceptos básicos, describiendo diferentes procesos y métodos de obtención, así como su aplicación en el tratamiento de aguas a nivel internacional y nacional, también sobre las ventajas y desventajas de los mismos, los efectos nocivos de los nanomateriales y su regulación legal.

### 1. Desarrollo o Revisión

#### 1.1. Conceptos básicos

##### 1.1.1. Nanotecnología

La manipulación de los materiales se realiza a escala atómica y molecular, esto representa a combinar artificialmente átomos y moléculas para desarrollar partículas que tengan funciones nuevas y eficientes, en ventaja a las que se constituyen de mayor tamaño; es por ello que las nanopartículas se trabajan en una dimensión hasta de 100 nanómetros, siendo los tamaños comunes de los nanomateriales de 300 y más nanómetros; de allí surge el término nanómetro, siendo este una unidad de medida el cual es la millonésima parte de un milímetro (Noela & Bejarano, 2012).

#### 1.2. Campos de aplicación

En la tabla 1 se presenta los principales campos de aplicación, así como los principales aplicaciones y materiales usados de la nanotecnología.

**Tabla 1***Principales aplicaciones y materiales usados de la nanotecnología.*

Ítems	Campo	Nanomateriales	Uso	Autores
1	Medicina	Nanorobot, medicamento nano encapsulado.	Diagnóstico y terapias.	Madrid & Jesús (2014)
2	Textil	Estructuras nanométricas,	Hilados, tejidos, indumentarias médicas.	Pardo & Milagros (2017)
3	Productos farmacéuticos	Nano-sensores, nano-cerámica	Embalajes para alimentos y productos farmacéuticos.	Talavera et al. (2018)
4	Industria alimentaria	Semillas nanoencapsuladas, nanomateriales orgánicos	Agricultura y la ganadería.	Tapia (2017)
5	Ambiental	Nanoparticulas	Aplicación en el Agua, aire y suelo.	Alarcón (2014)
6	Otras Aplicaciones	Nanoparticulas	Cosmetológica, higiene, electrodomésticos y pinturas.	Guerra (2012)

### 1.2.1. Campo ambiental

En el campo ambiental, el desarrollo y aplicación de la nanotecnología, de manera general incluyen el uso de las nanopartículas para atrapar contaminantes en el agua, suelo y aire o para mejorar los sensores de emisiones de gases, tal y como lo demuestra el proyecto de investigación Nanogas, respaldado por la Unión Europea (UE) (López et al., 2018). En la siguiente tabla se muestran los métodos de aplicación nanomateriales, aplicables esos rubros:

:

**Tabla 2***Ámbitos aplicativos de la nanotecnología en la ingeniería*

N°	Remediación	Aplicación	Método de aplicación
1	Aire	Aire con sustancias contaminantes	Barreras reactivas permeables y otros
2	Suelo	Tierras contaminadas con petróleo y metales pesados	Nanomateriales encapsuladores y otros
3	Agua	Remediación de agua	Filtros, coaguladores, etc.

Fuente: López et al. (2018).

Dentro del marco de aplicación de la nanotecnología en la ingeniería ambiental, es importante resaltar que existen riesgos inherentes, pues aún no están determinados los impactos ni ambientales ni en la salud humana, la información actual acerca de la toxicidad, recorrido y destino de las nanopartículas aún es incierta, debido a su tamaño, pueden extenderse y acumularse en los organismos vivos y dañar el equilibrio ecosistémico; en este punto la nanotoxicología surge como una nueva disciplina relacionada a la nanotecnología (Folaori, 2012).

### 1.2.2. Campo ambiental en el tratamiento de aguas para consumo humano

En el contexto actual el abastecimiento de agua potable continúa siendo una necesidad de primer orden, que también cobra mayor relevancia si consideramos el impacto social y económico en regiones donde este elemento es escaso o incluso inexistente. Las potenciales aplicaciones de la nanotecnología, en la potabilización del agua, son insospechadas; podría por ejemplo, ser factible utilizar nanopartículas para capturar elementos tóxicos de una manera eficaz y de muy bajo costo energético (Solarte et al., 2006).

Para una mayor visión de la aplicación de este estudio, es necesario contar con la ayuda de más y variados estudios, dependiendo de las necesidades de cada futuro cliente; por ejemplo, es necesario hacer un barrido completo de los elementos más comunes presentes en las aguas en fuentes de abastecimiento; la propuestas que usa nanotecnología, por el momento se presentan como un nuevo método muy eficaz y de bajo costo energético (Flores et al., 2011).

Pues la capacidad de concretizar las funciones de los nanomateriales permite el desarrollo de variadas nanotecnologías, de las cuales se detalla, su aplicación y ventajas en la siguiente tabla:

**Tabla 3***Aplicación y ventajas de la Nanotecnología.*

Campo	Nanotecnología desarrollada	Aplicación	Ventajas
Aguas subteraneas	Hierro de cerivalente (ZVI)	En la recuperación de aguas subterráneas	Son de larga duración, los subproductos no son tóxicos, y suele ser altamente eficaz.
Desinfección y nanofiltración	Fibras de alúmina Metales, semiconductores	Se usan en la desinfección, nanofiltración Desalinización, desinfección y nanofiltración.	Posee alta adsorción, resistencia mejorada a la obstrucción. Reconocidos como métodos funcionalmente seguros.
Aguas Residuales	Membranas, arcillas / zeolitas	En el tratamiento de aguas residuales, su depuración, desalinización.	Amplia área superficial, selectivo para contaminantes de la industria química.
Reciclaje y Remediación	Cápsula	Aplicables en las aguas residuales, reciclaje y remediación.	Es reutilizable.
Remediación	Perlas, resinas	Remediación	Deja pocos residuos sólidos, posee absorción rápida y puede ser reutilizable.
Purificación	Nanotubos	Purificación, tratamiento	Pueden ser diseñados selectivamente.
Aguas Residuales	Dendrímeros	Aguas residuales, remediación y filtración	Alta capacidad para los metales, capaz de auto ensamblarse
Desinfección	Compuestos	Tratamiento	Amplia superficie y capacidad de absorción

Fuente: Adaptado de INN Ruta, 2016.

