



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2026>

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

***Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio***

***Bactericidal potential of bismuth oxide and titanium dioxide nanoparticles***

***Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto e dióxido de titânio***

Dayana Mishell Álvarez-Constante <sup>I</sup>

[dayana.alvarez@epoch.edu.ec](mailto:dayana.alvarez@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6500-932X>

Carlos Rolando Rosero-Erao <sup>II</sup>

[carlos.roseroe@epoch.edu.ec](mailto:carlos.roseroe@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-2691-5578>

**Correspondencia:** [dayana.alvarez@epoch.edu.ec](mailto:dayana.alvarez@epoch.edu.ec)

\***Recibido:** 28 de mayo de 2021 \***Aceptado:** 20 de junio de 2021 \* **Publicado:** 05 de julio de 2021

- I. Ingeniera en Biotecnología Ambiental. Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Mgs. En Biodiversidad y Cambio Climático, Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Docente investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

La nanotecnología surge como una necesidad actual, la cual se define como el análisis, síntesis, diseño, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas a través del control de la materia a nanoescala, así como el aprovechamiento de las propiedades de la materia a ese nivel. El uso de los óxidos metálicos en nanopartículas es una tecnología nueva en la lucha contra agentes bacterianos patológicos de gran eficacia que a su vez evita la generación de resistencia en bacterias a diferentes antibióticos. Las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  son las más estudiadas en este ámbito, por otra parte, se buscan nuevos elementos que puedan cumplir el mismo cometido. Para los análisis se realizó una preparación del catalizador acoplado  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , para la preparación del material fotocatalítico se llevó a cabo mediante el método de la impregnación húmeda. En un experimento típico, el soporte sólido  $\text{TiO}_2$  y la especie activa  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  se suspendieron en 5 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  y luego lavadas con peróxido varias veces para eliminar el exceso de iones  $\text{NH}_4^+$  y el sólido húmedo se secó a  $110^\circ\text{C}$  durante 24h con el fin de ser activado mediante calcinación a  $300^\circ\text{C}$  durante 3 h (Vázquez Olmos et al., 2018). En comparación con el  $\text{TiO}_2$ , el aumento de la actividad fotocatalítica del  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  se relacionó con la disminución del tamaño de cristal y a mayor densidad superficial de grupos hidroxilo. Se identificó varias metodologías para la fabricación de nanopartículas de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  que cumplen funciones bactericidas y bacteriostáticas, con menor uso de materia prima para su síntesis, sin embargo, se requiere mayor investigación de en esta área para evaluar los contrapuntos que pueda tener la aplicación de las nanopartículas.

**Palabras clave:** Nanotecnología; fotocatalítico; bactericida; resistencia bacteriana;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

## Abstract

Nanotechnology emerges as a current need, which is defined as the analysis, synthesis, design, manipulation and application of materials, apparatus, and systems through the control of matter at the nanoscale, as well as exploiting the properties of matter at that level. The use of metal oxides in nanoparticles is a new technology in the fight against highly effective pathogenic bacterial agents that in turn prevents the generation of resistance in bacteria to different antibiotics.  $\text{TiO}_2$  nanoparticles are the most studied in this field, on the other hand, new elements are sought that can fulfill the same task. A preparation of the coupled catalyst  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  was carried out for the analysis, and the preparation of the photocatalytic material was carried out using the wet

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

impregnation method. In a typical experiment, solid support  $\text{TiO}_2$  and active species  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  were suspended in 5 ml of  $\text{NH}_4\text{OH}$  and then washed with peroxide several times to remove excess  $\text{NH}_4^+$  ions and the wet solid was dried at  $110^\circ\text{C}$  for 24 h in order to be activated by calcination at  $300^\circ\text{C}$  for 3 h (Vázquez Olmos et al., 2018). In comparison with  $\text{TiO}_2$ , increased photocatalytic activity of  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  was associated with decreased crystal size and higher surface density of hydroxyl groups. Several methodologies were identified for the manufacture of  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  nanoparticles that perform bactericidal and bacteriostatic functions, with less use of raw material for their synthesis. However, further research is required in this area to evaluate the counterpoints that may have the application of nanoparticles.

