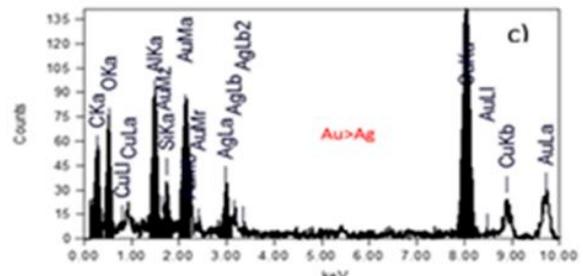
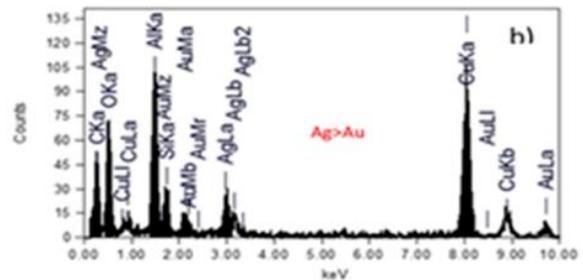
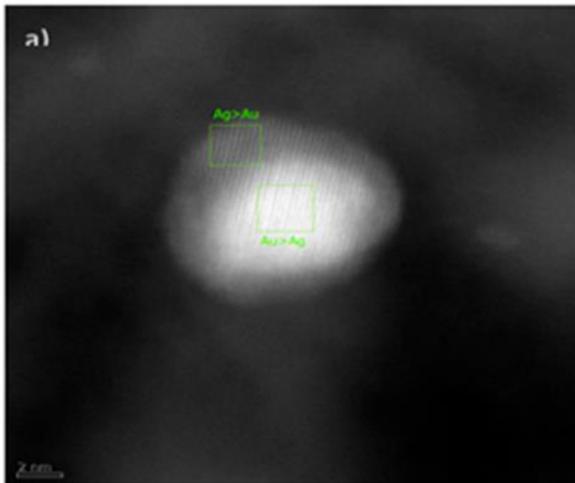
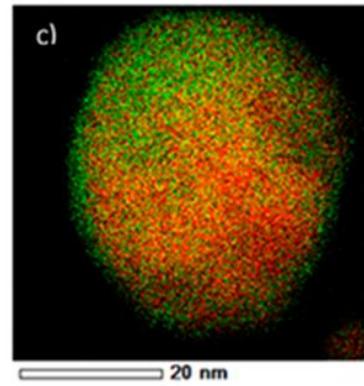
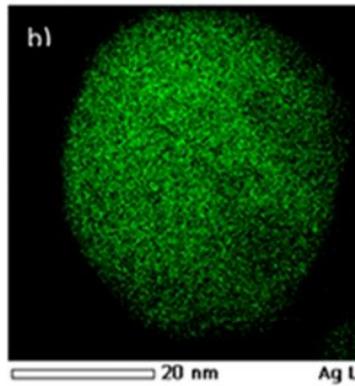
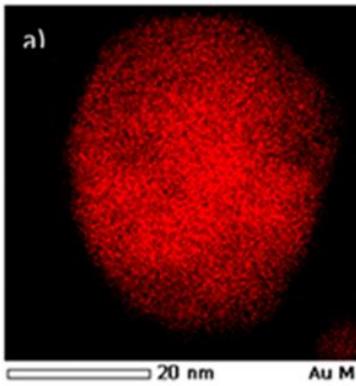
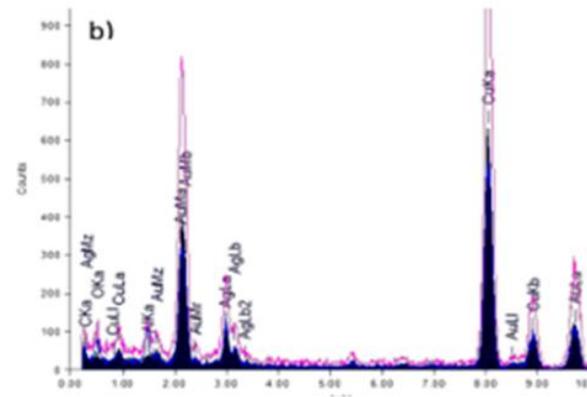
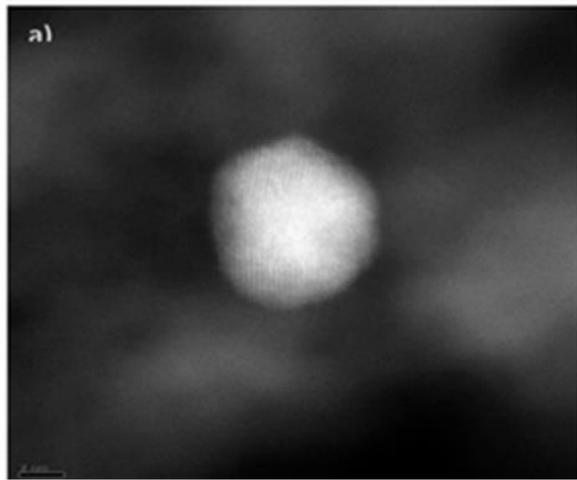