### 1.3. Nanotecnologías desarrolladas a nivel nacional

Aunque con referencia de otros países de Latinoamérica, el Perú no posee gran investigación en el desarrollo de nanomateriales, existen antecedentes de desarrollo y aplicación de nanotecnologías desarrolladas a nivel nacional, a continuación se detallan en la siguiente tabla y en seguida el gráfico de porcentualización de acuerdo a las áreas de aplicación:

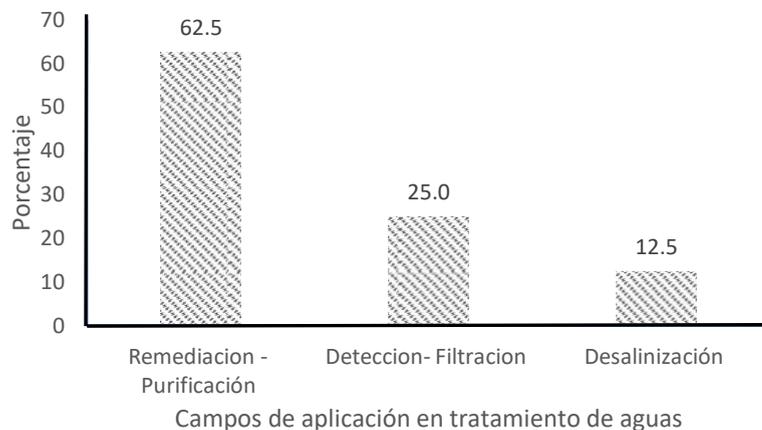
**Tabla 4***Investigaciones realizadas y el área de aplicación de nanotecnologías y agua, período 2012-2019*

Nº	Nanomaterial	Aplicación	Autor
1	Nanopartículas de ferrofluidos	Remoción de mercurio	Madrid Rivera, Tatiana de Jesús (2014)
2	Nanoarcilla montmorillonita	Remoción de plomo	Cisneros Gómez, Jacky Milagros(2019)
3	Nanotecnología con ozono	Reducción de Cianobacterias	Pardo Rodríguez, Milagros Tatiana(2017)
4	Nanocomposito arcilla - carboximetilquitosano - nanopartículas de plata en filtros	Eliminación de bacterias y aniones	María Elena Talavera Núñez, et al.(2018)
5	Micro-Nanoburbujas (MNBs) de aire	Reducción de salinidad	Tapia Chauca, Johana Domitila(2017)
6	Nanorods de óxido de zinc	Desinfección del agua	Alarcón Alvarado, Julio Enrique(2014)
7	Nanomateriales de bentonita, caolinita y dolomita)	Remoción de metales pesados	Guerra Alarcón, Alfredo Hiyagon Arroyo, Genevieve Valeria(2012)
8	Nanopartículas de plata sintetizadas con Rosmarinus officinalis	Reducción de los microorganismos en el agua	Feijoo Carrillo, Cecilia Paola(2018)

Fuente: Adaptado de Acceso libre a información científica para la innovación y red de repositorios latino americanos (2019).

**Figura 1**

Porcentajes de las nanotecnologías de acuerdo al área de aplicación



Fuente: Adaptado de Acceso libre a información científica para la innovación y red de repositorios latino americanos (2019).

#### 1.4. Nanotecnologías desarrolladas a nivel Internacional

Así también la nanotecnología ha sido desarrollada en diversas organizaciones a nivel internacional como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5**

Investigaciones realizadas y el área de aplicación de nanotecnologías y agua, período 2004 - 2019

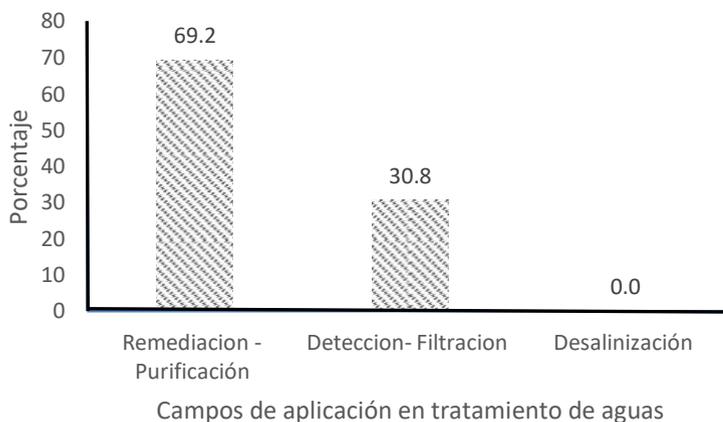
Nº	Nano material	Aplicación	Organización
1	Nanopartículas magnéticas de óxido de hierro	Remoción de arsénico	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos- CEQIATEC
2	Nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia sp. y su incorporación	Desinfección de aguas	Centro de investigación de Química aplicada.
3	Nanopartículas de base hierro	Mitigación de metales pesados en colas de minería	Centro Argentino de Enseñanza de la Ingeniería
4	Subproductos de la planta de fique mediante procesos nanotecnológicos	Antibacteriales para el tratamiento de aguas	Universidad Industrial de Santander
5	Nanopartículas de óxidos de hierro	Adsorción de arsénico y fluoruros	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México)
6	Nanopartículas de óxidos de hierro magnético	Tratamiento de aguas contaminadas por fenol	Comisión de Investigaciones Científicas (Argentina)
7	Nanopartículas metálicas	Remoción de metales y metaloides	Corporación de Fomento de la Producción
8	Poliméricos impregnados con micro y nano partículas metálicas	Eliminación de contaminantes presentes en las aguas subterráneas	Universidad Politécnica de Catalunya
9	Carbón activado modificado con las nanopartículas	Remoción del azul de metileno	Universidad Católica de Colombia
10	Nanopartículas de óxidos de manganeso en fibras de fique	Tratamiento de agua contaminada con colorantes	Universidad Industrial de Santander
11	Nanocompuestos basados en nanopartículas magnéticas funcionalizadas con Lacasa	Tratamiento de aguas residuales artificiales, con contenido de tintes azo	Universidad de los Andes
12	Carbón activado modificado con nanopartículas de hidro(óxidos) de hierro.	Remoción de arsénico	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
13	Filtración de agua recubierto con nanopartículas de plata	Desinfección de aguas	Universidad Militar Nueva Granada y Universidad Estadual de Campinas

Fuente: Adaptado de Red de repositorios latino americanos y et al. (2019).

