



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Físicas**

**Escuela Profesional de Física**

**Nanopartículas metálicas**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

**AUTOR**

Wilmer Ivan RICRA MENDEZ

**ASESOR**

Dr. Justo Alcides ROJAS TAPIA

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

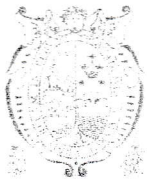
Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Ricra, W. (2018). *Nanopartículas metálicas*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 13:00 horas del sábado 21 de julio de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Mg. Máximo Hilario Poma Torres (Presidente), Mg. José Julián Medina Medina (Miembro), y el Dr. Justo Alcides Rojas Tapia (Asesor), se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M3 – Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

**WILMER IVAN RICRA MENDEZ**

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al Bachiller Wilmer Ivan Ricra Mendez a realizar una exposición del Trabajo de Monografía Técnica titulada: "Nanopartículas metálicas".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Asimismo, se verificó que el promedio obtenido por el bachiller en el VIII Ciclo de Actualización Profesional es de DIECISEIS (16).


Al término de la deliberación del Jurado el Mg. Máximo Hilario Poma Torres, invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

16	17	17
.....	.....	.....
NOTA DEL VIII CAP	NOTA DE LA SUSTENTACIÓN DE LA MONOGRAFÍA	PROMEDIO

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al Consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al Bachiller Wilmer Ivan Ricra Mendez En virtud de haber obtenido un promedio de ~~DIECISEITE~~..... (17). Según el artículo 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Físicas. Siendo las 14:30...Horas, se levanta la Sesión.

  
Mg. Máximo Hilario Poma Torres  
PRESIDENTE

  
Mg. José Julián Medina Medina  
MIEMBRO

  
Dr. Justo Alcides Rojas Tapia  
ASESOR

**Agradecimientos:**

Agradezco al Dr. Justo Rojas (UNMSM) por el asesoramiento en la presente monografía y por los conocimientos brindados desde el pregrado en el área de Física del Estado Sólido.

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
Objetivo General.....	2
Objetivo Especifico.....	2
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>2</b>
3.1 Métodos de síntesis de nanopartículas metálicas.....	2
3.1.1 Top-Down.....	4
3.1.2 Bottom-up.....	6
3.1.3 Métodos Físicos.....	8
3.1.3.1 La evaporación térmica.....	8
3.1.3.2 Deposición química en fase vapor (CVD).....	10
3.1.3.3 La preparación de clústeres.....	12
3.1.3.4 La implantación de iones.....	13
3.1.3.5 La molienda mecánica.....	14
3.1.4 Métodos Químicos.....	16
3.1.4.1 Reducción fotoquímica y radioquímica.....	18
3.1.4.2 Irradiación con microondas.....	19
3.1.4.3 Método sol-gel.....	21
<b>4. PROPIEDADES DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS .....</b>	<b>23</b>
4.1 Propiedades Físicas.....	23
4.2 Propiedades Ópticas.....	26
4.3 Propiedades Químicas.....	27
4.4 Propiedades Mecánicas.....	30

<b>5. APLICACIONES DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS .....</b>	<b>31</b>
5.1 Aplicaciones de las nanopartículas de oro en la medicina.....	31
5.2 Electroodos .....	32
5.3 Sensores.....	33
5.4 Biodetección con Nanometales.....	33
5.5 Celdas Solares.....	35
5.6 Aplicación en la Agricultura.....	36
5.7 Aplicación al agua.....	38
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de técnicas de nanofabricación .....	7
Tabla 2. Propiedades de las nanopartículas.....	25
Tabla 3. Propiedades de las nanopartículas. ....	27

## Lista de Figuras

1. Nanomateriales, mucho más que miniaturización .....	4
2. Métodos de síntesis de nanopartículas Metálicas. ....	6
3. Métodos de síntesis de nanopartículas Metálicas. ....	7
4. Evaporación por calentamiento mediante haz de electrones.....	10
5. Técnicas de deposición química en fase de vapor (CVD).....	11
6. Clusters metálicos.....	13
7. Molino horizontal de bolsas .....	16
8. Oxidation-Reduction Reactions.....	18
9. Síntesis y sinterización asistidas por microondas de sólidos inorgánicos..	20
10. Síntesis y caracterización de nanopartículas de peróxido de Zinc ( $ZnO_2$ ) y su actividad antimicrobiana.....	23
11. Fotocatálisis; proceso esquemático de oxidación, reducción (REDOX).....	28
12. Aplicaciones de las nanopartículas de $TiO_2$ . ....	29
13. Nanobiosensores: Aplicaciones en la frontera entre las nanociencias y la biomedicina” por Luis Liz-Marzán.....	35
15. Nanotecnología y su uso en la Agricultura.....	38



## **RESUMEN**

En este trabajo se dan a conocer los diversos tipos de síntesis de las nanopartículas metálicas, entre ello tenemos los métodos físicos y químicos; también se observa que las propiedades de las nanopartículas dependen de su tamaño; se describen sus diferentes aplicaciones en la medicina, en el tratamiento del agua, etc.

### ***Palabras claves:***

Nanopartículas, Síntesis, Top-Down, Bottom-Up

## **ABSTRACT**

In this work we present the different types of synthesis of metal nanoparticles, among which we have the physical and chemical methods; it is also observed how its nanoparticle properties depend on its size; Its different applications are described in medicine, in water treatment, etc.

### ***Keywords:***

Nanoparticles, Synthesis, Top-Down, Bottom-Up

## 1. INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas (NPs), entendidas como partículas cuyas extensiones por lo menos en una dimensión están en el rango de 1 nm hasta 100 nm, generan en la actualidad gran interés científico debido a que, en esencia, son el puente entre el sistema macroscópico y estructuras atómicas o moleculares. Las NPs son consideradas los bloques de construcción fundamentales de nuevos nanomateriales y la nanotecnología en general. La investigación de nanopartículas (NPs) y nanomateriales es un área de investigación multidisciplinaria de frontera, desarrollado por físicos de materia condensada, ciencia de materiales, fisicoquímicos, biólogos médicos, etc.

El creciente interés es debido a sus novedosas propiedades y su gran potencial de aplicación en diferentes campos tales como la catálisis, electrónicas, remediación del medio ambiente, transporte controlado de fármacos, electrónica, etc. (rios et al, 2015)

Desde la antigüedad era conocido y explotado el comportamiento de algunos nanomateriales, los romanos utilizaban nanopartículas metálicas para colorear vasijas de vidrio. Pero en los últimos años se ha disparado la nanotecnología, convirtiéndose en una fuente de actividad económica cada vez mayor. (Casero et al., Briones, Serena, & Martín, 2014)

En el ámbito científico a través de la nanomedicina se tiene como objetivo resolver problemas de fármacos ya comercializados o desarrollar nuevos fármacos innovadores con ayuda de la nanotecnología. (Mariño, 2017).

El método de reducción de tamaño, tales como molienda, la selección del proceso respectivo depende de la composición química y de las características especificadas de las nanopartículas deseadas. (Aquino-André, 2016)

El objetivo en las nanopartículas metálicas es investigar las síntesis de nanopartículas obteniendo así métodos muy importantes, “top Dow” donde generalmente se usan procesos químicos, “Bottom up” donde se usan procesos físicos. También se describe sus principales características y aplicaciones que se dan en la sociedad actual (aplicaciones en la agricultura, biomédicas, agua, sensores, etc.).

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Investigar la síntesis, propiedades y aplicaciones de las nanopartículas metálicas.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar los métodos más relevantes para la síntesis de las nanopartículas metálicas.
- Reconocer las aplicaciones de las nanopartículas metálicas.
- Identificar las propiedades de las nanopartículas metálicas.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 MÉTODOS DE SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS**

“La investigación del comportamiento de la materia en la escala nanométrica abre una prometedora perspectiva de nuevos conocimientos”. (Grande, 2007, pp. 321-327)

“La manipulación de las condiciones de síntesis permite el control racional del tamaño, y la forma de las partículas provee los medios para adaptar las propiedades de los materiales a una aplicación específica”. (Zanella R. , 2012, p. 70)

La síntesis de nanopartículas se aplica mediante dos técnicas opuestas, las técnicas descendentes (top-down) consisten en la división de material macroscópico o grupo de materiales sólidos asta llegar al tamaño nanométrico. Las técnicas ascendentes (bottom-up) consisten en la fabricación de nanopartículas con capacidad de auto ensamblarse o autoorganizarse a través de la condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o en solución. (Gomez, 2018)

Por otro lado, el conjunto de técnicas a utilizar puede dividirse en dos, mediante métodos químicos, que implican la reducción o precipitación de metales en presencia de agentes estabilizantes o métodos físicos tales como: Termólisis, Sonoquímica y Fotoquímica. (Arenas-Cristina, 2017).

Dentro de estos dos tipos de métodos se implementan diferentes técnicas. Cabe destacar que los métodos químicos debido a que son simples de implementar y, adema, permiten un mayor control del tamaño de la partícula, son los más utilizados. (Albaladejo-Maria, 2014)

Las implicaciones de la nanotecnología abarcan en diferentes áreas en la sociedad, entre ellas, a la mejora de la salud, y otras dirigidas hacia un desarrollo sostenible a nivel económico, optimizando diversos recursos y disminuyendo la agresión medioambiental. (Serena & Correia, 2003).



Fig.1 Nanomateriales, mucho más que miniaturización. (Sánchez, 2017, p.1).

Fuente:

[https://www.eldiario.es/andalucia/lacuadraturadelcirculo/Nanomateriales-miniaturizacion\\_6\\_696490361.html](https://www.eldiario.es/andalucia/lacuadraturadelcirculo/Nanomateriales-miniaturizacion_6_696490361.html)

### 3.1.1 Top-Down:

El método Top Down se basa en la reducción del metal a escalas nanométricas de forma mecánica, generalmente actúan mediante un proceso de molienda o haciendo incidir un láser sobre una superficie metálica. (Grandez-Fernando, 2016)

“Esto puede hacerse mediante técnicas de alta precisión como las litográficas que se han desarrollado durante los últimos treinta años para producir circuitos en microprocesadores y que se intenta mejorar para conseguir cada vez una mayor precisión”. (Mendoza & Rodrigues, 2007, p. 169)

Las técnicas litografía holográfica, o la prometedora escritura directa por láser, se basa en la polimerización, por absorción de dos fotones, de una resina fotosensible en que se dibuja por medio de un láser, a modo de pincel. Posteriormente se revelan y extraen las estructuras por disolución de la parte no expuesta. (Morcillo, 2006)

Hoy en día los transistores que componen los microprocesadores se fabrican por nanolitografía óptica (*top-Down*) que se basa principalmente en la utilización de resinas que reaccionan ante la luz y mediante el uso de máscaras permiten retirar esta resistencia en zonas determinadas, creando un patrón deseado que delimita una zona para la para la erosión del material ya existente o deposición de un segundo material (Borras & Sánchez, 2017)

Los métodos top dow destacan por su versatilidad, la cual ocurre a expensas de una complejidad experimental y coste económico elevado, pero dota de una potencia extraordinaria para producir tanto sistemas 2D como 3D por medio de la fabricación capa a capa. (Blanco et al., López, Armelles, & Vidal, 2006)

- Reducción del tamaño de materiales másicos hasta límites nanométricos.