**Keywords:** Nanotechnology; photocatalytic; bactericidal; bacterial resistance;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

### Resumo

A nanotecnologia surge como uma necessidade atual, que é definida como a análise, síntese, projeto, manipulação e aplicação de materiais, dispositivos e sistemas através do controle da matéria à nanoescala, bem como o uso das propriedades da matéria a esse nível. O uso de óxidos metálicos em nanopartículas é uma nova tecnologia na luta contra agentes bacterianos patológicos de grande eficácia que, por sua vez, evita a geração de resistência em bactérias a diferentes antibióticos. As nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  são as mais estudadas neste campo, por outro lado, novos elementos que podem cumprir a mesma tarefa estão sendo procurados. Para as análises, foi realizada uma preparação do catalisador acoplado  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , para a preparação do material fotocatalítico foi realizado pelo método de impregnação úmida. Em um experimento típico, o suporte sólido  $\text{TiO}_2$  e a espécie ativa  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  foram suspensos em 5 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  e depois lavados com peróxido várias vezes para remover o excesso de íons  $\text{NH}_4^+$  e o sólido úmido foi seco a  $110^\circ\text{C}$  durante 24 h para ser ativado por calcinação a  $300^\circ\text{C}$  durante 3 h (Vázquez Olmos et al., 2018). Comparado ao  $\text{TiO}_2$ , o aumento da atividade fotocatalítica do  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  estava relacionado à diminuição do tamanho dos cristais e à maior densidade superficial dos grupos hidroxil. Várias metodologias foram identificadas para a fabricação de nanopartículas  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  que cumprem as funções bactericidas e bacteriostáticas, com menor utilização de matéria-prima para sua síntese, entretanto, é necessário mais pesquisas nesta área para avaliar os contrapontos que podem ter a aplicação de nanopartículas.

**Palavras-chave:** Nanotecnología; fotocatalítica; bactericida; resistência bacteriana; TiO<sub>2</sub>; Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## Introducción

Las Nanopartículas (NP), son partículas que pueden llegar a tamaños mínimos, pero siguen siendo más grandes que los átomos y moléculas (Vázquez Olmos et al., 2018). Las NP poseen características particulares dependiendo su tipo y aunque no hay una sola definición de estas, la mayoría de los autores piensan que son porciones de materia diferenciadas del medio donde se encuentran y cuya longitud, al menos en una de sus dimensiones está entre 1 y 100 nanómetros (Banisharif et al., 2015), tienen excelentes propiedades mecánicas, térmicas, ópticas y eléctricas, que van en relación al tamaño y forma de las partículas (Frejo et al., 2011). Su formación puede surgir naturalmente por incendios forestales o erupciones volcánicas. Una de las características predominantes en este tipo de partículas es que la relación entre el número de átomos superficiales y el tamaño de la partícula es de carácter exponencial (Betancur et al., 2016). Por ello propiedades relacionadas con la superficie, como las eléctricas, mecánicas, magnéticas, ópticas o químicas son diferentes a las de los mismos materiales a escala no nanométrica, jugando un papel importante en la toxicidad de estas partículas, lo cual permite determinar a futuro el riesgo potencial que presentan, mediante nuevos ensayos adaptados a sus propiedades (Frejo et al., 2011).

La aplicación continua de esta nueva tecnología en los últimos años ha dado lugar a la nanotecnología, siendo una ciencia que permite el análisis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas a través del control de la materia a nanoescala, así como el aprovechamiento de la materia a ese nivel (Campos Gómez, 2014). La nanotecnología nos brinda un sin número de aplicaciones, entre las cuales se destacan la producción de celdas solares, almacenamiento de hidrógeno con hidruros metálicos y tratamiento de aguas basados en procesos fotocatalíticos (Delgadillo, 2015). Por ello, es necesario la búsqueda de nuevas alternativas de tratamiento, lo que ha despertado el interés en el uso de agentes antimicrobianos como las nanopartículas (Espejo et al., 2019).

Una de las ventajas del uso de nanomateriales de gran resistencia es su vida útil y el bajo consumo de energía, por ejemplo, los nanotubos de carbono de gran resistencia, con propiedades eléctricas y una alta conductividad térmica es utilizado en varias ramas de la ciencia como la electrónica y óptica (López-Vásquez et al., 2016). Pese a que se ha suscitado controversia por el uso de estos

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

nanomateriales por sus efectos adversos que tanto en el ser humano como en el medio ambiente, cada vez se realizan análisis más profundos para conocer el riesgo potencial, ya que uno de los conflictos conduce precisamente a que por su pequeño tamaño puede atravesar la piel o la barrera hematoencefálica, siendo casi imperceptible detectar problemas a tiempo (Ökte et al., 2014).