Nanoestructuras metálicas obtenidas por la técnica de ablación laser: aplicaciones



NANOESTRUCTURAS METÁLICAS OBTENIDAS POR LA TÉCNICA DE ABLACIÓN LASER: APLICACIONES



La

<p>Nombres: Jesus Manuel Apellidos: Rivera Esteban</p> <p>jriveraesteban@hotmail.com jgiancolli.61@gmail.com jrivera@unat.edu.pe</p> <p>Claro: 940438528 Entel: 904246414</p>	 <p>CFP0218</p>
---	--

Pampas – Tayacaja

2024

NANOESTRUCTURAS METÁLICAS OBTENIDAS POR LA TÉCNICA DE ABLACIÓN LASER: APLICACIONES

© **Jesus Manuel Rivera Esteban**

<https://orcid.org/0000-0002-1790-6955>

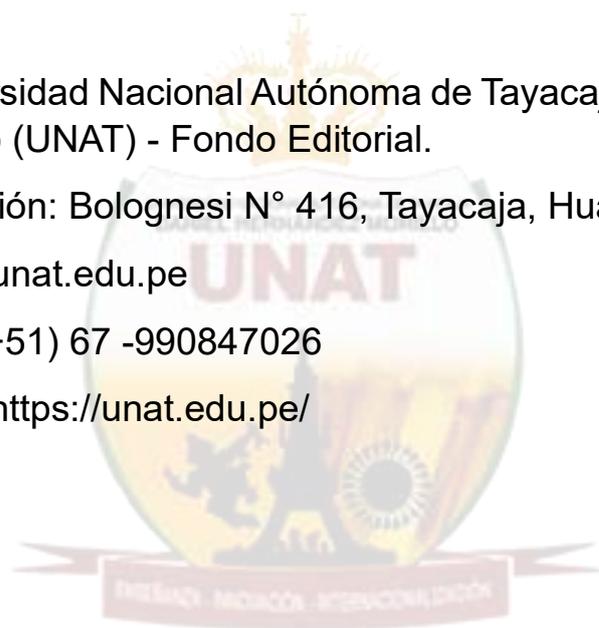
© Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) - Fondo Editorial.

Dirección: Bolognesi N° 416, Tayacaja, Huancavelica -Perú

info@unat.edu.pe

Telf: (+51) 67 -990847026

Web: <https://unat.edu.pe/>



Primera edición digital: Agosto 2024

Libro digital disponible en <https://fondoeditorial.unat.edu.pe>

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú

N° 202408038

ISBN: 978-612-5123-27-5

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento información, la transmisión de ninguna otra forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

PROLOGO

Jesus Manuel Rivera Esteban, Doctor en Física por la Universidad Nacional de Trujillo - Perú. Ex Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica. Ex Profesor principal de la de la Universidad Nacional de Huancavelica – Perú, Actualmente, Profesor principal de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Huancavelica - Perú, colaboró en investigaciones relacionada en el tema “Desarrollo y producción de nanorods de oro con potencial aplicación en terapia fototérmica” (FINCyT: CONCYTEC) y Desarrollo de técnicas láser para aplicaciones en nanotecnología (Canon minero-Universidad Nacional de Trujillo). Realizó una estancia de investigación en el Centro de Ciencias Aplicada y Desarrollo Tecnológico - CCADET- de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde participó en el Programa PAPIIT IN 106216 “Estudio del efecto de la temperatura y alta presión en nanoestructuras y nanopartículas por espectroscopia óptica y Raman” de la DGAPA-UNAM.

Participo en la 2da Escuela OPTOANDINA 2015- Quito-Ecuador, con un poster científico y en la semana de la Nanociencia y Nanotecnología en la Universidad Católica de Quito Ecuador en setiembre de 2017, Participo en la Semana de Nanociencia y Nanotecnología en la UNMSM y en el Encuentro Científico - Universidad Ricardo Palma, Lima Perú, con exposiciones orales y poster científico. Participa como expositor en diversas Universidades públicas, privadas y en Instituciones de Investigación Científica como la Sociedad Peruana de Físicos (SOPERFI) y la Sociedad Química del Perú (SQP).