Fig.2 Métodos de síntesis de nanopartículas Metálicas. (Andrada, 2016, p.1).

Fuente:

<https://es.scribd.com/doc/65140361/Metodos-de-sintesis-de-nanoparticulas>

### 3.1.2 Bottom-up:

“Las técnicas bottom up se refieren a la construcción de estructuras átomo por átomo o molécula por molécula, cabe señalar que también se utilizan para obtener productos que sirven como aditivos para cosméticos y combustibles”. (Mendoza & Rodrigues, 2007, p. 169)

Comienzan con un precursor de sal de plata que es reducido en una reacción química. La nanoplata que se usará en los productos comerciales generalmente se produce acorde a técnicas bottom-up, que puede acordar un tamaño y forma de la partícula como también la funcionalización de la nanoplata con los agentes de terminación que las hace adecuadas para aplicaciones específicas. (Cardoso, 2016)

- Síntesis de nanopartículas mediante unidades de construcción más pequeñas.



Fig. 3 Métodos de síntesis de nanopartículas Metálicas. (Andrada, 2016, p.1).

Fuente:

<https://es.scribd.com/doc/65140361/Metodos-de-sintesis-de-nanoparticulas>

Los precursores más usados para las NPs Ag y Cu, son el  $\text{AgNO}_3$  y el  $\text{CuSO}_4$  respectivamente, aunque también se han usado otros de diversa naturaleza como carboxilatos, oxalatos, óxidos, cloruros, etc. (Grandez-Fernando, 2016)

Este método controla mejor el tamaño de las nanopartículas, su uniformidad y su forma, reduciendo la cantidad de impurezas”. (Cornejo, 2015)

Tabla 1: Listado de técnicas de nanofabricación (2016)

Técnica	Top-down	Bottom-up	Paralelo
Fotolitografía	X		X
Litografía de haz de electrones	X		
Litografía de haz de iones focalizados	X		
Litografía por nano-impresión	X		X
Litografía blanda	X	X	X
Nanolitografía dip pen	X	X	X
Auto-ensamblaje		X	X
Manipulación atómica por SPM		X	



### **3.1.3 Métodos físicos:**

Entre los métodos físicos se encuentran la ablación láser, termólisis, irradiación con microondas y la síntesis sonoquímica. (Lamo-Beariz, 2005)

La formación de nanopartículas mediante métodos físicos consta de varias etapas: la vaporización por diversas técnicas de un sustrato, la condensación de los átomos para formar el núcleo inicial, el crecimiento del núcleo por la adición de más átomos y la coalescencia. (Slistan-Angel, 2005)

“Generalmente la síntesis de AgNPs por métodos físicos se efectúa por procesos de evaporación-condensación. Para la obtención de AgNPs es uno de los métodos más sencillos y mejor controlados”. (Sánchez-Minerva, 2017, p. 15)

Los métodos físicos, tales como la irradiación de protones, ablación láser, deposición de vapor a vacío, y métodos por radiación son capaces de producir una amplia gama de NPs metálicas con poco esfuerzo para modificar el proceso para cada tipo de material; sin embargo, la calidad de las partículas producidas no es tan alta como sintetizadas químicamente. Los métodos físicos por lo general producen NPs a gran escala, pero poseen poco control sobre el tamaño de partícula, la distribución del tamaño y la forma de esta. (Guzmán-Javier, 2016)

En los métodos físicos existen diversas aplicaciones que son más costosas (salvo el método molienda) que los métodos químicos, entre ellos podemos encontrar:

#### **3.1.3.1 La evaporación térmica:**

El proceso de vaporización térmica consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material que se pretende depositar. Se lleva a cabo en una cámara

de vacío en la que se condensa el vapor sobre una lámina fría requiriendo en todo momento un control preciso de las condiciones de crecimiento. (Zanella, 2012)

El proceso de vaporización térmica es la fuente utilizada para calentar el material a evaporar. Aun cuando la energía proporcionada para la evaporación puede proceder de haces de electrones o fotones, el mecanismo de vaporización puede seguir siendo de naturaleza térmica. Las técnicas comunes para evaporación/sublimación incluyen calentamiento por resistencia, haz de electrones de alta energía, haz de electrones de baja energía y calentamiento inductivo. (López-Luis, 2011)

Para todos los procesos de evaporación, la fuerza impulsora es la temperatura. Al aumentar la temperatura, el material depositada se funde y después se evapora, formando la fase de gas. Debido a la alta elevación de temperatura de evaporación de las cerámicas, este proceso es usado principalmente para la deposición de metales. (Reveron, 2002)

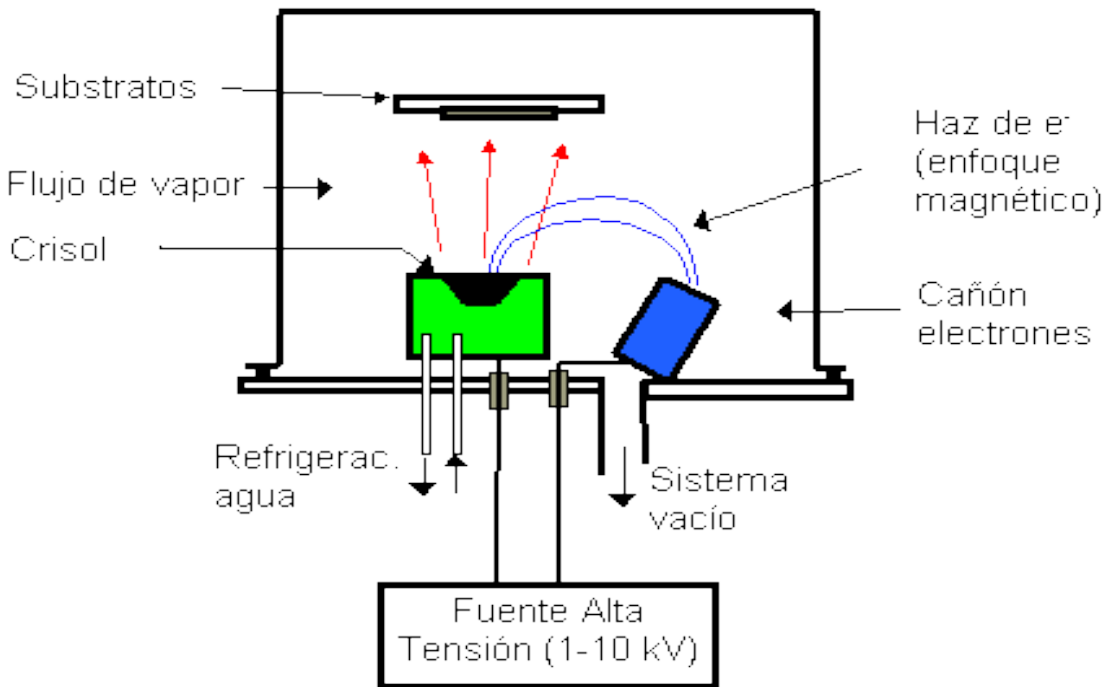


Fig.4 Evaporación por calentamiento mediante haz de electrones. (Ponce, 2011, p.10).

Fuente:

<http://indico.ictp.it/event/a11203/session/76/contribution/46/material/0/0.pdf>

### 3.1.3.2 Deposición química en fase vapor (CVD):

La técnica de deposición química en fase vapor es realizada a través de una mezcla de gases dentro de una cámara de vacío (reactor), Así dar lugar a una formación de materiales en forma de capa delgada. (Sanchez-Luis, 2015)

Consiste en la deposición de un sólido en una superficie caliente a través de una reacción química en fase vapor. Esta técnica pertenece a la clase de procesos de transferencia de vapor, la cual es a nivel atómico en la naturaleza. por lo general no requieren de ultra alto vacío y se puede adaptar a muchas variaciones del

proceso, siendo Su flexibilidad tal que permite muchos cambios en la composición durante la deposición. La tasa de depósito es alta y se pueden obtener recubrimientos delgados con procesos generalmente competitivo. (Solis-José, 2012, p. 20)

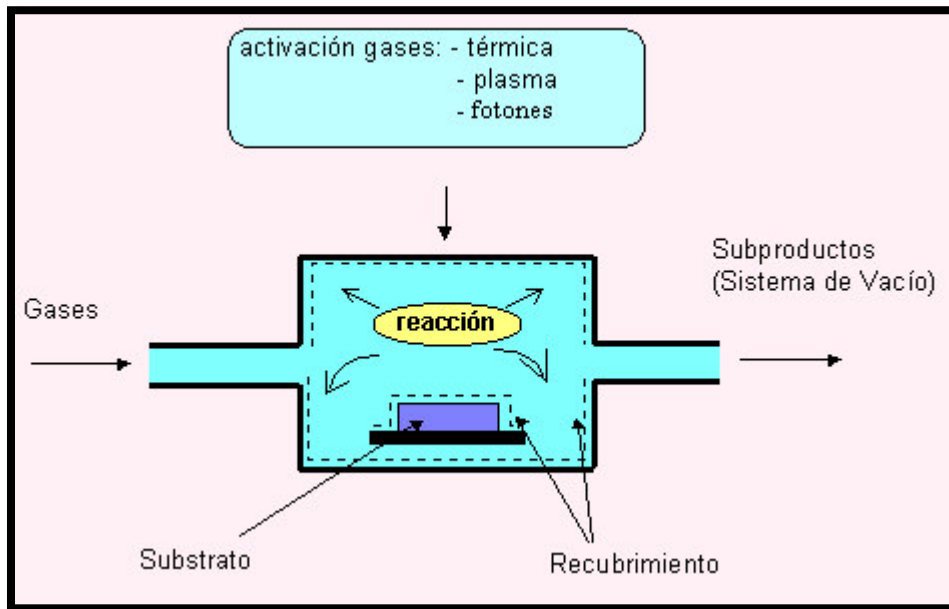


Fig. 5 Técnicas de deposición química en fase de vapor (CVD). (Gómez, 2008, p.1).