### **Clasificación de nanopartículas**

**Nanopartículas de origen natural:** Dentro de las NP que se producen de forma natural tenemos a aquellas de origen mineral o medioambiental como el polvo de arena del desierto, humos derivados de la actividad volcánica o provocadas por fuegos forestales (Otálora B. et al., 2015).

**Nanopartículas antropogénicas:** Estas NP son aquellas que se producen en procesos industriales a gran escala, un ejemplo claro es la pirólisis, que por procedimientos a altas temperaturas llega a formar productos secundarios como humo de sílice, partículas ultrafinas de óxido de titanio y metales ultrafinos (Otálora B. et al., 2015).

### **Nanopartículas en el aire**

Las NP indistintamente de su origen día a día se incorporan a los compartimentos del medio ambiente por distintas vías (Frejo et al., 2011). El aire puede transportar las NP, debido a su ínfimo tamaño y mínimo peso, esto aumenta su probabilidad de viajar largas distancias e interactuar con otros contaminantes generando efectos indeseables sobre el medio ambiente y la salud. (Frejo et al., 2011) La cantidad de NP en el aire es similar en las zonas urbanas y rurales, encontrándose entre 106 a 108 NP por litro de aire (Frejo et al., 2011).

### **Distribución por el agua**

Debido al aumento de la superficie específica y reactividad de las NP, se puede producir un aumento de su biodisponibilidad y toxicidad, por ejemplo, las NP de CuO son hasta 50 veces más tóxicas que las partículas de CuO de mayor tamaño en crustáceos, algas, protozoos y levaduras y las NP de TiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fueron casi dos veces más tóxicas que sus partículas de mayor tamaño frente a nematodos (Frejo et al., 2011).

### **Nanopartículas contra resistencia bacteriana**

La resistencia a los antimicrobianos es un problema actual de gran magnitud que compromete la salud de las futuras generaciones, que básicamente surgió por la falta de conciencia en el uso de antimicrobianos y la venta libre de estos (Camou et al., 2018).

Una de las más grandes ventajas y la razón de ser de mucho interés investigativo es que las nanopartículas luchan contra enfermedades infecciosas que son causadas por microorganismos sin provocar resistencia en estos, beneficiando al paciente que se someta a este tipo de tratamiento (Vázquez Olmos et al., 2018).

Este actuar de las NP se debe a que sus propiedades físicas y químicas (dependiendo de la especie) actúa sobre los sistemas biológicos de los microorganismos, siendo bacteriostáticos o bactericidas (López-Vásquez et al., 2016). Por lo que su aplicación podría ir más allá de combatir infecciones intra e interhospitalarias, sino también en la purificación de aguas e industrias alimentarias (Raghunath & Perumal, 2017).

### **Nanopartículas de óxidos metálicos**

En varios estudios se ha demostrado que los óxidos metálicos como el TiO<sub>2</sub> en nanopartículas son los ideales para interactuar contra bacterias especialmente a la hora de combatir contra las que han generado resistencia a la acción de los antibióticos, dicha actividad bactericida depende de su composición química, forma y tamaño (Raghunath & Perumal, 2017).

### **Dióxido de Zinc**

El óxido de zinc (ZnO), se caracteriza por la capacidad fotocatalítica contra especies químicas y biológicas, es un material semiconductor de la familia II-VI, ya que el Zn y O pertenecen a los grupos II y VI respectivamente, con una amplia banda de energía de 3.3 eV y una elevada energía de exciton (60 meV) a temperatura ambiente, por lo cual posee una alta tasa de efectividad en presencia de grupos gram negativos (Junio, 2017).

### **Oxido de Cobre**

El cobre en su forma natural inactiva gérmenes, bacterias y virus en las superficies. Por lo cual el óxido de cobre tiene propiedades bactericidas comprobadas científicamente, que son de gran ayuda

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

para los sistemas de salud ya que es el único metal que tiene el reconocimiento científico y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) en marzo del 2008 registró al cobre como un metal bactericida (Assis et al., 2018).