De acuerdo a Castañeda (2018) las investigación de nanotecnología en tratamiento de agua para consumo humano las clasifica en tres categorías remediación – purificación, detección – filtración y desalinización; tal como se presentan en las figuras 1 y 2.

**Figura 2**

*Investigaciones realizadas en nanotecnología en tratamiento de agua a nivel nacional (2004 – 2019)*



Fuente: Adaptado de Red de repositorios latino americanos et al (2019).

### 1.5. Metodologías de obtención de Nanopartículas

En la actualidad existe una gran cantidad de investigaciones en el mundo para perfeccionar afinar y descubrir técnicas experimentales que produzcan nano materiales.

Sin embargo para generar materiales en dimensión nanométrica se distinguen dos alternativas ya establecidas:

- 1) Top-down «de arriba hacia abajo»: técnica que desarrolla las nanoestructuras “grabando” un bloque de material (Rao et al., 2004).
- 2) Bottom-up «de abajo hacia arriba»: técnica en la que los materiales nanoestructurados se producen a partir de “nanobloques” de átomos o moléculas. (Schmid, 2004).

Estas dos aproximaciones, categorizan las metodologías de la siguiente manera:

#### 1.5.1. TOP – DOWN:

Consiste principalmente en la aplicación de métodos físicos para lograr la división de la materia sólida en partes más pequeñas, usualmente incluye prácticas como el desgaste, evaporación térmica, implantación de iones, y la molienda o activación mecano química involucrar la molienda o el desgaste (Zanella, 2014).

**Tabla 6**

*Resumen de métodos Top Down en fase Solida.*

Sistema de molienda	En seco
	En húmedo
Método mecánico-químico	<b>Molienda +Ultrasonidos</b>
Método Químico	<b>Deposición química de vapor (CVC: llama, plasma, láser, horno eléctrico)</b>
	<b>Descomposición térmica</b>

Fuente: Adaptado de Zanella (2014).

### 1.5.2. BOTTOM-UP

Esta aproximación de metodologías explica que la fabricación de nanopartículas, se realiza mediante procedimientos químicos, con prácticas como la condensación de átomos o entidades moleculares, también mediante el método coloidal, la reducción fotoquímica y radiolítica, irradiación con microondas, la utilización de dendrímeros, la síntesis solvotermal y el método sol-gel ya sea dentro de una fase gaseosa o en solución. Este enfoque es el más conocido y practicado en la síntesis de nanopartículas (Zanella, 2014).

**Tabla 7**

Resumen de métodos Bottom Up

En fase sólida	Método físico	<b>Deposición Física de Vapor (PVD) Plasma, calentamiento por inducción, hidrólisis con llama, haz de electrones, láser, epitaxia de haz molecular</b>
		Reducción química Poliol ácido orgánico Borohidrato de sodio
		Azúcar
		Reducción indirecta: Fotoreacción Rayos gamma
		Ultrasonidos
	Método líquido/líquido	Plasma líquido
		Secado por pulverización
		Pirólisis – pulverización
En fase líquida		Síntesis solvotermal
		Síntesis supercrítica
		Sol-gel /gel-sol
		Co-precipitación
	Método de sedimentación	Precipitación alcalina
		Hidrólisis
		<b>Química coloidal</b>

Fuente: Adaptado

de Zanella (2014).

### 1.6. Riesgos de la aplicación de la nanotecnología en el tratamiento de aguas

En la nanotecnología el control y explotación de fenómenos y propiedades de la materia a esta escala, muestran fenómenos y propiedades totalmente nuevas; estos fenómenos se rigen a las leyes de la termodinámica coloidal y sus propiedades están entre los fenómenos mecánicos cuánticos y los mecánicos clásicos, se debe tomar en cuenta que estas nuevas tecnologías pueden acarrear riesgos y peligros en su mal uso (Quirós et al. 2012).

Durante el desarrollo e investigación de la nanotecnología y los nanomateriales, se señalaban las nuevas oportunidades y alternativas, pero también se iba alertado sobre la posibilidad de sus impactos negativos. (Grimshaw, 2009); basado en muchos estudios Rejeski (2005) resumió los potenciales y más posibles riesgos de la nanotecnología:

- Inhalación de partículas insolubles nanoestructuradas y sus efectos, no se tiene ningún antecedente en la comunidad científica. Y a manera general, no existe información sobre el comportamiento de las nanopartículas en el cuerpo humano.
- Las partículas de dimensión nanométrica podrían ser eliminadas de los pulmones mediante rutas no convencionales y afectar otras partes del cuerpo (sistema cardiovascular, hígado, riñones y cerebro). No se sabe mucho sobre el impacto que puedan tener sobre estos órganos.
- Ciertas nanopartículas pueden ser capaces de penetrar la piel, y aunque aún es un área de investigación, se conoce que las posibilidades de penetración son aparentemente mayores para una piel dañada. Los materiales nanoestructurados que se puedan usar en cosméticos y otros productos de la piel puede no ser dañino, pero se requiere mayor estudio.
- Casi no hay información sobre el peligro que puedan significar desde de la ingesta vía aditivos alimentarios o por accidente.
- El impacto de materiales nanoestructurados y productos de origen nano para su lanzamiento en el medio ambiente o el agua es considerada crítica.