Fuente:

<http://www.icmm.csic.es/fis/espa/cvd.html>

El CVD es importante en la producción de nanomateriales usados generalmente para recubrimientos industriales y en componentes que están relacionados con la electrónica. Los procesos de Microfabricación y Nanofabricación usan generalmente Deposición Química en fase vapor ampliamente para depositar materiales como: micro y nano fibras de Carburo de silicio, grafeno, carbono, nanotubos, entre otros. (Berlanga-Mata, 2012)

### 3.1.3.3 La preparación de clústeres

Los clústeres se construyen a partir de estructuras más pequeñas como son los átomos o iones. Las técnicas usadas en este caso dependerán del tamaño del clúster que se quiera sintetizar. En general, se cree que la dificultad en la síntesis de clústeres metálicos viene determinada por el estricto control que hay que tener de las condiciones de reacción para conseguir detener la reacción en el momento preciso en que se forman los clústeres de un tamaño de interés determinado. (Rodríguez-Eldara, 2012)

El estudio de clusters moleculares de metales de transición, en especial aquellos con átomos calcogenuro como puentes, representa un área de actividad creciente en las investigaciones recientes en química y ciencia de materiales. Esto se debe a la relativamente alta conductividad iónica y eléctrica de muchos de los calcogenuros metálicos lo que da lugar a propiedades intermedias entre las que poseen muchas fases metálicas y los semiconductores. Además, es también de gran interés la dependencia de tamaño en las propiedades físicas, químicas y estructurales de estas sustancias que van desde las pequeñas moléculas hasta materiales voluminosos. La proximidad que se da hacia las investigaciones y síntesis de cluters se incluyen en el estudio de nanopartículas coloidales con una distribución de tamaño limitada, se realiza un aislamiento y formación adecuada de cluters cristalinos para definir su estructura a travez de análisis por difracción de rayos X de monocristales. (Garcia et al , varela, & castiñeiras., 2004)

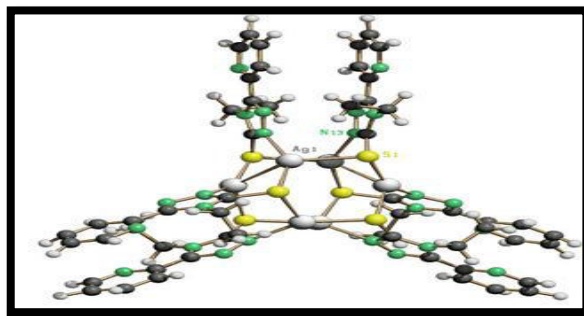
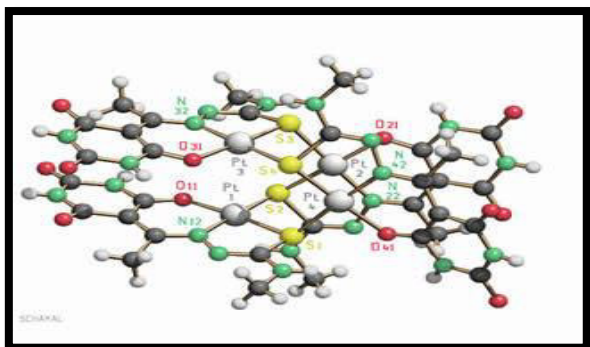
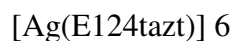


Fig. 6 Clusters metálicos. (García, Varela y Castiñeiras, 2004, p.1).

Fuente:

[http://giqimo.com/lineas\\_investigacion\\_-\\_clusters-metalicos/](http://giqimo.com/lineas_investigacion_-_clusters-metalicos/)

### 3.1.3.4 La implantación de iones:

La implantación de iones ha atraído un interés considerable como método para modificar las propiedades ópticas de los aisladores para producir materiales con propiedades ópticas no lineales. (Wong et al., 2001)

“La implantación de iones es una técnica utilizada para la integración de componentes metálicos en una matriz sólida”. (Michoacán, 2012, p. 1)

El método consiste en que los iones de un material pueden ser implantados en un sólido, cambiando por tanto las propiedades físicas y químicas de este último, ya que el ion implantado puede ser de un elemento distinto al que lo compone,

también se pueden causar cambios estructurales en el sólido implantado, puesto que la estructura cristalina del objetivo puede ser dañada. (López et al., 2018)

por su diversidad y facilidad para ser controlado permite sintetizar la implantación iónica por su versatilidad y facilidad de control permite la sintetizar una gran cantidad de nanocristales utilizando procesos que sean compatibles con la tecnología de circuitos integrados de Si. Dentro de estos procesos, la utilización de una matriz de SiO<sub>2</sub> es atractivo, ya es un material aislante por excelencia en la tecnología de Si. Además, el SiO<sub>2</sub> es transparente en el visible e infrarrojo cercano, y tiende a formar intercaras de buena calidad con los semiconductores. Se trata por tanto de un material muy bien conocido, compatible con la tecnología del silicio, fácil de elaborar a partir de substratos de Si, robusto y que presenta una pequeña concentración de defectos. (Pérez et al., 2000)

“Las energías típicas del ion tienden estar en el rango de 10 a 500 keV. La determinación de la profundidad de penetración de los iones en el sólido depende generalmente por la energía y su composición”. (Baylon-Olivia, 2015, p. 8)

### **3.1.3.5 La molienda mecánica**

“Molienda mecánica es un proceso de continuos impactos que son sometidas las partículas por parte de los cuerpos molidores bajo altas energías, causando así repetidas microforjas con el objetivo de producir partículas de polvo de tamaño reducido”. (Campos-Beatris, 2011, p. 4)

Actualmente aumento la investigación de procesos de molienda mecánica para la producción de nanopartículas, ya que el equipamiento no es demasiado caro, los

trabajos extensos y es uno de los métodos que no requiere reactivos muy contaminantes. El proceso se puede realizar en seco o en presencia de un líquido.

(Junyi-Gao, 2015)

La molienda es una operación unitaria que tiene como objetivo reducir el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, existiendo así una transferencia de movimiento exclusivo de los sólidos.

La aplicación de molienda mecánica de alta energía es una tecnología utilizada hace muchos años en la industria farmacéutica, mejorando la homogeneización de los diferentes productos. También fue utilizado en la industria metalúrgica por diferentes procesos de trituración, química extractiva (preparación de cementos y hormigón, preparación de pinturas y pigmentos metálicos), afino y homogeneización de polvos.(Campos-Beatris, 2011).

Este tipo de molino es el más utilizado a nivel industrial para el procesamiento de polvos, su funcionamiento consiste en la rotación de un cilindro que contiene al medio de molienda y polvo; el mecanismo de fragmentación está en función de la velocidad de rotación, la cual al alcanzar una velocidad crítica provoca que el medio de molienda permanezca estático sobre las paredes del contenedor debido a la fuerza centrífuga dentro del cilindro. (Higareda-César, 2011).



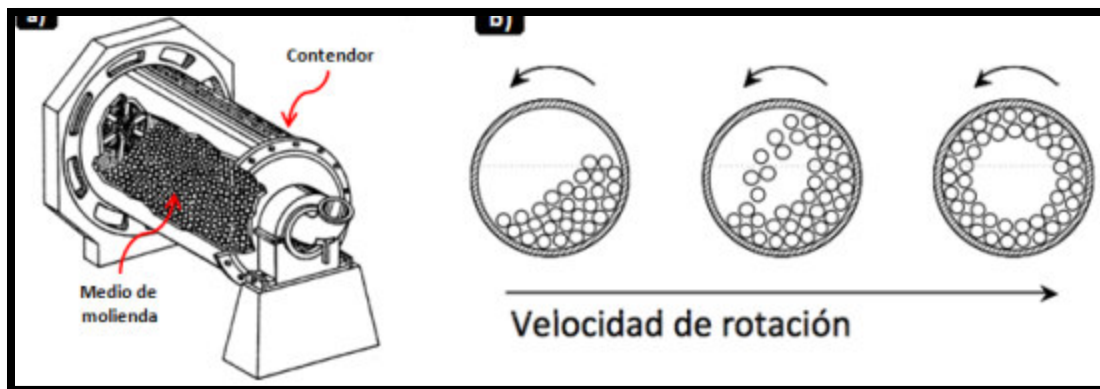


Fig.7 Molino horizontal de bolsas. (Higareda, 2011, p.16).

Fuente:

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9633/1/100.pdf>

### 3.1.4 Métodos Químicos

Existen diversos métodos químicos que pueden ser aplicados para la obtención de nanopartículas metálicas.

En el caso de las nanopartículas de plata los primeros métodos descritos son el método Lee-Meisel y el método Creighton. Consistiendo en una variación del método Turkevich para la obtención de nanopartículas de oro, empleando en lugar de  $\text{HAuCl}_4$  como precursor metálico y citrato de sodio como agente reductor. Por el método de Lee-Meisel se obtienen nanopartículas de plata con una distribución amplia de tamaño de partícula (polidispersas). El método Creighton consiste en la reducción de  $\text{AgNO}_3$  con el agente reductor  $\text{NaBH}_4$ . Este es uno de los métodos más populares actualmente, llegando así obtener nanopartículas de plata con un

tamaño aproximado de 10nm y con una distribución estrecha de tamaños (monodispersas). (Mongue, 2009, p. 34)

El principio básico para la preparación química en una solución de nanopartículas coloidales es la reducción de un precursor metálico con agentes químicos bajo la protección de estabilizadores. Sin embargo, se han empleado toda una serie de métodos de reducción química para preparar nanopartículas metálicas, métodos en los que los agentes reductores comprenden varios compuestos. (Gustavo et al., 2013, p. 54)

En este caso se han obtenido nanopartículas de aluminio por descomposición de  $\text{Me}_2\text{EtNAIH}_3$  en tolueno, mediante el calentamiento de la disolución a  $105\text{ }^\circ\text{C}$  durante 2 h (Me es el metilo  $\cdot\text{CH}_3$ ). Se añade isopropóxido de titanio a la disolución. El titanio actúa como catalizador de la reacción. La selección del catalizador determina el tamaño de las partículas producidas. Por ejemplo, se han obtenido partículas de 80 nm usando titanio. Para poder prevenir la agregación y cubrir del todo las partículas, se añade a la disolución un surfactante (ácido oleico). (Poole & owens, 2007)

Los métodos de reducción química requieren largo tiempo de preparación y condiciones ambientales especiales. obteniendo beneficios de disponibilidad de reactivos, un bajo costo de producción y reproducibilidad.