Por lo cual el óxido de cobre es un poderoso agente antimicrobiano que se está utilizando en los más diversos tipos de vestimentas para frenar la propagación de bacterias y el amplio abanico que se presenta para el tratamiento de aguas contaminantes no ha llegado a su punto clímax debido a que su síntesis es menor con la de otras nanopartículas con un mayor costo (Febré et al., 2016).

### **Dióxido de plata**

Al igual que la mayoría de los óxidos binarios, el  $\text{Ag}_2\text{O}$  es un polímero tridimensional con un enlace covalente uniendo el metal con el óxido (Assis et al., 2018). Es isoestructural con el  $\text{Cu}_2\text{O}$ , es decir que comparten la misma estructura, por lo cual se espera que el  $\text{Ag}_2\text{O}$  sea insoluble en todos los solventes, excepto mediante una reacción, lo cual en estudios se ha podido observar que es altamente efectivo en presencia de familias de salmonellas, E. coli que comúnmente se encuentran en aguas residuales (Román et al., 2017).

### **Dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ )**

En la actualidad el dióxido de titanio se ha catapultado como uno de los semiconductores más investigados dentro de los procesos de oxidación avanzada, por propiedades fotoconductoras y fotocatalíticas, ubicándose como uno de los óxidos de mayor impacto ya sea en oxidación de compuestos orgánicos volátiles o degradación de compuestos orgánicos (Solís Maldonado, 2011). Cabe mencionar que otro punto a favor de estos óxidos es sin duda las características texturales y estructurales que poseen, en conjunto con su cristalinidad, desempeñando de esta forma un papel importante en numerosos procesos catalíticos (Vázquez Olmos et al., 2018).

### **Bismuto**

Es un metal pesado, cuyo estado oxidativo preferido es  $3+$ , en el cuerpo humano es relativamente benigno. Las partículas de bismuto que más encontramos en literatura son nanopolvos, nanoalambres, y nanoformas, que se pueden obtener a partir de sales de bismuto al reducirse (Solís Maldonado, 2011).

## Oxido de bismuto

El óxido de bismuto es un compuesto que se presenta en cuatro estructuras cristalinas principales de las cuales dos de ellas son estables y dos metaestables. Las fases cristalinas metaestables son transformadas a fases estables fácilmente cuando su ambiente se encuentra en condiciones de baja temperatura y regresan a su fase inicial cuando son sometidas a altas temperaturas. Sus NP actualmente son muy estudiadas debido a su efecto bactericida, que está siendo investigada netamente para el tratamiento de aguas en distintas partes del mundo.

El  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  es un sistema complejo con cuatro polimorfos principales:

$\alpha$  (monoclínico),  $\beta$  (tetragonal),  $\gamma$  (centrado en el cuerpo cúbico) y  $\delta$  (cúbico centrado en las caras), cada uno con propiedades físicas únicas (Hincapié et al., 2012). Por ejemplo, a 300 K, la banda brecha  $E_g$  de  $\alpha$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  es igual a 2.85 eV, mientras que para la fase  $\beta$  es 2,58 eV (Velarde, 2013); este tipo de estructuras son eficientes también en el agua, tanto como bactericida e inhibidores de crecimiento dependiendo de la estructura.

Las propiedades de óxido de bismuto,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  han sido estudiados en los últimos años, desde su monoclinica la estructura es uno de los materiales más importantes para sintetizar una serie de altas temperaturas superconductores y ferroeléctricos que contienen Bi compuestos (Valencia, 2013).

En particular, la alta aplicabilidad de la fase  $\delta$  es bien conocida por su alto contenido iónico de oxígeno. Esta propiedad se debe al oxígeno que están vacantes en el tipo de fluorita celosía, según Osorio (2013) la estructura electrónica de  $\text{Bi}^{3+}$  se caracteriza por la presencia de 6s<sup>2</sup> pares de electrones, lo que conduce a una alta polarización del red de cationes, movilidad de iones de óxido y la capacidad de la  $\text{Bi}^{3+}$  para adaptarse a entornos muy desordenados (Osorio, 2013); con los cuales facilita la inhibición específica de bacterias gram negativas.