Con la consideración de esta situación, en varios países y grupos de países se han iniciado las tareas de diálogo y definición de normas de control, monitoreo y regulación, sin embargo los recursos asignados para el logro de esos objetivos son aún escasos frente a los destinados a la investigación. Y en un estudio del grupo ETC se anota que las relaciones económicas y sociales entre los países del norte y del sur podrían verse afectadas (ETC Group, 2010).

Así que es conveniente señalar que muy a pesar de que las alertas ya existen, los enfoques gubernamentales del riesgo específico a la regulación en nanotecnología parecen quedarse atrás y se registra una percepción de que la velocidad actual está excediendo la capacidad de los reguladores para evaluar el impacto humano y ambiental. (Grimshaw, 2009).

### *1.7. Mercado de algunas nanotecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas*

Las nanotecnologías desarrolladas tienen ya un mercado establecido y creciente, en el 2016, INNRUTA que es una red de Inteligencia Competitiva de Medellín que está conformada por 11 instituciones, publicó algunas aproximaciones, como los porcentajes estimados de posición en el mercado y su expectativa de costos, se detallan en seguida:

- La tecnología dominante en el tema de purificación del agua son las membranas con un estimado del 20% del mercado mundial para el tratamiento del agua y una tasa de crecimiento del 11% así mismo posee una expectativa para el 2010 de \$363 millones USD.
- La expectativa que se tiene para el año 2015, en cuanto a las nanotecnologías en filtración fue del 30% frente a un 6% en irrigación, esto del total del mercado (\$6.6 miles de millones USD).
- Con respecto a los nanotubos de Carbono CNT, en el Mercado global para el 2014 tuvo una expectativa de \$158 millones USD, una proyección de \$169 millones USD en el 2015 y \$670 millones USD para el 2019 con una tasa de crecimiento prometedora del 33.4%.
- Finalmente uno de los segmentos con crecimiento rápido fue la desinfección.

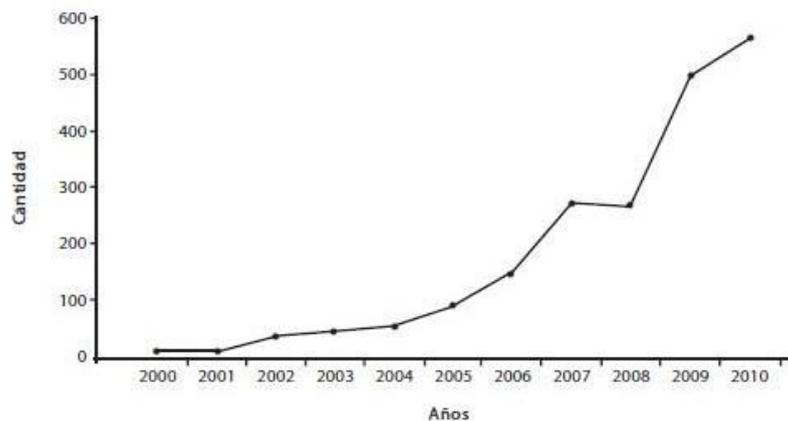
### *1.8. Riesgos a la salud y el medio ambiente de las nanotecnologías*

Hasta hace unos años no se contaba con argumento real de que las nanopartículas conllevaran un riesgo de toxicidad al ser humano y los otros seres vivos (Bejarano et al., 2013). Durante la primera década del siglo XXI se produjo un gran crecimiento de diferentes tipos de nanopartículas, nanoestructuras y nanodispositivos que se fueron incorporando a los productos comerciales (Foladori, et al., 2013). Este rápido avance de la investigación y producción mercantil generó que, poco a poco, se acumulase una gran cantidad de artículos científicos que sugieren propiedades tóxicas en varias nanopartículas, por lo tanto, requieren de un manejo adecuado. (Vásquez, 2015).

El International Council on Nanotechnology (ICON), que es una institución de la Universidad de Rice (Estados Unidos) investiga sobre riesgos que derivan de los nanomateriales, y poseen un banco de información al respecto. De 2000 a 2010 este banco de datos ha registrado un aumento sostenido y creciente de artículos publicados en revistas científicas arbitradas dedicados a analizar los potenciales riesgos de los materiales nanoestructurados.

**Figura 3**

*Curva de distribución de artículos sobre el riesgo a la salud y/o medio ambiente de los nanomateriales (2000 - 2010)*



Fuente: International Council on Nanotechnolog (2012).

La organización: NanoCeo (Nanotechnology Citizen Engagement Organization) registró datos que permiten clasificar los artículos científicos sobre riesgos de los nanomateriales, de dónde se conoce que ya se han acumulado 190 artículos sobre los riesgos de la nanoplastia, así como 176 sobre riesgos de los nanotubos de carbono y 70 respecto a los riesgos del dióxido de titanio, entre otros materiales (USACH, 2016). Ante estos datos que en definitiva no nos deja ignorar la duda sobre la toxicidad de las nanopartículas en el ser humano y el medio ambiente, el panorama sigue siendo complicado, ya que existen nanopartículas de diferentes materiales, combinadas de diversas maneras y que potencialmente exponen a organismos vivos; además cada caso de toxicidad presentado es diferente, y eso genera dificultad para el establecimiento de normas y criterios de regulación (Castañeda et al., 2016).