### 3.1.4.1 Reducción fotoquímica y radioquímica

“El método de síntesis por medio de reducciones fotoquímicas y radioquímicas es una combinación del método químico, pero utilizando a la vez luz. La diferencia entre la fotoquímica y la radioquímica es el nivel de energía que se utiliza”. (Avalos-Liliana, 2014, p. 14)

La síntesis fotoquímica está caracterizada por energías por debajo de 60 eV, mientras que la radiólisis utiliza energías de 103-104 eV. La ventaja que tiene este método (reducción fotoquímica y radioquímica) sobre la reducción química, se debe principalmente a la ausencia de impurezas que se forman al usar reductores químicos, produciendo así nanopartículas de alta pureza. Además, permiten producir nanopartículas en condiciones de estado sólido y a bajas temperaturas. (López et al., 2018)

En la figura 8 se observa la oxidación del compuesto A (pierde electrones) y la reducción del compuesto B (gana electrones). Ambos procesos mostrados son primordiales para la reducción fotoquímica y radioquímica.

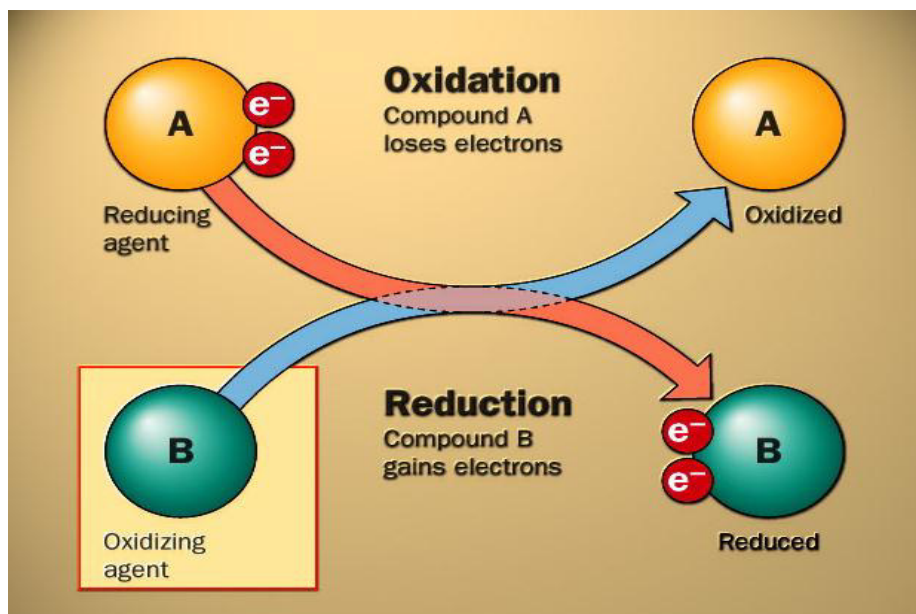


Fig. 8 Oxidation-Reduction Reactions. (Stewart, 2014, p.1).

Fuente:

<https://www.thinglink.com/scene/508680500798291970>

### **3.1.4.2 Irradiación con microondas**

Se basa en la aplicación de radiación de microondas como fuente de energía para llevar a cabo reacciones químicas. Las microondas son un tipo de radiación electromagnética con una frecuencia entre 0,3 y 300 GHz. Sin embargo, el rango empleado en equipos domésticos y para síntesis química oscila en general entre 0,8 y 8 GHz. (Sosnik & Gotelli, 2015)

Las microondas actúan como campos eléctricos de alta frecuencia, capaces de calentar cualquier material conteniendo cargas eléctricas, los solventes polares se calientan y sus componentes moleculares se ven obligados a girar con el campo y pierden energía en colisiones. (López et al., 2018)

El campo eléctrico de la microonda es capaz de aplicar una fuerza sobre una partícula cargada y desplazarla, o bien hacer rotar a una partícula polarizada hasta que se orienten ambas líneas de campo. Las fuerzas aplicadas por los componentes magnético y eléctrico de la microonda cambian de direcciones tan rápidamente que generan calor debido a que las uniones entre las moléculas no son capaces de responder instantáneamente a este cambio de direcciones de los campos provocando fricción, la cual se manifiesta incrementando su temperatura. (Osorio-Abraham, 2011).

Los métodos de microondas ofrecen muchas ventajas sobre otros tipos de métodos, entre ellos mencionamos el trabajo a presión atmosférica, el tiempo de depósito y una alta posibilidad de costos bajo, Pero existe la de no poder ser sintetizado usando solo un horno de microondas debido a las características y punto de fusión elevada, requiriendo ayuda de un agente susceptor, arriesgando la contaminación de la muestra si el material del suceptor sufre un punto de fusión más bajo que el material a calentar. La síntesis de materiales asistida por microondas, requiere de un vasto conocimiento acerca de los cambios que podría pasar en el proceso, como su estructura molecular, su tamaño, su forma, punto de fusión, estructura molecular, entre otros (Segura & Carbajal, 2017)

En la figura 9 se muestra la radiación de microondas, el ordenamiento molecular y el espectro de rayos x de un compuesto obtenido por irradiación con microondas.

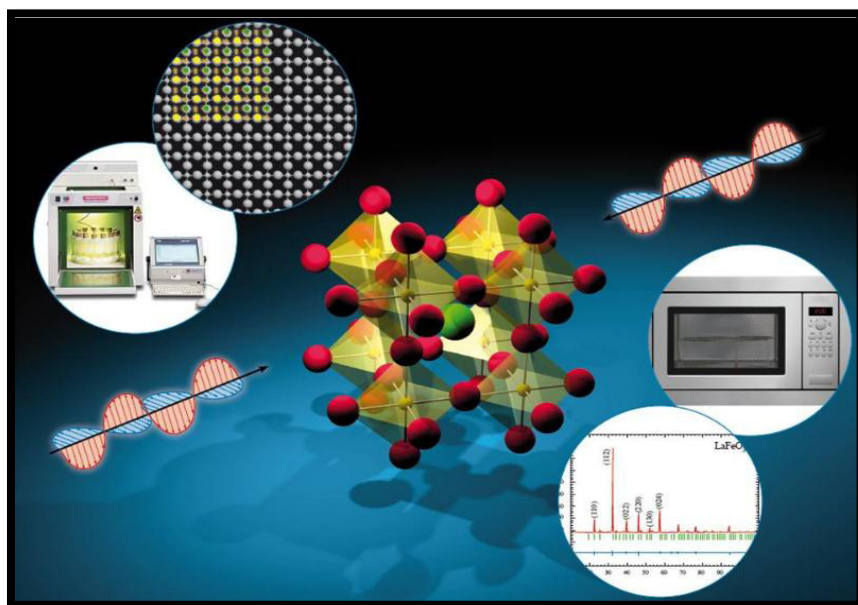


Fig. 9 Síntesis y sinterización asistidas por microondas de sólidos inorgánicos

(Moran, 2011, p.1).

Fuente:

[http://www.ucm.es/quimica\\_inorganica/sintesis-y-sinterizacion-asistidas-por-microondas-de-solidos-inorganicos-](http://www.ucm.es/quimica_inorganica/sintesis-y-sinterizacion-asistidas-por-microondas-de-solidos-inorganicos-)

### 3.1.4.3 Método sol-gel

El proceso sol-gel tiene una gran importancia científica y tecnológica en la síntesis de polvos cerámicos, fibras y recubrimientos, debido a que ofrece ventajas, como la obtención de recubrimientos vítreos y cerámicos de alta densidad a temperaturas relativamente bajas y por medio de un proceso relativamente sencillo. (Reyes-Pamela, 2012, pp. 9-10)

Este método involucra una suspensión coloidal de partículas donde el precursor puede ser un metal alcóxido entre los más utilizados: un aluminato, titanato, borato, tiosulfato, silicato. El método sol-gel es una de las técnicas que lleva a la formación de óxidos por medio de reacciones inorgánicas poliméricas. En método posee cuatro etapas: hidrólisis, policondensación, secado y descomposición térmica. (Mosquera et al., Rosas, Debut, & Gerrero, 2015)

Las ventajas que pueden obtenerse del proceso sol-gel para la síntesis de materiales es la gran variedad de estructuras que determinan una diversidad de aplicaciones. Estos materiales preparados con exactitud son obtenidos del procesamiento de soluciones realizados a baja temperatura con alta pureza. Estos

materiales son solicitados “a la carta” y destinados a tener ciertas aplicaciones, precisamente por la facilidad que se tiene en el control de la composición química desde el inicio de las reacciones y que deriva en una estructura física determinada. (Ramirez et al., 2010)

El método sol-gel está comprendido dentro de los métodos de química suave para la obtención de materiales inorgánicos avanzados de alta tecnología que incluyen películas delgadas, fibras, partículas, etc. Es posible sintetizar nuevos materiales de alta pureza controlando las características de la microestructura gracias a que este método permite acceso de una manipulación a nivel molecular de las diversas etapas de una reacción sol-gel. (Gutierrez & Castellanos, 2011, p. 69)