Realizó investigación en el Instituto de Ciencias Aplicada y Tecnológico - ICAT- de la Universidad Nacional Autónoma de México, en nanoespectroscopia, en noviembre de 2019.

Es asociado activo de la Sociedad Peruana de Física (SOPERFI) y pertenece al Colegio de Físicos del Perú con número de registro: CFP0218.

La presente es la segunda entrega, que complementa a la primera que está relacionada con la Síntesis y caracterización óptica de nanopartículas de oro y plata, y que es consistente con la actual que denominamos “Nanoestructuras Metálicas: Aplicaciones”

Tabla de Contenido

PROLOGO	4
INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	7
1.1. Un poco de historia.	7
1.2. Método de Síntesis de Nanopartículas Metálicas.	9
1.3. Nanopartículas metálicas.	11
1.4. Síntesis de Nanoestructuras por el método físico.....	11
1.5. Nanoestructuras metálicas.....	11
1.6. Reducción química de una sal metálica	13
CAPITULO II: APLICACIONES	15
2.1. Aplicaciones de las nanopartículas metálicas	15
2.2. Administración de fármacos basada en nanopartículas	17
2.3. El Grafeno en Medicina y Biomedicina: Una Revolución en Marcha	23
2.4. Uso del Grafeno en Medicina: Innovación Terapéutica y Diagnóstica	24
2.5. Biosensores de Grafeno: Detectando Enfermedades con Precisión sin Precedentes. 24	
2.6. Grafeno en el Cuerpo Humano: Compatibilidad y Efectividad Inigualables.....	24
2.7. Grafeno en la Sangre: Una Revolución en la Monitorización de la Salud	24
2.8. El Auge de la Investigación y la Comercialización en Aplicaciones de Grafeno en Medicina.....	25
2.9. Empresas Pioneras: Transformando la Investigación en Realidad Clínica	25
2.10. Perspectivas Futuras: Una Revolución Sostenible en la Salud.....	25
CAPITULO II: EL GRAFENO	34
Propiedades del grafeno	36
3.1. Aplicaciones del grafeno	37
3.2. Aplicaciones que ya son una realidad con el grafeno	38
3.3. Etiquetas de seguridad	38
3.4. Palas de pádel.....	39
3.5. Sensores médicos.....	39
3.6. A tener en cuenta con el grafeno	40
3.7. Industrialización del grafeno	41
3.8. ¿Qué depara el futuro?	42
3.9. Aplicaciones futuras del grafeno	43
3.10. Iniciativa Graphene Flagship	43
3.11. Un estudio internacional	46
3.12. Dispositivos superrápidos.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	51

INTRODUCCIÓN

Los nanomateriales son materiales inferiores a 100 nm. Este campo de estudio presenta enormes posibilidades en la ingeniería, la industria, la robótica, la biomedicina y el sector energético, y ocupan un lugar fundamental en el *diseño* de muchos materiales, dispositivos y estructuras. Los nanomateriales se pueden crear a partir de minerales o sustancias químicas y sus propiedades fisicoquímicas son diferentes que cuando presentan un tamaño micro o macro. Al reducirse el tamaño a escala nanométrica, aumenta la superficie expuesta, lo que favorece una mayor interacción entre átomos y moléculas cercanas, dando lugar a diversas atracciones y repulsiones que provocan efectos superficiales, electrónicos y cuánticos, afectando a los comportamientos ópticos, eléctricos y magnéticos de los materiales. Lo que implica que con una pequeña cantidad de nanomaterial se pueden modificar y mejorar significativamente las propiedades de otros materiales. Ejemplo de ello son los polímeros con nanotubos de carbono, que hacen que el material dopado obtenga una ligereza, resistencia mecánica y funcionalidad superior a un metal.

Los nanomateriales siempre han existido, pero las técnicas de creación, manipulación e ingeniería de materiales a esta escala solo se han desarrollado en las últimas décadas gracias a las innovaciones tecnológicas, como el microscopio de túnel de barrido, que permiten trabajar en la nanoescala.

Los nanomateriales también han mejorado el sector energético, gracias al ahorro de energía. Por ejemplo, los paneles solares utilizan nanopartículas para mejorar su eficiencia. En el caso de las turbinas eólicas, cuanto más grande es la pala más electricidad se puede generar, por ello se utilizan nanomateriales más resistentes y ligeros. También pueden cumplir funciones medioambientales esenciales, por ejemplo, se ha descubierto que el grafeno puede filtrar las sales comunes del agua para hacerla potable, una solución que podrían conducir a una desalinización y potabilización del agua de mar para su consumo.