Los estudios mencionados, concluyen en que muchas nanopartículas tienen un alto grado de toxicidad y que algunas de ellas se comportan de una manera similar que el asbesto (Foladori, et al., 2013). También existe evidencia, de que por el tamaño de las nanopartículas en el aire puedan ser inhaladas, y en lugar de ir a los pulmones, atraviesan directamente hasta los conductos respiratorios, pasando barreras como sangre y llegan al cerebro; también se sabe que muchas de estas nanopartículas pueden pasar fácilmente entre la madre y el feto, e inclusive son capaces de reaparecer en las futuras generaciones porque se biodegradan con lentitud (Castañeda et al., 2016). Las nanopartículas pueden producir procesos electrónicos que generen cortos circuitos en el metabolismo celular; y pueden llegar a dañar y modificar el ADN, debido a su tamaño pueden entrar a las células e interactuar dentro de ellas; aunque muchas de estas comprobaciones han sido realizadas solo en pruebas in vitro en laboratorio, o en animales, y no hay pruebas estadísticas concluyentes de los efectos en los seres humanos (Grimshaw, 2009).

Prácticamente no hay estudios puntuales que analicen los productos con nanocomponentes en el mercado, y que en el caso de representar un riesgo, la población y al medio ambiente ya estaría siendo expuesta, de manera que a pesar de la creciente información, lo que se puede afirmar es solo la existencia de una duda razonable y lógica; esta duda debiera significar la base de una política de precaución; pero esta política aún no existe y el mercado sigue comandando el rumbo (SPM, 2017).

### *1.9. Normativa reguladora en nanotecnología y su aplicación en el tratamiento de aguas*

#### *1.9.1. Normativa reguladora en nanotecnología en América Latina*

Varios de los países en América Latina han incorporado la nanotecnología en el desarrollo de sus políticas públicas, dentro de ellas existe un común denominador, que es el apoyo a la Investigación y Desarrollo de las nanotecnologías mediante la búsqueda de integración a los centros y las universidades públicas con la empresa privada, para potenciar la innovación y la competitividad y en su mayoría estas no toman el contexto mundial (Foladori G., 2016).

Específicamente en el marco de "Políticas públicas", la tendencia de homogenización es clara y tiene ya una larga data (CONCYTEC, 2010). Como antecedente resaltan instituciones internacionales como la Organización de Estados Americanos (OEA), el Banco Interamericano de Desarrollo (bid) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la

Cultura (Unesco) que impulsan políticas comunes en ciencia y tecnología en América Latina; siendo el banco mundial el pionero colaborador en el financiamiento de los proyectos Milenio en nanotecnología; la OEA, con una presión en desarrollo colocando a las nanotecnologías como área prioritaria en sus asesorías a los diferentes países de la región (Foladori et al. 2013).

Aunque no sea posible la homogenización debido a muchas variables condicionante, existen medidas comunes que surgen de puntos compartidos, un ejemplo de este isomorfismo es la declaración de las nanotecnologías como área prioritaria de desarrollo (Figuerola et al. 2012).

En la tabla 1 se muestra el año en que los países señalados comenzaron sus políticas en favor de las nanotecnologías o bien las incluyeron como área prioritaria de desarrollo.

**Tabla 8**

*Instituciones promotoras en Latinoamérica*

<i>Año</i>	<i>País</i>	<i>Institución Promotora</i>
2000	Brasil	Ministerio de Ciencia y Tecnología
2001	México	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
2003	Argentina	Secretaría de Ciencia y Tecnología
2004	Colombia	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
2004	Costa Rica	Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas
2005	Guatemala	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
2005	Ecuador	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
2006	El salvador	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología
2006	Perú	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica
2008	Rep. Dominicana	Secretaría de Estado de Educación Superior, Ciencia y Tecnología
2009	Uruguay	Gabinete Ministerial de la Innovación
2010	Panamá	Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

### *1.9.2. Normativa reguladora de nanotecnología en el Perú*

En el panorama institucional de las políticas de nanotecnología en el Perú, regulaciones sobre las nanotecnologías no son explícitas, ello no quiere decir que no exista una política en torno a ellas; si bien la acción formal del gobierno, escrita y legislada, es una forma de política pública, aquello que no se encuentra legislado ni codificado es también otra forma de política pública (Invernizzi et al. 2015). El no estar declaradas oficialmente, no quiere decir que en un gobierno no se cuente con políticas públicas para un sector como el científico y el tecnológico (Zárate & Rivera C., 2017)

A partir del 2006 existe en el Perú un Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano, PNCTI 2006-2021, el cual se alinea con los objetivos de desarrollo sostenido del país, su objetivo principal es asegurar la articulación y concertación entre los actores del SINACYT, enfocando sus esfuerzos en atender demandas tecnológicas en áreas estratégicas prioritarias, “De esta manera se podría acceder a los se añaden posibles soluciones o recomendaciones del tema planteado, en función del objetivo propuesto, de acuerdo a los alcances y beneficios de la globalización para lograr una mejor calidad de vida para los peruanos, dentro de una sociedad más justa, productiva y solidaria” (CONCYTEC, 2010).

En términos económicos y de divulgación, la nanotecnología en el país ha sido poco o casi nada incentivada, es hasta el 2016 en que el entonces presidente Ollanta Humala promulga el Decreto Supremo (N° 015-2016-PCM) que aprueba la Política Nacional para el Desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica en dicho documento se especifican los principales problemas que tiene la CTI en Perú (El Peruano, 2016).

- Resultados de investigación y desarrollo tecnológico no responden a las necesidades del país.
- Insuficientes incentivos para CTI.

- Insuficiente masa crítica de investigadores y recursos humanos calificados.
- Bajos niveles de calidad de los centros y laboratorios de investigación.
- Deficiente Institucionalidad y gobernanza del SINACYT.