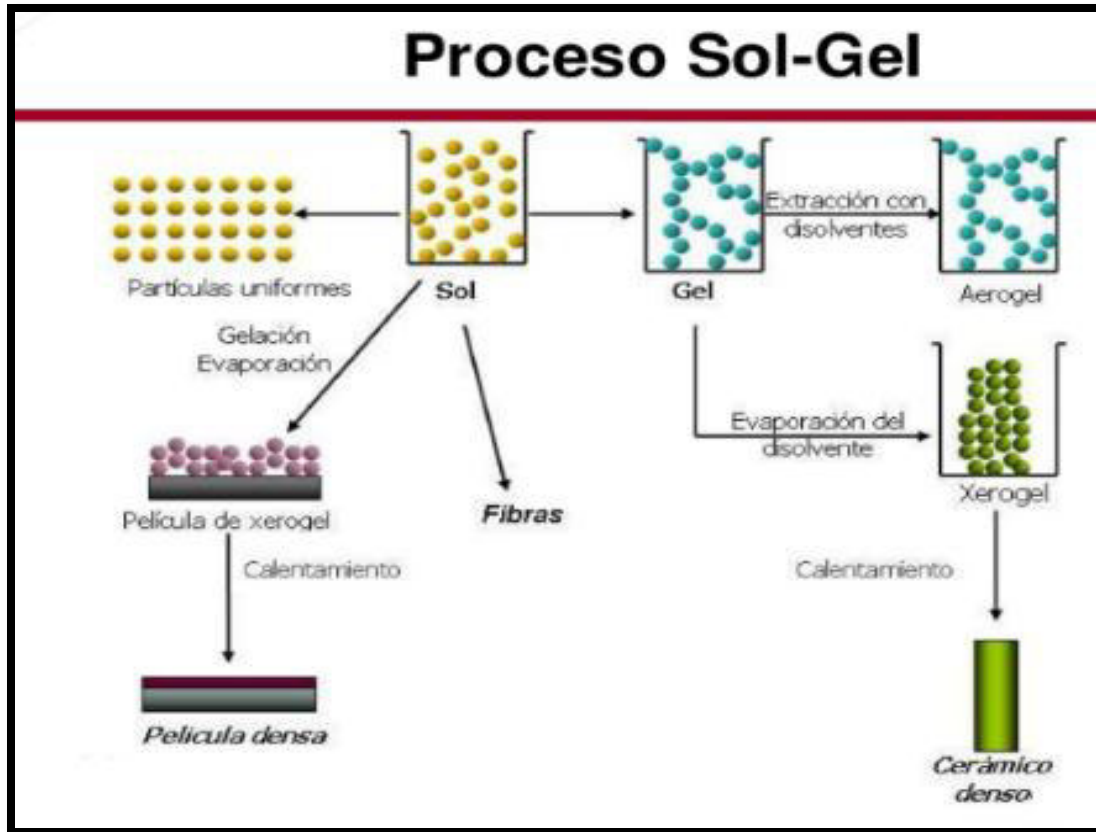


Fig. 10 Síntesis y caracterización de nanopartículas de peróxido de Zinc ( $ZnO_2$ ) y su actividad antimicrobiana. (Colonia, 2013, p.14).

Fuente:

<https://es.slideshare.net/cosuroca/tesis-final-16959132>

## 4. PROPIEDADES DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Su alta actividad antimicrobiana son las principales características en el desarrollo de productos con AgNPs y una amplia categoría de ellos se encuentran disponibles en el mercado.

(Mateo et al., Morales, Ávalos, & Haza, 2013)



Ofrecen una mejor funcionalidad debido principalmente a su tamaño nanométrico. Como ejemplo se puede observar a las nanopartículas de plata exhibiendo distintas propiedades al momento de ser aplicadas a los sistemas biológicos, comparando con otros sistemas tradicionales de tratamiento. El tamaño nanométrico les da la facilidad de penetración en membranas biológicas como la pared bacteriana, creciendo su efecto bactericida. Este estudio engloba de manera general los procesos que son empleados para la obtención de las nanopartículas de plata como un ejemplo de la tecnología empleada en el diseño de estos vehículos; los parámetros de calidad aplicados para resguardar su funcionalidad y una explicación de su mecanismo de acción antibacteriana en vista de una evaluación terapéutica eficaz y como punto de referencia del impacto del desarrollo de materiales a través de la nanotecnología. (Leyva, 2013, p. 1)

El punto de fusión en las nanopartículas suele disminuir normalmente por causa de su vasta área superficial específica y por los considerables números de átomos en la superficie; afectando así al comportamiento termodinámico del contenido de la nanopartícula. Los átomos que se encuentran en la superficie requieren de una baja energía para movilizarse, ya que los átomos en el interior de la nanopartícula son menores y para vencer las fuerzas intermoleculares de atracción necesitan poca energía. (Cornejo, 2015)

En la tabla 2 se muestra la dependencia del punto de fusión y el punto de ebullición con el tamaño de las nanopartículas y macropartículas Au, Ag y CdSe.

Tabla 2: Propiedades de las nanopartículas. (Cornejo, 2015)

	D (nm)	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C
Macropartículas de Oro	-	1064	2856
Nano partículas de Oro	1	20	
	2	120	
	2.5	300	
	4	600	
	6	800	
	>20	1000	
Macropartículas de Plata	-	1234	2212
Nano partículas de Plata	1.6	400	
	2.0	680	
	10.0	1050	
	>20	>1120	
Macropartículas de CdSe	-	1427	1559
Nano partículas de CdSe	-	430	

## 4.2 PROPIEDADES ÓPTICAS

Las nanopartículas metálicas (MNPs) presentan propiedades optoelectrónicas únicas que dependen de su forma y su tamaño y que no están presente en partículas de tamaños macroscópicos. Estas propiedades surgen a partir de sus resonancias plasmónicas superficiales localizadas (LSPRs), que producen intensificaciones enormes del campo electromagnético cerca de la superficie de las MNPs y aumentan sus secciones eficaces de dispersión y absorción. Estos efectos permiten el uso de las MNPs en muchas aplicaciones del campo de la nanotecnología, incluyendo el sensado ultra-sensible, celdas solares, fotónica, microscopia, catálisis, medicina y farmacéutica. (Gargiulo-Julian, 2017)

“Las propiedades ópticas de nanopartículas dependen de otros factores tales como la forma, el medio de dispersión, el material de la partícula, la capa protectora, el grado de floculación y la temperatura”. (Córdoba-Julio, 2011, p. 29)

El color que adquiere una nanopartícula sobre la que incide un rayo de luz blanca (en la que están presentes todas las longitudes de onda en el espectro visible 400-700 nm, con una intensidad parecida) es de color blanco; si la nP absorbe alguna longitud de onda (color), cambiará el color de la nP que percibe el ojo desnudo y el color de la luz transmitida. (Cornejo, 2015)

En la tabla 3 se muestra la variación del color de las nanopartículas según su diámetro.

Tabla 3: Propiedades de las nanopartículas. (Cornejo, 2015)

nP. Oro (nm)		nP. Plata (nm)	
	- $\varnothing = 25$ - Esfera - Rojo	- $\varnothing = 100$ - Esfera - Amarillo	
	- $\varnothing = 50$ - Esfera - Verde	- $\varnothing = 40$ - Esfera - Azul	
	- $\varnothing = 100$ - Esfera - Naranja	- $\varnothing = 100$ - Prisma - Rojo	
Oro en masa	amarillo	Color plata	Plata en masa

### 4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

Las nanopartículas metálicas manifiestan propiedades químicas muy importantes Por el gran número de átomos que tiene y una elevada energía de superficie de nanopartículas, originan una alta reactividad. (Cornejo, 2015)

Las nanopartículas de Ag y Au al ser sintetizadas mediante reducciones sucesivas de  $\text{AgNO}_3$  y  $\text{HAuCl}_4$  en la presencia de CTAB, la distribución de tamaño fue uniforme después de cada reducción/deposición. Pese a que los depósitos de Ag en Au conservan una geometría pseudoesférica, la deposición de Au en Ag conduce a una formación de partículas de forma piramidal. (Guerrero et al., 2009)

Un caso particular del comportamiento catalítico de las nanopartículas, es la fotocatalisis. Cuando la luz tiene una apropiada energía puede mover algún electrón de la banda de valencia a la banda de conducción de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , produciéndose pares de electrón-agujero (excitones). Se origina un exceso de carga negativa en la banda de conducción que produce un efecto reductor, aportando electrones a las moléculas de oxígeno y formándose iones superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) que oxidan los materiales orgánicos. Las moléculas de agua posadas en los huecos del sustrato con carga positiva por la migración de los electrones, llegan a descomponerse por oxidación en radicales hidroxilos ( $\text{OH}$ ) y cationes  $\text{H}^+$ . (Cornejo, 2015)

En la figura 11 muestra como los electrones al absorber radiación saltan a la banda de conducción para luego generar un efecto reductor en un material ionizado.

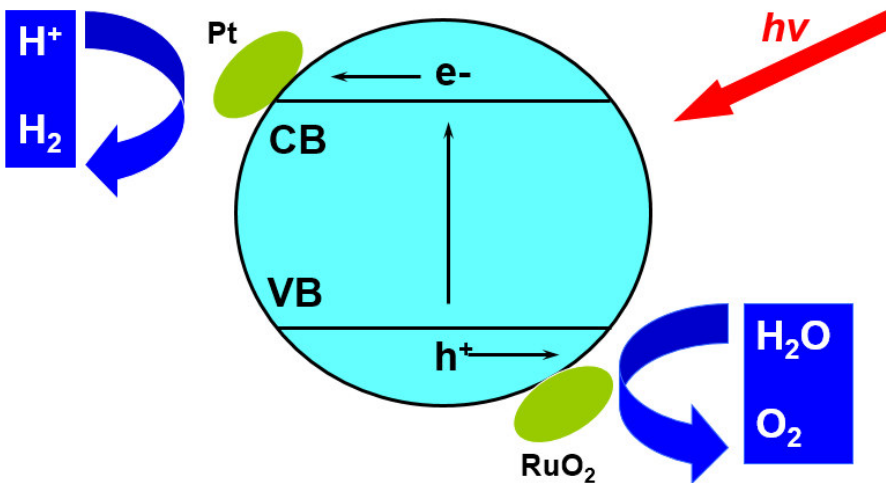


Fig. 11 Fotocatálisis; proceso esquemático de oxidación, reducción (REDOX). (Cornejo, 2015, p.2).

Fuente:

<http://nuevatecnologiasymateriales.com/propiedades-de-las-nano-particulas/>

La degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos produce  $\text{CO}_2$ , agua y se forman iones sulfatos, nitratos (compuestos estables que eliminados por el agua de las propiedades del substrato). La utilización de nano-óxidos-metálicos como el  $\text{TiO}_2$  es muy variada e importante en aplicaciones medioambientales. (Cornejo, 2015)

En la figura 12 se muestra el uso de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  para purificar el aire y agua. Así como también para eliminar malos olores y descontaminar.