Presentamos tres capítulos a saber, capítulo I: Generalidades, capítulo II: abarcan las aplicaciones en los campos: físicos, químicos y biológicos. Capítulo III. El grafeno considerado como material del futuro y aplicaciones más importantes.

CAPITULO I. GENERALIDADES

Nanotecnología, área de la ciencia relativamente nueva. No obstante, se considera que es la base del desarrollo tecnológico de los próximos años. Dentro del campo de estudio de la nanotecnología encontramos las nanoestructuras metálicas. Las propiedades más importantes, tenemos:

- La conductividad eléctrica,
- Propiedades magnéticas, ópticas y de catálisis,

Nuestra secuencia de trabajo, puede ser de la siguiente manera.

- Presentar los trabajos experimentales desarrollados por el autor.
- Presentar los últimos resultados de las investigaciones con nanoestructuras metálicas y sus aplicaciones.

1.1. Un poco de historia.

Richard Feynmann (premio nobel de física 1965), mencionó que; al poder estudiarlo y tener el concepto de los átomos y las moléculas, se podría interpretar de la mejor manera los fenómenos del Universo, dando paso a la siguiente frase: “En el fondo hay espacio de sobra”.

Hoy la investigación referida a este campo de las nanoestructuras es a nivel mundial en diferentes áreas como la genética, la medicina, la química, la bioquímica y la ciencia de los materiales. Es decir, el estudio, el diseño, la creación, la síntesis, la manipulación y la aplicación de nuevos materiales, han adquirido mayor relevancia en las últimas décadas. Cuando se manipula a escala “nano” se modifican sus propiedades fisicoquímicas y entonces se tiene muchas ventajas para su aplicación.

Las partículas coloidales son inestables y exhiben una tendencia a aglomerarse, así que deben ser estabilizadas para conservar el coloide. La utilización de un agente estabilizante origina una fuerza de repulsión que contrarresta las fuerzas de Van der Waals que atraen dos partículas a distancias cortas. La estabilización se puede dar por efectos electrostáticos, por impedimento estérico o por una combinación de los dos.

Estabilización electrostática

Compuestos iónicos disueltos en solución pueden causar este tipo de estabilización. La presencia de iones sobre la superficie de las partículas y sus respectivos contraiones, producen una doble capa (cada capa tiene una carga y opuesta a la otra) a su alrededor. Esto genera una repulsión de tipo electrostático entre las partículas (Figura 1) y evita la agregación si la diferencia de potencial en la doble capa es lo suficientemente alta.

Estabilización estérica

La adsorción de moléculas (polímeros, oligómeros, dendrímeros) o la coordinación de ligandos sobre la superficie de las partículas proporcionan una capa protectora que evita la agregación (Figura 1b). Cuando dos capas protectoras comienzan a interpenetrarse se da un aumento local de la concentración de moléculas adsorbidas, originando una repulsión osmótica ya que el disolvente trata de restablecer el equilibrio mediante la dilución de las moléculas y separando de este modo las partículas.

Estabilización electrostérica

Se puede combinar la estabilización electrostática y la estérica. Los compuestos usados (agentes tensoactivos iónicos) contienen un grupo polar capaz de generar una doble capa eléctrica y una cadena lipofílica capaz de proporcionar la repulsión estérica (Figura 1c) [6].