En el mismo año se promulga la Ley de Promoción de la Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (Ley 30309), con la cual se generaría un incentivo para que las empresas puedan deducir hasta 175% de sus gastos en innovación, ciencia y tecnología, de esta manera se apuesta por incentivar la inversión en Investigación y Desarrollo, ello considerando que los indicadores referentes a innovación en el país son los más bajos de la región; el Perú asigna 0.15% del PBI, mientras que el promedio en Latinoamérica es de 0.7%, según el Ministerio de la Producción (PRODUCE, 2018). Y si bien gran parte de este gasto es realizado por el sector público a través de universidades e institutos de investigación, el país está rezagado. Así, le destina 0.08% del PBI, inferior al promedio de la región, que es 0.62%; el Perú se ubica en la posición 119 de un total de 144 naciones en gasto de las empresas, esto obedece a que las firmas destinan solo el 0.3% de sus ventas a este rubro (Contreras, 2012). Todo ello ha contribuido a que actualmente hayan proliferado proyectos en el rubro de innovación que se encuentran financiados con fondos concursables como Innovate Perú (ex-FINCYT), FONDECYT y CONCYTEC dichos proyectos que están relacionados a la Nanociencia, Nanotecnología y sus aplicaciones están siendo desarrollados en diferentes partes del país(Contreras, 2012).

El programa Innovate Perú del Ministerio de la Producción (2017), a través de su página web, anunció que cofinanciará proyectos de equipamiento científico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) para impulsar investigaciones en nanotecnología, a través del Concurso de Equipamiento Científico, dicha universidad se adjudicó de dos proyectos; el primero se titula “Consolidación de la Nanociencia y la Nanotecnología en el Perú: Adquisición del único TEM-STEM-SEM de fácil operación para la caracterización de nanoestructuras y materiales biológicos” y busca la adquisición de un microscopio electrónico que facilitaría el análisis de las propiedades de materiales a nanoescala (CONCYTEC, 2016).

#### **4. Conclusiones**

La aplicación de la nanotecnología en el tratamiento de aguas para consumo humano es funcional, eficiente y de bajo costo energético y para la obtención de nanomateriales los más usados son los métodos “TOP – DOWN”, dentro de esta clasificación la técnica más común es el mecánico – químico.

A nivel nacional en investigación de la nanotecnología aplicada en el tratamiento de aguas para consumo humano, representa el 62.5, 25.0 y 12.5% para remediación - purificación, detección – filtración y desalinización respectivamente.

En el marco normativo, Perú no cuenta con normas que regulen su aplicación; y actualmente se recurren a las normativas internacionales y en Latinoamérica el pionero en normativas es Brasil con la iniciática de su ministerio de ciencia y tecnología en el 2000, siendo también uno de los países con más investigación en inversión en esta tecnología.

## Referencias

- Ovalle Serrano, S. A. (2019). Fique y nanotecnología: de costales y alpargatas a materiales funcionales. Colombia: Memorias Institucionales UIS.
- Talavera Núñez, M. E., Zea Apaza, I., Vera Gonzales, C., Zea Álvarez, J., & Benavente Talavera, L. R. *Aplicación del nanocomposito arcilla - carboximetilquitosano - nanopartículas de plata en filtros para el tratamiento de aguas de consumo de zonas rurales de Camaná, Arequipa*[Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Scielo Perú.
- Alarcón Alvarado, J. E. *Influencia de la irradiación Gamma en la morfología, estructura y eficiencia fotocatalítica de los nanorods de óxido de zinc utilizados en la desinfección del agua*[Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Acceso Libre a Información Científica para la Innovación.
- Ávalos, A., Haza, A. I., & Morales, P. (2016). Nanotecnología en la Industria Alimentaria. *Complutense de Ciencias Veterinarias*, 17.
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., & Andreoli, Y. (2006). Calidad agua para Consumo Humano y Riego en Muestras del Cinturón Horticola de Mar de Plata. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 95-110.
- Cantín, M., Vilos, C., & Suazo, I. (2010). Nanodontología: el Futuro de la Odontología Basada en Sistemas Nanotecnológicos. *International journal of odontostomatology*, 127-132.
- Carrillo Pacheco, Y. M., & Herrera Gutiérrez, J. S. *Remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando nanopartículas magnéticas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*[Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional.
- Castañeda Olvera, J., Foladori, G., León Silva, S., & Robles Belmont, E. (2016). Panorama de la investigación y desarrollo de las nanotecnologías para el tratamiento de agua en México. *Revista Posgrado y Sociedad Universidad Estatal a Distancia*. Obtenido de file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/Dialnet-PanoramaDeLaInvestigacionYDesarrolloDeLasNanotecno-6543781.pdf
- Castillo, J. I. (2017). Nanotecnología para filtración y tratamiento de contaminantes para el tratamiento de contaminantes en el agua. Obtenido de : <https://www.researchgate.net/publication/305316803>
- Chacón Patiño, L. M. *Síntesis In Situ y Caracterización de Nanopartículas de óxido de Manganeso en Fibras de Fique y su Aplicación en el Tratamiento de Agua Contaminada con Colorantes*[Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional.
- Chávez Lizarraga, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a05.pdf)
- Cisneros Gómez, J. M., & Laura Peso, D. E. *Aplicación de superficie de respuesta en la cuantificación y remoción de plomo de aguas residuales empleando nanoarcilla montmorillonita y residuos lignocelulósicos de arroz (Oryza Sativa)*[Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Union]. Acceso Libre a Información Científica para la Invocación.
- CONCYTEC. (2009). *Ministerio de Educación*. Obtenido de Ministerio de Educación: <http://funsepa.net/soluciones/pubs/Njcz.pdf>
- CONCYTEC. (2010). Oportunidades y desafíos de la nanotecnología, para los países en desarrollo: Experiencia creciente en América latina. Obtenido de <http://www.ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/PICTDto7Nanotecnologia.pdf>
- CONCYTEC. (2016). Obtenido de [https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/libro\\_materiales\\_oct.pdf](https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/libro_materiales_oct.pdf)
- Contreras, J. C. (2012). La nanotecnología en el Perú. *Scielo*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3719/371937628001.pdf>
- Díaz Lira, M. E. (2011). Aplicación de nanotecnología para la remoción de metales y metaloides desde aguas de consumo humano. *Corporación de Fomento de la Producción*.
- ETC Group. (2010). *ETC GROUP*. Obtenido de ETC GROUP: [http://www.etcgroup.org/files/publication/pdf\\_file/nano\\_big4web.pdf](http://www.etcgroup.org/files/publication/pdf_file/nano_big4web.pdf)
- FCM. (2016). *Fundación para el Conocimiento Madrid*. Obtenido de Fundación para el Conocimiento Madrid.: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2016/02/24/132448>
- Feijoo Carrillo, P. C. *“Reducción de microorganismos del agua en la zona rural de la Esperanza Alta – Huaral utilizando nanopartículas de plata sintetizadas con Rosmarinus officinalis aplicando química verde”*[Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo]. Red de Repositorios Latinoamericanos.
- Figueroa, S., Foladori, G., Záyago, L. E., & Invernizzi, N. (2012). Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. *Scielo*. Obtenido de [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-45222012000200011](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-45222012000200011)
- Flores, M. E., Molina, Y., Balza, A., Benítez, P. R., & Miranda, L. (2011). Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 259-301.
- Foladori, G. (2016). Políticas públicas en nanotecnología en América Latina. *Revista Problemas del Desarrollo*. Obtenido de file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/1-s2.0-S0301703616300232-main.pdf
- Foladori, G., Bejarano, F., & Invernizzi, N. (2013). Nanotecnología: gestión y reglamentación de riesgos para la salud y medio ambiente en América Latina y el Caribe. *Scielo*. Obtenido de [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1981-77462013000100009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1981-77462013000100009&script=sci_arttext)
- Foladori, G. (2012). Riesgos a la salud y al medio ambiente en las políticas de nanotecnología en América Latina. *Redalyc*.