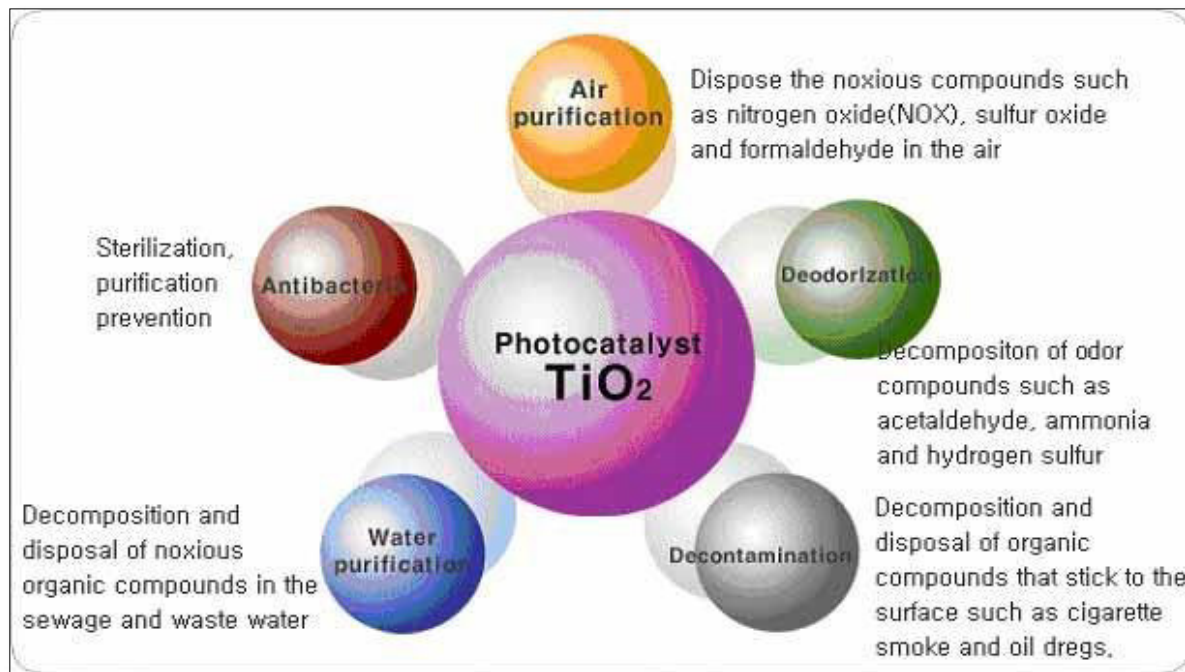


Fig. 12 Aplicaciones de las nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. (Cornejo, 2015, p.1).

Fuente:

<http://nuevatecnologiasymateriales.com/propiedades-de-las-nano-particulas/>

#### 4.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de las nanopartículas y de los materiales nano estructurados cambian con el tamaño; a escala nanométrica se modifica la estructura atómica de los manocristales, haciéndose más resistentes y adquiriendo propiedades mecánicas superiores a las de los macro materiales. Para un determinado material, a escala nanométrica, se incrementan su dureza y su resistencia, siguiendo, generalmente, un crecimiento inversamente proporcional a su diámetro ( $1/(\sqrt{d})$ ) (Ley de Hall Petch). (Cornejo, 2015)

Las nanopartículas pueden modificar el entorno físico de reacciones químicas, aumentar la viscosidad de una solución o favorecer el movimiento molecular. Permite realizar reacciones en volúmenes más pequeños que en el caso de agua normal ya que puede tener una presión de vapor más baja. (Gómez et al., 2018)

Una propiedad importante de algunas nanopartículas es su mayor capacidad de deformación a tracción, antes de la rotura, sin merma de su resistencia, pudiendo alcanzar la resistencia máxima teórica del material. Este comportamiento es debido a que la estructura del nanocrystal carece prácticamente de defectos. Algunas de las propiedades mecánicas, más importantes, que pueden experimentar importantes incrementos son: Límite de fluencia (yield strength),

Módulo de elasticidad E (hasta un diámetro  $d \geq 5$  nm), resistencia a tracción, tenacidad, deformación, resistencia a flexión, resistencia al impacto, resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión. (Cornejo, 2015)

## 5. APLICACIONES DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

Las nanopartículas tienen diversas aplicaciones en diferentes campos, a continuación, se nombrará las más importantes:

### 5.1 Aplicaciones de las nanopartículas en la medicina:

Actualmente las nanopartículas predominan por sus altas propiedades fototerapéuticas. Las AuNPs se activan en presencia de luz láser y desprenden calor, llegando a ser de gran utilidad para el tratamiento selectivo de células tumorales. A causa de ello se están utilizando investigaciones y aplicaciones de las AuNPs para la detección precoz, el diagnóstico y el tratamiento del cáncer. Las AuNPs son muy utilizadas para elaborar partículas nanoestructuradas actuando como transportadores y la vectorización selectiva de fármacos y macromoléculas terapéuticas, También en terapia génica (vehiculización de plásmidos, DNA, RNA, etc.). (Mateo et al., Morales, Ávalos, & Haza, 2013)

Una vez administrada al paciente, las nanopartículas actúan como protector de la molécula encapsulada frente a una eventual degradación hasta alcanzar su lugar de acción o absorción; Atraviesan fácilmente las barreras biológicas (piel, mucosas gastrointestinal), barreras hematoencefálica, capacidad para alcanzar el órgano, los tejidos o grupo celular diana donde la molécula debe actuar inmediatamente; capacidad para alcanzar compartimentos intracelulares; capacidad para controlar



la liberación de la molécula activa en su lugar de acción o absorción. (Irache, 2008)

Por otra parte, resulta interesante el empleo de AgNps como virucida, destacando su capacidad de inhibir al virus influenza (H3N2), el virus Tacaribe (TCRV), el virus de la hepatitis B (VHB), el virus respiratorio sincitial recombinante (VSR), el virus de la viruela del mono, el norovirus murino (MNV) -1 y el virus A / H1N1 de la gripe. Otra de sus aplicaciones es como antiparasitario, siendo el uso de nanopartículas de plata una alternativa viable para la infección por Fasciola hepática. (Fernández-Teresa, 2017, p. 27)

## **5.2 Electroodos**

Las nanopartículas metálicas tienen una gran importancia como componente de catalizadores para la conversión electroquímica de energía, para las baterías metal-aire, los sistemas de elementos del agua y las celdas de combustible. (Gómez, 2016).

Una de las técnicas que permite un control fino en la síntesis de nanopartículas con una distribución de tamaño uniforme y sin el uso de agentes estabilizantes, es la síntesis electroquímica, la cual, mediante un pulso de potencial, lo suficientemente negativo con respecto al potencial de reducción de los iones en solución, permite formar núcleos metálicos en toda la superficie sobre la cual se depositan las nanopartículas. En una etapa inmediata, aplicando un potencial menos negativo, es posible controlar el crecimiento de estas. Aquí los parámetros tiempo y potencial, aplicados en cada etapa, juegan un papel muy importante en la morfología y tamaño de las nanopartículas resultantes, al igual que la

concentración de la sal metálica empleada y el electrolito soporte utilizado. Esta técnica permite obtener partículas metálicas de tamaño nanométrico, soportadas o depositadas directamente al sustrato en el que se pretende dar aplicación a estas. (Gutiérrez-Eduart, 2017, p. 22)

### **5.3 Sensores**

Las propiedades físicas y químicas que presentan las nanopartículas de oro hacen que sean excelentes componentes para la fabricación de sensores, además pueden ser muy útiles para mejorar la relación señal/ruido por medio de la miniaturización de los elementos sensores y crear procesos de reconocimiento y transducción de sensores biológicos. (Godoy-Reyes, 2017)

Las nanopartículas metálicas pueden ser usadas para construir novedosos y mejorados dispositivos de detección, en particular, sensores electroquímicos y biosensores. Se pueden llegar a lograr límites de detección muy bajos por las propiedades únicas que poseen (gran área superficial, y una excelente transferencia que aumentan la sensibilidad y selectividad cuando se aplican en sensores electroquímicos). (Gómez, 2016)

### **5.4 Biodetección con Nanometales**

Es posible fabricar nanopartículas de oro eficientes mediante la absorción o a través del reflejo de luz en el infrarrojo cercano (700nm-900nm),

Se pueden fabricar nanopartículas de oro que sean muy eficientes absorbiendo o reflejando luz en el infrarrojo cercano (700 – 900 nm), en el cual los tejidos llegan a ser más transparentes, de manera que la detección pueda realizarse incluso *in vivo*. En otro caso dado que la frecuencia de resonancia del plasmón superficial es muy sensible a variaciones en el índice de refracción cerca de la superficie, las nanopartículas metálicas pueden ser utilizados para diseñar biosensores para detección *in vitro*. (Tomé, 2014)

En biodetección, la luz puede ser enviada a una molécula y de allí hacia un detector. Además, en el caso de antenas, estas pueden formar parte de nanofuentes de luz eficientes. Es importante destacar que los diseños de antenas que revolucionaron las comunicaciones siguen encontrando nuevas aplicaciones, esta vez a escala nanométrica. (Fraga et al., 2008, p. 67)

En la figura 14 se muestra arriba: fotografías de microscopía electrónica de nanocilindros de oro y de microscopía óptica de campo oscuro donde se pueden observar variedad de colores brillantes derivados de la reflexión de luz ocasionados por nanopartículas individuales. Abajo: Esquema del fenómeno de reconocimiento molecular en una nanopartícula biosensora y su efecto en el espectro de absorción en el visible.

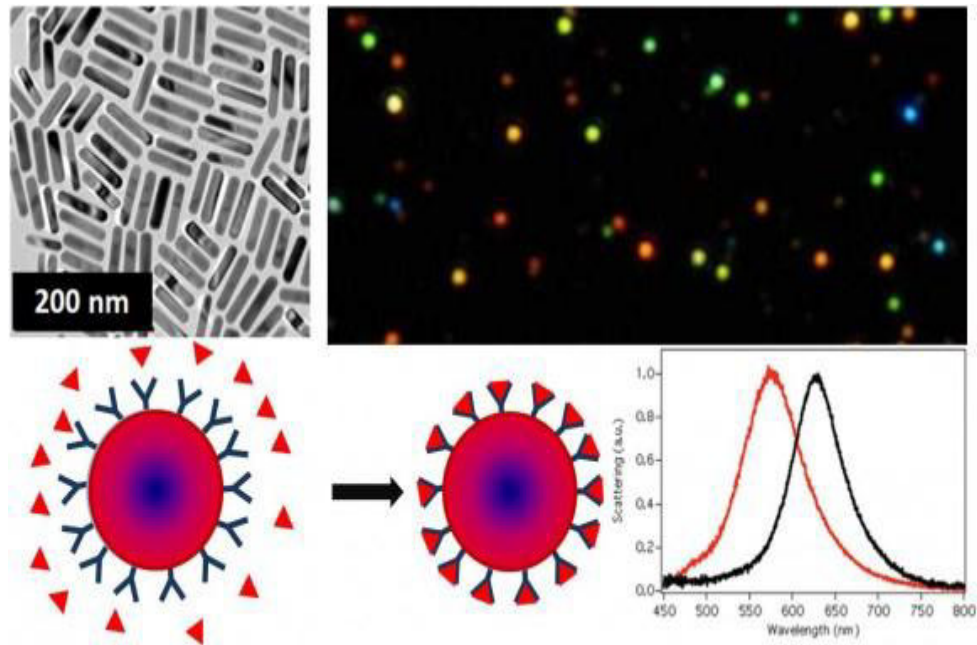


Fig. 14 Nanobiosensores: Aplicaciones en la frontera entre las nanociencias y la biomedicina por Luis Liz-Marzán. (López, 2014, p.2).