## Materiales y métodos

Varios autores han realizado la preparación de un catalizador acoplado con  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , donde el material fotocatalítico se produjo mediante el método de la impregnación húmeda. En este experimento el soporte sólido, es decir,  $\text{TiO}_2$  y la especie activa que en este caso será  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  se suspendieron en 5 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  2.5 % (Carlo Erba) y 50 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % (Merck), bajo fuerte agitación magnética a temperatura ambiente. La suspensión amarillenta obtenida fue sonicada

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

durante 180 min para promover una mezcla homogénea de los reactivos. Posteriormente el precipitado fue filtrado y lavado con agua desionizada varias veces para eliminar el exceso de iones  $\text{NH}_4^+$  y el sólido húmedo se secó a  $110^\circ\text{C}$  durante 24h con el fin de ser activado mediante calcinación a  $300^\circ\text{C}$  durante 3h. Por otro lado, López-Vásquez realizó la identificación de las fases cristalinas y las propiedades estructurales de los fotocatalizadores preparados se llevó a cabo mediante difracción de rayos X. El espectro de reflectancia difusa (UV-Vis DRS) fue determinado en un espectrofotómetro Shimadzu UV-Vis 2600 ( $\text{BaSO}_4$  fue utilizado como referencia) y la identificación de las vibraciones de enlace, se determinó mediante espectroscopía infrarroja a temperatura ambiente en el rango de  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ .

Así mismo Okte en su estudio utilizó cristales de  $\text{TiO}_2$  para la degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales de la industria litográfica, mediante el uso de una lámpara de Xe de 20W ubicada a 10 cm sobre la superficie de la suspensión reaccionante, la cual además de emitir radiación en el espectro visible, presentó una absorbancia de 365 nm. Para cada experimento, 0.125 g de compuesto fueron adicionados a 250 mL de agua residual y transferida a un vaso de precipitado de 300 mL el cual se usó como reactor. Antes de iniciar la irradiación, la suspensión fue agitada en la oscuridad durante 30 min favoreciendo el equilibrio de adsorción. Luego de 5 h de tratamiento, se tomaron de 5 mL de muestra y se pasaron a través de un filtro de membrana (Nylon  $0.45\ \mu\text{m}$ ) con el fin de remover el catalizador en suspensión.

**Tabla 1:** Síntesis de nanoestructuras de bismuto

Precursor	Técnica	Material obtenido
Bismutato de sodio ( $\text{NaBiO}_3$ )	Exposición de una sal de bismuto, Bismutato de sodio ( $\text{NaBiO}_3$ ), a un haz de electrones a temperatura ambiente en un TEM	Nanopartículas de bismuto con estructura romboédrica y diámetros de 6 nm
	Proceso poliol. Reacción de reducción de bismutato de sodio con etilenglicol en presencia de polivinilpirrolidona o de $\text{Fe}^{3+}$ a $200^\circ\text{C}$ en un reactor Parr.	Nanocubos de bismuto con una longitud de arista $\sim 60\text{-}80$ nm. Nanoplatos triangulares con una longitud de arista de $200\text{-}500$ nm. Nanoesferas con un diámetro de 75 nm. Nanocinturones con longitudes de hasta $80\ \mu\text{m}$ y anchos de hasta 600 nm
Citrato de bismuto (III)	Método de microemulsión inversa empleando citrato de bismuto (III), borohidruro de sodio, NP9 poli (oxietileno) nonil fenol éter, polivinilpirrolidona, éter de petróleo, solución de amoníaco y NP5 poli (oxietileno) nonil fenol éter	Nanopartículas de bismuto en fase romboédrica con un tamaño promedio de 20 nm de diámetro.

### Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

Gránulos de bismuto metálico	Técnica de depósito en fase vapor de oxidación de metal.	Nanoalambres de óxido de bismuto con diámetros de 13-42 nm y longitudes de varias $\mu\text{m}$ . Nanoflores de óxido de bismuto con estructuras tipo pétalo con 15-17 capas y tamaños de 225-260 nm.
Bismutato de sodio	Reducción de bismutato de sodio con etilelenglicol en presencia de polivinilpirrolidona o acetona.	Se forman nanoalambres y nanoesferas de bismuto; también es posible obtener nanocinturones de Bi/Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> al cambiar algunos parámetros de la reacción.
Oxícloruro De Bismuto (BiOCl)	Método, hidrotermal y solvotermal en un reactor Fisher-Porter empleando diferentes agentes estabilizantes orgánicos (Valencia, 2013).	BiOCl de 100 nm a 90 nm con estructuras romboidales.