- García Ferreras, E., & Hernández Martín, P. *Preparación y evaluación de soportes poliméricos impregnados con micro y nano partículas metálicas en la eliminación de contaminantes en aguas subterráneas*[Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC.
- Gómez, W. S. (2019). *Repositorio Universitario UPeU*. Obtenido de Repositorio Universitario UPeU.
- González Forte, L. D., Péres de Berti, I. O., Cagnoli, M. V., & Marchetti, S. G. (2011). Síntesis de nanopartículas de óxidos superparamagnéticos de hierro para utilizar en el tratamiento de aguas contaminadas por fenol mediante el proceso Fenton heterogéneo. *Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM*. Ciudad del Este, Argentina: Repositorio Institucional de Investigaciones Científicas.
- Grimshaw, D. (2009). Nanotecnología para obtener agua limpia: hechos y cifras. En SCIDEV (Ed.). Obtenido de [https://www.scidev.net/americas-latina/agua/especial/nanotecnologia-para-obtener-agua-limpia-hechos-y-cifras.html?cf\\_chl\\_jschl\\_tk=1df33c3e9ac56d0d5405ecf19f10b6878f8be7240-1593118727-0-Acy5FSHtvNku87KjB-3MpOZiBAnYvNWpf6reIk\\_Az5peY9Q4IKacDcpX3tqSjvH5qHvc5CXsx](https://www.scidev.net/americas-latina/agua/especial/nanotecnologia-para-obtener-agua-limpia-hechos-y-cifras.html?cf_chl_jschl_tk=1df33c3e9ac56d0d5405ecf19f10b6878f8be7240-1593118727-0-Acy5FSHtvNku87KjB-3MpOZiBAnYvNWpf6reIk_Az5peY9Q4IKacDcpX3tqSjvH5qHvc5CXsx)
- Guerra Alarcón, A., & Hiyagon Arroyo, V. G. *Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología*[Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Red de Repositorios Latinoamericanos.
- INNRUTA. (2016). *Red de Inteligencia Competitiva*. Obtenido de [https://www.rutanmedellin.org/images/biblioteca/observatorio05\\_TECNOLOGIAS\\_HABILITANTES/VT\\_NANOTE\\_CNOLOGIA-AGUAS\\_ITM.pdf](https://www.rutanmedellin.org/images/biblioteca/observatorio05_TECNOLOGIAS_HABILITANTES/VT_NANOTE_CNOLOGIA-AGUAS_ITM.pdf)
- Invernizzi, N., Foladori, G., Robles Belmont, E., Zayago Lau, E., Arteaga Figueroa, E., Bagattoli, C., . . . Urquijo, W. (2015). Nanotecnologías Dirigidas a Necesidades Sociales. Contribuciones de la Investigación Latinoamericana en Medicina, Energía y Agua. *Sociology and Technoscience*. Obtenido de file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/Dialnet-NanotecnologiasDirigidasANecesidadesSocialesContri-5427804.pdf
- Lechuga, L. (2011). Biotecnología Aplicada a la Salud Humana. En *Nanomedicina: aplicación de la nanotecnología en la salud* (págs. 98-112).
- Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., Padrón, G., . . . Torres, S. (2014). Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia* sp.) y su electrohilado polimérico. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 133 - 140.
- Lizarazo-Salcedo, C., González Jiménez, E., Arias Portela, C., & Guarguati Ariza, J. (2018). Nanomateriales: un acercamiento a lo básico. *Scielo*. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0465-546X2018000200109&lng=es&nrm=iso](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2018000200109&lng=es&nrm=iso)
- Lopez Paraguay, M. Z. *Adsorción de Arsénico y Flururos en Nanopartículas y su Posterior Separación del Agua Tratada*[Tesis de Doctorado, Centro de Investigación de Materiales Avanzados]. Repositorio Institucional.
- López, D. (2017). Nanotecnología aplicada a remediación ambiental: cuatro estudios de caso. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*.
- López, G. D., Mancini, S., & Gervasio, S. G. (2018). Nanotecnología Aplicada a la Mitigación de Metales Pesados en Colas de Minería. *Congreso Argentino de Ingeniería*, 12-21.
- Lopez, G. G. (2015). Nanotecnología aplicada a la remediación ambiental. *ResearchGate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/320069058>
- Lorena, F., Mendoza, I., Díaz, P., Fernández, Y., Zambrano, Á., & Villegas, Z. (2012). Potencial Coagulante de la Tuna *Opuntia Cochinchinensis* (L.) MILL. (Cactaceae) en Aguas para Consumo Humano. *Centro de Investigación Biológicas*, 173 - 187.
- Madrid Rivera, T. d. *Remoción de Hg<sup>2+</sup> por adsorción en nanopartículas de ferrofluidos en el tratamiento de aguas*[Tesis de Licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional.
- Magaña, E. L. (2015). Nanotecnología y el cambio del paradigma energético. *Mundo Nano México*. Obtenido de [www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)
- Medina E., M., E. Galván, L., & Llanes Esquivel, R. (2015). Las Nanopartículas y el Medio Ambiente. *Redalyc*.
- Mejías Sánchez, Y., Cabrera Cruz, N., Ana Margarita Toledo Fernández, & Duany Machado, O. (2017). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/214/21418847006.pdf>
- Moncada, E. (2007). Nanotecnología, Aplicaciones en embalajes para alimentos y Productos Farmacéuticos. *Redalyc*, 8.
- Montoya, N., Montenegro, Y., Chávez Porras, Á., Dos, G., & Isaac de Lima, R. (2014). Estudio de un sistema piloto de filtración de agua recubierto con nanopartículas de plata. *Semilleros*, 105 - 116.
- Noela, I. G., & Bejarano, F. (2012). *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe*. Zacatecas, México.
- Noriega Treviño, M. E., Quintero González, C. C., Guajardo Pacheco, J. M., Morales Sánchez, J. E., & Compeán Jasso, M. E. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531980006.pdf>
- OMS. (2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/topics/drinking\\_water/es/](https://www.who.int/topics/drinking_water/es/)
- Pardo Rodríguez, M. T. *Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017*[Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Acceso Libre a Información Científica para la Innovación.
- Peñaranda, P., Noguera, M. J., & Osma, J. F. (2019). Estudio de Nanocompuestos para el Tratamiento de Agua en Micro - Reactores. *Gram Positivos*, 67 - 70.

- Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología...un mundo pequeño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 125-155.
- Quirós Bustos, N., Scott Chaves, J., Vega, P., & Roa, F. (2012). *repositoriotec.tec COSTA RICA*. Obtenido de repositoriotec.tec COSTA RICA: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6292/aplicaciones-ambientales-nanotecnolog%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, J. L. (2012). *Revista Universitaria UNAM*. Obtenido de Revista Universitaria UNAM.
- Rejeski, D. (2005). *Science and Technology Innovation Program*. Obtenido de Science and Technology Innovation Program: <https://www.wilsoncenter.org/article/environmental-and-safety-impacts-nanotechnology-what-research-needed-david-rejeski-testifies>
- Rojas, R. (2002). *Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima: CEPIS.
- Serrano, J. D. (2010). El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz. *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792010000200004&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792010000200004&script=sci_arttext&tlng=en)
- Solarte, Y., Peña, M., & Madera, C. (2006). Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. *Colombia Médica*, 74-82.
- SPM, S. p. (2017). Nanopartículas modificadas en productos de consumo. *Scielo*. Obtenido de <https://scielosp.org/article/spm/2012.v54n1/78-96/es/>
- Starbird Pérez, R., & Montero Campos, V. (2014). Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano. *Tecnología en Marcha*, 45 - 54.
- Suarez, B. P. (2016). *iAgua*. Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/baltasar-penate/nanotecnologia-tratamiento-aguas>
- Talavera Núñez, M., Zea Apaza, I., Vera Gonzales, C., Zea Álvarez, J., & Benavente Talavera, L. (2018). Aplicación del nanocomposito arcilla - carboximetilquitosano - nanopartículas de plata en filtros para el tratamiento de aguas de consumo de zonas rurales de Camaná, Arequipa. *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2018000400010](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000400010)
- Tapia Chauca, J. D. *Reducción de salinidad de las aguas de la playa San Pedro – Lurín utilizando nanotecnología (Grafenano) a escala laboratorio, 2017*[Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Acceso Libre a Información Científica para la Innovación.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 80-94.
- USACH. (2016). Nanotecnología:Innovación para el tratamiento de aguas. *Repositorio USACH*. Obtenido de [file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/Nanotecnologia\\_Innovacion\\_para\\_el\\_tratam.pdf](file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/Nanotecnologia_Innovacion_para_el_tratam.pdf)
- Vásquez, J. S. (2015). Entre la incertidumbre y el individualismo. Ética científica de la adversidad y nanotecnología en el Perú. *Grupo de Análisis para el Desarrollo, Lima, Perú*. Obtenido de <file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/13862-Texto%20del%20art%C3%ADculo-55198-1-10-20150909.pdf>
- Vitela Rodríguez, A. V. *Remoción de arsénico por medio de carbón activado modificado con nanopartículas de hidro(óxidos) de hierro*. Repositorio IPICYT.
- Zanella, R. (2014). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo Nano*. Obtenido de <file:///C:/Users/HP%20AMD/Downloads/45167-Texto%20del%20art%C3%ADculo-119253-1-10-20140306.pdf>
- Zárate, V. J., & Rivera C., C. F. (2017). Pnamorama Institucional de las Políticas de Nanotecnología en el Perú, 2013-2016. *PyS Administración pública y sociedad*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/328841691\\_Panorama\\_Institucional\\_de\\_las\\_Políticas\\_de\\_Nanotecnologia\\_en\\_el\\_Peru\\_2013-2016?enrichId=rgreq-1fda39d9465a6dfdf3eaf6f1a0c37da1-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODg0MTY5MTtBUzo2OTExNTA5NjQ5MzI2MTdAMTU0MTc5](https://www.researchgate.net/publication/328841691_Panorama_Institucional_de_las_Políticas_de_Nanotecnologia_en_el_Peru_2013-2016?enrichId=rgreq-1fda39d9465a6dfdf3eaf6f1a0c37da1-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODg0MTY5MTtBUzo2OTExNTA5NjQ5MzI2MTdAMTU0MTc5)