Fuente:

<https://culturacientifica.com/2014/05/24/nanobiosensores-aplicaciones-en-la-frontera-entre-las-nanociencias-y-la-biomedicina/>

## 5.5 Celdas solares

“El crecimiento de celdas solares que están basadas en películas delgadas, son obtenidos principalmente partiendo de técnicas de deposición térmica del material de la capa absorbente de luz sobre sustratos que fungen como electrodo del dispositivo fotovoltaico”. (Domingo et al, 2010, p. 58)

Los nanomateriales plasmónicos pueden ofrecer vías prometedoras para abordar las limitaciones intrínsecas del rendimiento de las celdas solares orgánicas convencionales, Por lo tanto, estos materiales fueron muy explotados para lograr una absorción eficaz de los fotones en las capas activas orgánicas. Se obtuvieron beneficios sinérgicos de nanoestructuras híbridas plasmónicas, así como nanopartículas multimetálicas, nanopartículas metálicas agrupadas, y nanohíbridos carbonometal en la generación deseable de carga y el transporte/recolección de carga en las celdas solares orgánicas. (Gómez, 2016)

## **5.6 Aplicación en la agricultura**

La aplicación de la nanotecnología en la agricultura es una de las mejores alternativas a favor del medio ambiente, de esta manera efectuar un control a los problemas medioambientales generados por métodos químicos inadecuados (plagas, insectos). (Rai & Ingle, 2012)

En referencia a la aplicación de la nanotecnología en la producción agrícola destacan: la mejora de la productividad (principalmente en el uso de fertilizantes), optimizando el uso de los fertilizantes, el agua y los productos fitosanitarios y la protección. Sin embargo, en la actualidad solo unos pocos productos están comercializados, y la mayoría de las aplicaciones se encuentran en la etapa de desarrollo. (Ávalos, Haza, & Morales, 2016)

Verificamos la capacidad reductiva de la cianobacteria *Arthrospira* máxima, la cual redujo gran parte del nitrato de plata en la obtención de nanopartículas. Para la producción de nanopartículas consideramos un rango de tamaño aceptable de 1 a 100 nanómetros, obteniendo diámetros promedios de 19 a 24 nanómetros. El

propósito es estudiar estas nanopartículas a nivel antimicrobianos y fungicidas para abarcar hasta la industria agrícola”, detalló Márquez Villa. (Sanches, 2018)

Dentro del campo de la agricultura, las AgNPs se emplean para prolongar la conservación de frutos, ya que además de su actividad antibacteriana presentan un efecto fungistático que retarda el crecimiento de hongos fitopatógenos. (Ávalos et al., 2013, p. 6)

En la figura 15 se muestra las aplicaciones de la nanotecnología en la ciencia de plantas. **A.** dependiendo del estado de la planta. **B.** Liberación de moléculas bio-activas **C.** Transporte y liberación de elementos para el marcaje intracelular y la obtención de imágenes microscópicas.

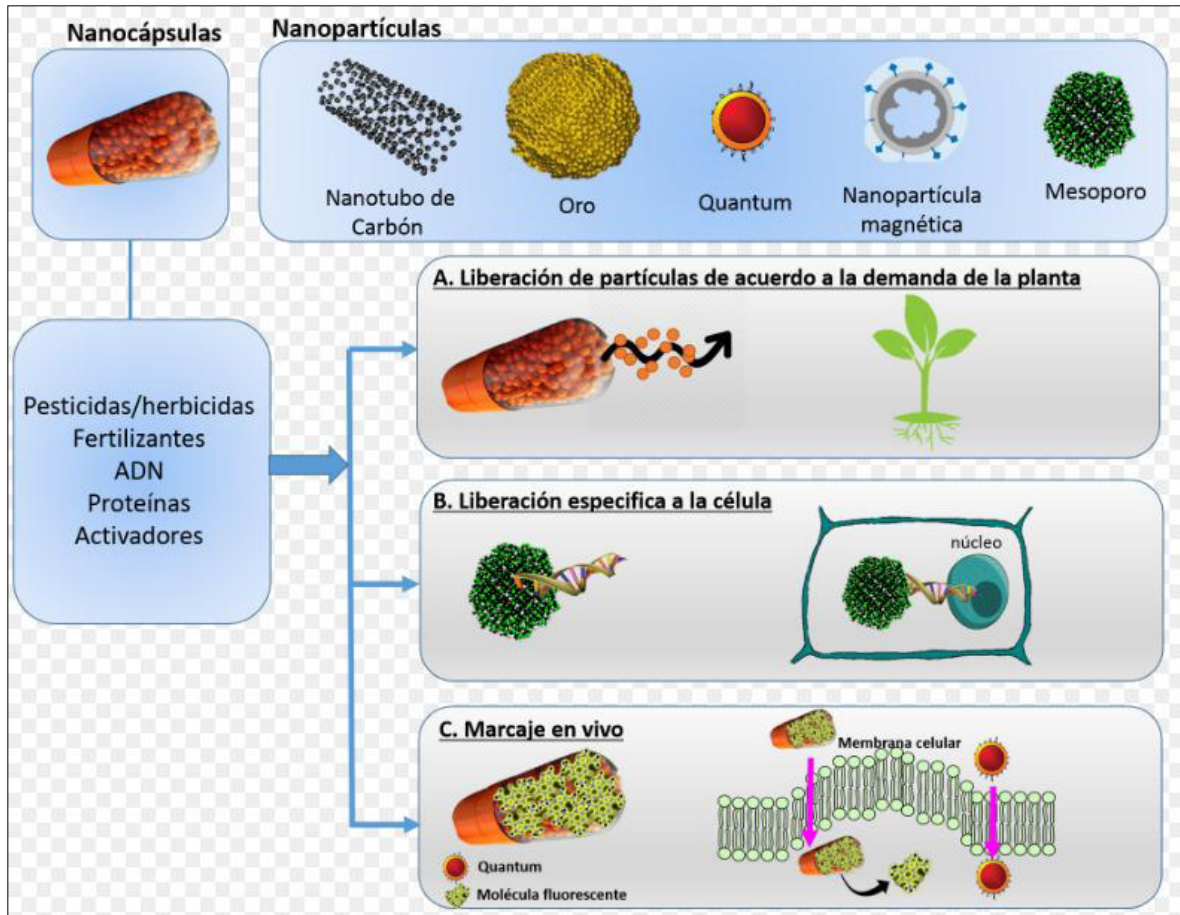


Fig. 15 Nanotecnología y su uso en la Agricultura. (Arango, 2017, p.1).

Fuente:

<https://www.biogeniccolombia.org/nuestros-artiacuteculos-de-temporada/nanotecnologia-y-su-uso-en-la-agricultura>

## 5.6 Aplicaciones al agua

Aplicaciones prometedoras de nanomateriales para la desinfección de agua son desarrolladas para soporte del catalizador en filtros, proveyendo de una filtración que se autolimpia que puede ser usada en aplicaciones de punto de uso. (Chavez, 2018)

Otra propiedad de las nanopartículas, es que poseen una baja solubilidad en agua, lo que indica que pueden proporcionar una liberación sostenida de iones  $\text{Cu}^{2+}$  para uso a largo plazo. (Noriega et al., 2012)

De acuerdo a varias investigaciones, se observan las ventajas que trae el uso de las nanotecnologías, ya que ofrecen alternativas eficientes, duraderas, bajo costo y muy eficaces. Particularmente el proceso de nanopartículas para el tratamiento del agua permite una menor contaminación en comparación con los procesos tradicionales, requiriendo así menos capital, mano de obra, tierra y energía. (Grimshaw, 2018)

“De este modo, se observa que el uso de tecnologías avanzadas de oxidación como las reacciones tipo Fenton, en presencia de nanopartículas, muestran alta eficacia en la descontaminación de aguas”. (Neira-Iago, 2015, p. 1)

Actualmente se están desarrollando mejoras en los sistemas de filtración utilizando membranas que no solo disminuyen en tamaño, sino en selectividad y duración, y uno de ellos son las nanopartículas de plata y titanio ideales para la incorporación en membrana y así reducir el derrame en membranas poliméricas, aunque el costo aún sigue siendo elevado para un tratamiento de aguas, a gran escala es importante mantenerse al corriente de los avances y tratar de replicar experiencias exitosas de otros países en nuestra propia comunidad. (Chavez, 2018)



## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Es imprescindible entender las condiciones y el proceso de formación de las nanopartículas metálicas para controlar sus propiedades en base a las aplicaciones requeridas.
- ✓ Los científicos plantean la necesidad de trabajar intensamente en el rango de 0 a 100 nanómetros, ya que en este tramo las nanopartículas no tienen propiedades idénticas, de manera que sus efectos y reacciones tampoco serán idénticos.
- ✓ En los últimos años se han publicado numerosos estudios en los que aborda la síntesis, caracterización y aplicaciones de las nanopartículas metálicas, debido a sus interesantes propiedades y aplicaciones potenciales en diversos campos. Específicamente, presentan unas propiedades fisicoquímicas únicas, como su estabilidad química, gran área superficial y propiedades ópticas asociadas a la presencia de plasmones superficiales.
- ✓ Se ha llevado a cabo la búsqueda de referencias en base a datos científicos. Se aprendió a ser capaz de gestionar adecuadamente la información obtenida, mejorando así la capacidad de análisis y síntesis del tema.

## 7. REFERENCIAS:

Elena, C., Carlos, B.L., Pedro, S., y Jose, M. (2014). *El nanomundo en tus manos*. Barcelona, España. Editorial Planeta S.A.