### Discusión y resultados

Con base en los datos obtenidos, el tamaño de cristal de TiO<sub>2</sub> disminuyó con el aumento del porcentaje de Bi, debido a las condiciones de preparación del material, tales como el pH. Al presentarse el óxido de bismuto en mayor proporción en el material, disminuye el tamaño del cristal. En este caso, los átomos de Bi no reemplazan los átomos de Ti en la estructura del TiO<sub>2</sub>, puesto que el radio de Bi<sup>3+</sup> (0.096 nm), es mayor que el de Ti<sup>4+</sup> (0.068 nm). Las propiedades ópticas fueron determinadas mediante UV-Vis DRS, demostrando que, para el TiO<sub>2</sub>, la absorbancia en la región visible no fue significativa, mientras que la reflectancia de los compósitos preparados fue mucho menor entre 390 y 500 nm debido a la contribución del Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Velarde, 2013).

En general, se notó una disminución del ancho de banda cuando la proporción de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aumentó en el material, lo que implica una excitación de los fotoelectrones y huecos con un mejor aprovechamiento de la luz visible. La presencia de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con alta dispersión sobre partículas de TiO<sub>2</sub> claramente impidieron el crecimiento cristalino del TiO<sub>2</sub> durante el proceso de calcinación. Se ha reconocido que los grupos superficiales hidroxilo juegan un papel importante en la reacción foto catalítica por inhibir la recombinación del par e<sup>-</sup>/h<sup>+</sup> y producir especies activas con el oxígeno (Mamonova et al., 2015).

Estudios recientes, evidencian que las propiedades foto catalíticas óptimas contribuyen con la resistencia a la temperatura, buena actividad fotocatalítica y desempeño como antibacteriano ante la presencia de luz visible (Betancur et al., 2016).

Wang en varios estudios evaluó la actividad antimicrobiana de TiO<sub>2</sub> y Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dopada con zinc e itrio por el método de sol gel contra las bacterias Escherichi Coli y Sthapylococus Aureas. Los

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

resultados mostraron que existió una disminución considerable en la viabilidad celular y que dicho efecto se conserva incluso cuando el material compuesto no está expuesto a la luz visible, aunque en menor proporción.

Otros estudios reportan como materiales dopantes del  $\text{TiO}_2$  al estaño-manganeso y al boro-glicerol, apuntan a tener un alto potencial, dado que se generaron complejos estables, logrando nanopartículas con una superficie rica en grupos hidroxilos que causan la ruptura de la membrana celular, potenciando la actividad antibacteriana de los materiales (Wang et al., 2014).

Existen pocos reportes en la literatura y en este trabajo se citan tres de ellos. En el primer estudio realizado por Wang y colaboradores (Muniesa Pérez, 2009), se evalúan las propiedades electrónicas y ópticas del  $\text{TiO}_2$  por medio de análisis computacional y caracterización química, obteniéndose como resultado mejoras relevantes en la banda intermedia del  $\text{TiO}_2$  lo que conlleva a actividad fotocatalítica en el espectro de luz visible.

El segundo artículo publicado también en 2014, por Dashora y colaboradores, los cuales analizaron la influencia de las nanopartículas  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dopadas con Cu y N sobre la actividad catalítica solar, el diseño experimental planteado permitió concluir que a mayor concentración de dopante aumenta el número de defectos intrínsecos de  $\text{TiO}_2$  (Mamonova et al., 2015).

En un trabajo posterior, Jaiswala analizó las mismas nanopartículas y sus resultados fueron bastante positivos, ya que demostraron que la absorción de la luz visible fue más alta, una característica que atribuyen a la formación de una banda intermedia aislada (IB.) que se produce debido a la fuerte hibridación entre los átomos de cobre y nitrógeno (Garcés et al., 2004).

Los mayores porcentajes de remoción de carga contaminante se presentan con el sistema acoplado 0.25:1.0 y pH 9.0, mientras que se pueden lograr reducciones de DQO en condiciones ácidas (pH 5.0) y alcalinas (pH 9.0) sin importar la relación Bi/Ti (Mamonova et al., 2015).

### **Conclusión**

Las NP surgen como un importante avance tecnológico en los ámbitos de salud y medioambiente, que en la actualidad están enfocados en la lucha contra agentes bacterianos que atentan la integridad humana y cada vez son más complejos de derrotar.

## Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

Un problema gravísimo con el que convivimos hoy en día es la resistencia que están generando múltiples bacterias, dificultando el trabajo de médicos a la hora de combatir infecciones pues cada vez hay menos tratamientos efectivos contra agentes patógenos.

Es así que en la búsqueda de tratamientos que actúen a las necesidades inmediatas de detener agentes bacterianos, surge la nanotecnología con partículas que se han mencionado en esta recopilación, cuyos resultados satisfacen a los investigadores que han detectado que las NP no generan resistencia en los microorganismos, característica que abre nuevas puertas para detener a estos enemigos invisibles.

La distribución por el agua de las Nanopartículas tuvo lugar debido al aumento de la superficie específica y reactividad de estas, pues generan un aumento de su biodisponibilidad y toxicidad, como lo reflejaron.

Las NP de CuO son hasta 50 veces más tóxicas que las partículas de CuO de mayor tamaño en crustáceos, algas, protozoos y levaduras.

Las NP de TiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fueron casi dos veces más tóxicas que sus partículas de mayor tamaño frente a nematodos, mientras que dióxido de titanio en la actualidad se ha catapultado como uno de los semiconductores más investigados dentro de los procesos de oxidación avanzada, por propiedades fotoconductoras y fotocatalíticas.

El TiO<sub>2</sub> tiene una reconocida aplicación contra bacterias con varias citas bibliográficas en sus haberes, por lo que resulta llamativa las últimas investigaciones que analizan la efectividad del Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ante el mismo fin, por su menor capacidad invasiva y menor consumo de recursos al momento de sintetizar nanopartículas de este óxido metálico, que además goza de varias vías para la obtención de estas, tal cual se ha resumido en la tabla 1.

### Referencias

1. Assis, M., Cordoncillo, E., Torres-Mendieta, R., Beltrán-Mir, H., Mínguez-Vega, G., Oliveira, R., Leite, E. R., Foggi, C. C., Vergani, C. E., Longo, E., & Andrés, J. (2018). Towards the scale-up of the formation of nanoparticles on  $\alpha$ -Ag<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> with bactericidal properties by femtosecond laser irradiation. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19270-9>

Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

2. Banisharif, A., Khodadadi, A. A., Mortazavi, Y., Anaraki Firooz, A., Beheshtian, J., Agah, S., & Menbari, S. (2015). Highly active Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped TiO<sub>2</sub> photocatalyst for degradation of trichloroethylene in air under UV and visible light irradiation: Experimental and computational studies. *Applied Catalysis B: Environmental*, 165, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.10.023>
3. Betancur, C. P., Hernández Montes, V., & Buitrago Sierra, R. (2016). Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 35(4), 366–381.
4. Camou, T., Zunino, P., & Hortal, M. (2018). Cicatrización por segunda intención en carcinomas basocelulares extensos luego de la cirugía micrográfica de Mohs: a propósito de un caso clínico. *Revista Medica Del Uruguay*, 34(3), 277–284. <https://doi.org/10.29193/rmu.34.3.6>
5. Campos Gómez, D. E. (2014). Características y aplicaciones de los nanomateriales.
6. DELGADILLO, R. H. (2015). Facultad De Ciencias Biológicas Actividad Bactericida , Antifúngica Y Antiviral De Nanopartículas De Bismuto Contra Patógenos Orales. 12, 2–45.
7. Espejo, G., Jiménez, J., Rosas, S., Gallardo, D., Burgos, R., & Moreno, F. (2019). Efecto antibacteriano de nanopartículas de ZnO sobre *Staphylococcus aureus* y *Salmonella typhi*. *Antibacterial effect of ZnO nanoparticles on Staphylococcus aureus and Salmonella typhi. Arnaldoa*, 26(1), 421–430.
8. Febré, N., Silva, V., Báez, A., Palza, H., Delgado, K., Aburto, I., & Silva, V. (2016). Antibacterial activity of copper salts against microorganisms isolated from chronic infected wounds. *Revista Médica de Chile*, 144(12), 1523–1530. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872016001200003>
9. Frejo, M., Díaz, M., Lobo, M., García, J., & Capó, M. (2011). Nanotoxicología ambiental : retos actuales. *Medicina Balear*, 26(2), 36–46.
10. Garcés, L. F., Mejía, E. A., & Santamaría, J. J. (2004). Photocatalysis as an alternative to treat waste water. *Revista Lasallista*, 1(1), 83–92.
11. Hincapié, C. M. B., Cárdenas, M. J. P., Orjuela, J. E. A., Parra, E. R., & Olaya Florez, J. J. (2012). Physical-chemical properties of bismuth and bismuth oxides: Synthesis,

Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

- characterization and applications | Propiedades físico-químicas del bismuto y óxidos de bismuto: Síntesis, caracterización y aplicaciones. *DYNA* (Colombia), 79(176), 139–148.
12. Junio, L. (2017). Acción Bactericida de Nanopartículas de Plata Utilizando extractos de Aloe Vera , para una posterior Aplicación en vendajes y parches. 4(11), 53–58.
  13. López-Vásquez, A., Almanza, O., Acosta, M. F., & Suárez-Escobar, A. (2016). Degradación Fotocatalítica de Contaminantes Orgánicos Presentes en Agua Residual de la Industria Litográfica mediante Óxido de Bismuto(III)/Óxido de Titanio (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>). *Informacion Tecnologica*, 27(1), 147–158. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100016>
  14. Mamonova, I. A., Babushkina, I. V., Norkin, I. A., Gladkova, E. V., Matasov, M. D., & Puchin'yan, D. M. (2015). Biological activity of metal nanoparticles and their oxides and their effect on bacterial cells. *Nanotechnologies in Russia*, 10(1–2), 128–134. <https://doi.org/10.1134/S1995078015010139>
  15. Muniesa Pérez, M. T. (2009). Bacteriófagos portadores del gen de la Stx 2 en aguas. 94–96. <http://www.tdx.cat/handle/10803/2411>
  16. Ökte, A. N., Tuncel, D., Pekcan, A. H., & Özden, T. (2014). Characteristics of iron-loaded TiO<sub>2</sub>-supported montmorillonite catalysts: β-Naphthol degradation under UV-A irradiation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89(8), 1155–1167. <https://doi.org/10.1002/jctb.4393>
  17. Osorio, M. (2013). INSTITUTO TECNOLÓGICO. October. <https://doi.org/10.13140/2.1.2146.9447>
  18. Otálora B., D. M., Olaya Flórez, J. J., & Dussan, A. (2015). Microestructura y propiedades eléctricas de bismuto y óxido de bismuto depositados por magnetron sputtering UBM. *Revista Mexicana de Física*, 61(2), 105–111.
  19. Raghunath, A., & Perumal, E. (2017). Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future. En *International Journal of Antimicrobial Agents* (Vol. 49, Número 2, pp. 137–152). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2016.11.011>
  20. Román, L. E., Castro, F., Maúrtua, D., Condori, C., Vivas, D., Bianclii, A. E., Paraguay-Delgado, F., Solis, J. L., & Gómez, M. M. (2017). CuO nanoparticles and their

Potencial bactericida de nanopartículas de óxido de bismuto y dióxido de titanio

---

- antimicrobial activity against nosocomial strains. *Revista Colombiana de Química*, 46(3), 28–36. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n3.62386>
21. Solís Maldonado, C. (2011). Influencia del método de preparación del catalizador de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dopada con Fe en la combustión catalítica del tricloroetileno (TCE). 1–165. <https://core.ac.uk/download/pdf/76587025.pdf>
  22. Valencia, J. (2013). Síntesis y caracterización de cristales de oxiclورو de bismuto por métodos hidrotermal y solvotermal en presencia de diferentes agentes estabilizantes. 130. <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015743/015743.pdf>
  23. Vázquez Olmos, A. R., Vega Jiménez, A. L., & Paz Díaz, B. (2018). Mecanosíntesis y efecto antimicrobiano de óxidos metálicos nanoestructurados. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 11(21), 29. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62545>
  24. Velarde, E. (2013). Obtención Y Caracterización De Nanopartículas De Bismuto Y Óxido De Bismuto Por Ablación Láser En Medio Líquido. Uaem.
  25. Wang, Y., Xue, X., & Yang, H. (2014). Modification of the antibacterial activity of Zn/TiO<sub>2</sub> nano-materials through different anions doped. *Vacuum*, 101, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2013.08.006>

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).