Ríos, G., Giannini, C., Siliqi, D., Altamura, D., Sibillano, T., Solís, J y Gómez, M. (2015). *Estudio morfológico y estructural de nanopartículas de Cu O empleando técnicas de dispersión de luz y rayos X*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*.81(3), 254-262.

Albaladejo-María, J. (2014). *Síntesis de Aminas Propargílicas, Indolizinas y Chalconas Catalizadas por Nanopartículas de Cobre*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. España.

Pedro, S y Antonio, C. (2013). *Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica*. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, pp.38. *Perfiles Norteamericanos*. disponible en:

<file:///C:/Users/Wilmer/Desktop/209-330-1-PB.pdf>

Patricia, C. (2016). *Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud*. *Revista Pediátrica del Hospitas de Niños de Buenos Aires*. 58(260), 19-28.

Patricio, M. (2006). *NanoFotónica: hacia el control sub-micrométrico de la luz*. Madrid, España. *El lento despertar de la nanotecnología en España*.

Guadalupe, M y José, R. (2007). *La nanociencia y nanotecnología: una revolución en curso*.

Henrique, M. (2017). *Es increíble que el Gobierno español no invierta en investigación*. *Publico*, pp.1.

Angel-Slistan, G. (2005). *Determinación de los mecanismos de formación de nanopartículas de plata sintetizadas en etilén glicol utilizando caracterización teórica y experimental de la banda del Plasmón*. tesis doctoral. Universidad Sonora. Hermosillo, México.

Osorio-Abraham, M. (2011). *Síntesis y caracterización de nanotubos monocapa, nanotubos*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de nuevo león, facultad de ciencias físico matemáticas división de estudios de posgrado.

Mora, L., Arenas, G Y García, J. (2018). *Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal. Agroproductividad. 11(6), 85-90.*

Aleixandre, G. (2008). *Técnicas de deposición química en fase de vapor (CVD). Instituto de ciencias de materiales de madrid. disponible en:*

<https://www.icmm.csic.es/fis/espa/cvd.html>

Joel- Rengifo, M. (2016). *Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre por el proceso poliol asistido vía microondas. Tesis de licenciatura. UNMSM. Lima.*

Alicia, A., Ana, H y Paloma, M. (2016). *Aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias. 10(2), 1-17.*

Banda, S. (2018). *Cianobacterias, aliadas en la síntesis verde. Agencia Informativa Conacyt, pp.1.*

Dagoberto, C. (2017). *Nanotecnología en la Agricultura. bionatura. 2(3), 48-53.*

Luis- Sánchez, R. (2015). *“Nanorods de ZnO obtenidos a partir de semillas fabricadas por “Spray Pyrolysis” y “Spray Gel”: Influencia de los parámetros de depósito en las propiedades morfológicas, estructurales, ópticas y actividad fotocatalítica”. Tesis Doctoral. UNI. Lima.*

Charles, P., y Owens, F. (2007). *Introduccion a la Nanotecnologia.(pág. 108). españa. Editorial Reverté, S. A.*

Isabel, G. Angel, V. Alfonso, C. (2004). *Clusters metálicos. Grupo de investigacion Quimica Molecular y Estructural. Disponible en:*

<http://giqimo.com/lineas-investigacion/clusters-metalicos/>

Rodríguez, P., Garrido, B., Bonafos, C., López, O., Varona, G., Morrante, J., Monserrat, R., Rodríguez, R y Lorente García. (2000). *Síntesis por implantación iónica de nanocristales semiconductores para dispositivos en tecnología de Si. Boletín de la Sociedad Española Cerámica de Vidrio. 39(4), 458-462.*

*José- Solís, P. (2012). Síntesis de nanoestructuras en 1D de ZnO para su uso en aplicaciones de energía y ambientales. Tesis Doctoral. Universidad Autonoma de nuevo León. México.*

*Gustavo, L., Raúl, M., Fernando, O., Víctor, S., Trujillo., Jérica V y Rafael, V. (2013). Nanoestructuras Metálicas. Barcelona, España. Editorial Reverte.*

*Miguel, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. Real Sociedad Española de Química. 105(1), 33-41.*

*Pamela- Reyes, R. (2012). Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre y óxido de cobre y su incorporación en una matriz polimérica y el estudio de sus propiedades antibacterianas. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. México.*

*Ramírez., Huirache., Espinosa., Guillermo y Padrón. (2010). Estado del arte del proceso sol-gel en México. Ciencias Ergo Sum. 17(2), 183-188.*

*Belarda- de la Mata, B. (2012). Uso de la tecnología cvd (chemical vapor deposition) en la obtención de nanoestructuras de compuestos de carbono. Tesis de licenciatura. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.*

*Diego, M., Paloma, M., Alicia, A. y Ana, H. (2013). Nanopartículas de oro: aplicaciones y citotoxicidad in vitro. Acta Toxicol. Argent. (2013) 21 (2): 102-109*

*Alfonso- Viudez, N. ( 2011). síntesis, caracterización y ensamblaje de nanopartículas de oro protegidas por monocapas moleculares. tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.*

*Xavier, G., Ubalo, O., Selene, S., Domingo, F y Miguel, Y. (2009). síntesis y propiedades de nanopartículas monometálicas y biometálicas oro-plata. Ingenierías. 12(45), 72-78.*

*Marco, G., Domingo, L., René, F y Leonardo, C. (2010). Aplicaciones de nanotecnología en fuentes alternas de energía. Repositorio Académico Digital. 13(49), 53-62.*

Cheang, W., Oliver, R., Rodríguez, F., Hernández, J y Sosa, C. (2001). *Relationship between the Ag depth profiles and nanoparticle formation in Ag-implanted silica*. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 13(45). 34-107.

Ávalos, A, Haza, AI, Mateo, D y Morales, P. (2013). *nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente silver nanoparticles: applications and toxic risks to human health and environment*. *Revista Computense de Ciencias Veterinarias*. 7(2), 1-23.

Ingle, A y Rai, M. (2012). *Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 94(2), 287-293.

Hellen, R. (2002). *Physical Vapor Deposition*. Departamento de Ciencia de Los Materiales, Universidad Simom Bolivar. Disponible en:

<http://prof.usb.ve/hreveren/PVD%20pagina.htm#PVD>

Tomás, C. y José, R. (2008). *Catalizadores para la proteccion del medio ambiente*. *Universidad Internacional de Andalucía*. 1(2), 65-77.

Grandez-Arias, F. (2016). *Síntesis, caracterización estructural y actividad antimicrobial de nanopartículas de cobre recubiertas con plata (Cu@Ag) obtenidas por electroless plating*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional mayor de san Marcos. Lima, Perú.

Fernando, G. (2016). *Nanopartículas Metálicas y sus Aplicaciones*. Portal Innovación y Ciencia, pp.1.

Higareda-Rodríguez, C. (2011). *Estudio del Efecto de la molienda de Ultra Alta Energia en la Producción a Escala de Polvos de Magnesio y su Hidruración*. Tesis de Maestria. Instituto Politecnico Nacional, Centro de Investigacion e Innovación Tecnologica. Mexico.

*Herramientas para la nanofabricación*. (2016). Obtenido de *Materiales Avanzados y Nanotecnología*. Disponible en:

[http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/5912/mod\\_resource/content/1/Herramientas%20para%20la%20nanofabricaci%C3%B3n%20-%202016.pdf](http://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/5912/mod_resource/content/1/Herramientas%20para%20la%20nanofabricaci%C3%B3n%20-%202016.pdf)

- Alvaro, B., Cefe, L., Gaspar, A y Garcia, V. (2006). *NanoFotónica: hacia el control sub-micrométrico de la luz. Nanociencia y nanotecnología. 1(34), 55-149.*
- Gerardo, L. (2013). *Nanopartículas de plata: tecnología para su obtención, caracterización y actividad biológica. Medigraphic. 2(1), 18-22.*
- Arenas-Ramos, C. (2017). *síntesis de nanopartículas metálicas a partir de extractos de raspo de uva. tesis de licenciatura. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.*
- Juan, I. (2008). *Nanomedicina: nanopartículas con aplicaciones médicas. SCIELO. 31(1), 7-10.*
- Gargiulo-Julian. (2017). *Impresión óptica de nanopartículas metálicas. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Argentina.*
- Laureano, C.(2015). *Métodos de síntesis de las nano partículas. Nuevas Tecnologías y Materiales. Disponible en:*  
<http://nuevatecnologiasymateriales.com/propiedades-de-las-nano-particulas/>
- Cesar, T. (2014). “*Nanobiosensores: Aplicaciones en la frontera entre las nanociencias y la biomedicina*” por Luis Liz-Marzán. *Cuaderno de Cultura Científica, pp.1.*
- López-Pavón, L. (2011). *Síntesis y caracterización de Nanopartículas y películas delgadas por métodos físicos a partir de aleaciones con efecto de memoria de forma. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de nuevo León, facultad de Ingeniería Mecánica Y Eléctrica. Mexico.*
- Estefanía, M., Nelly, R., Alexis, D y Victor, G. (2015). *Síntesis y caracterización de nanopartículas de dióxido de titanio obtenidas por el método de sol-gel. Revista Politecnica. 36(3), 1-7.*
- Vanessa, M. (2018). *Catalizadores, una alternativa para la contaminación atmosférica. URBE Digital, PP.1.*
- Campos-Vaquero, B. (2011). *Síntesis y caracterización de los  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  y  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  por molienda mecánica. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. España.*

- Avalos-Murillo, L. (2014). Resonancias Ópticas en las nanopartículas metálicas. Tesis de Maestría. Centro de investigación científica y de educación superior de Ensenada, Baja California. México.*
- Aquino-Granados, P. (2016). Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc obtenidas por el método de precipitación para su aplicación en pintura esmalte comercial. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos facultad de Química e Ingeniería Química E.A.P. de química, Lima-Perú.*
- Ramon, O. (2017). Por qué tu coche es más contaminante y no puede circular durante las restricciones de tráfico. La Vanguardia, pp.1.*
- Rodríguez-Cobo, E. (2012). Síntesis, Propiedades y Funcionalización de Clústeres Metálicos. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Química, España.*
- Ana, B. y Juan, S. (2017). Nanomateriales, mucho más que miniaturización. Andalucía, pp.1.*
- Georgina, C. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. Scielo. 9(1), 52-61.*
- Rodolfo, Z. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas. Mundo Nano.5(1), 69-81.*
- María, N., José, M.S., Claudia, Q., Martha, C., Jesús, G. y Facundo, R. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. Tecnología y Ciencias del Agua. 3(1), 87-100.*