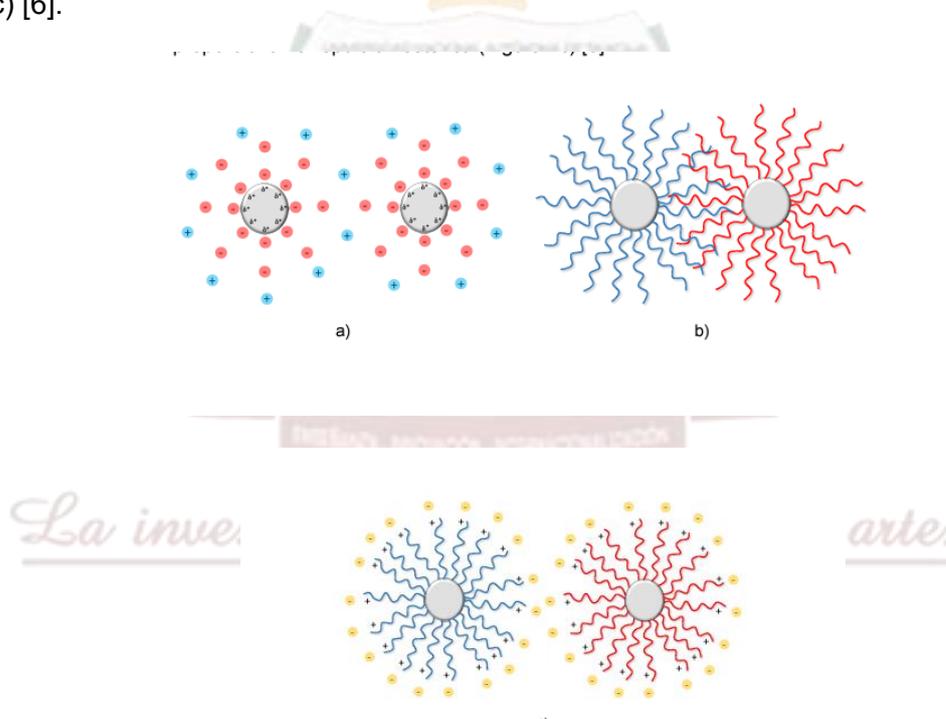


Figura 1. Tipos de estabilización en los coloides metálicos

1. Los nanomateriales se clasifican en dos categorías:

1. Fullerenos. Son una clase de alótropos de carbono, estos incluyen a los nanotubos de carbono.
2. Nanopartículas inorgánicas. Pueden ser sintetizados utilizando semiconductores u óxidos.

Los nanomateriales, presentan propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y químicas muy interesantes por ello sus diversas aplicaciones en diversos campos de la investigación.

1.2. Método de Síntesis de Nanopartículas Metálicas.

Método físico. Se caracterizan por ser procesos en los que no hay transformaciones químicas, normalmente se comienza con el material del cual se quiera obtener las nanopartículas. Aleado mecánico, devaste ionico, el método de Joule, Método de dispersión de atomos, metales solvatados, ablación laser.

Método químico. Aparecen reacciones químicas, generalmente de reducción de iones metálicos para la formación de nanopartículas metálicas polimerización de óxidos metálicos para obtener nanopartículas de óxidos metálicos, como es el caso del método de sol – gel. Microemulsión, Reducción química de sales metálicos, Método de sol-gel.

Método biológico. Síntesis de nanopartículas de metales nobles por biorreducción. Son aquellos que emplean algunos organismos vivos, como hongos o incluso las lombrices de tierra.

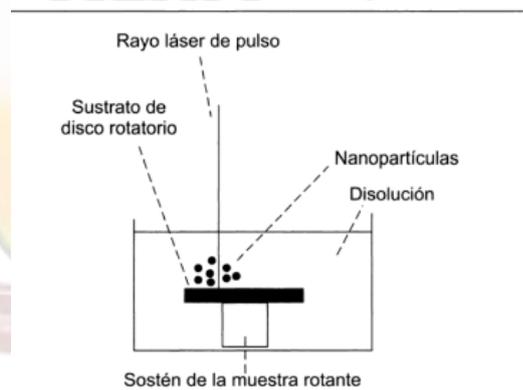


Figura No. 3. Técnica de Ablación Laser para producir nanopartículas metálicas

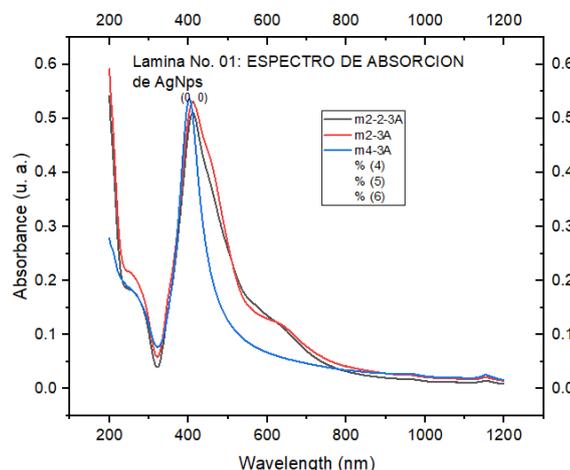


Figura 3. Espectro de absorción de AgNPs. Obtenidas por ablación laser.

Clasificación de los nanomateriales

Se pueden clasificar teniendo en cuenta el número de dimensiones, así, se tienen cuatro tipos básicos:

1. Materiales de dimensiones cero (0D). Las tres dimensiones se encuentran en el régimen nanométrico, NPs < 10 nm, estos son denominados puntos cuánticos.
2. De una dimensión (1D). Teniendo una longitud variable, conservan una sola dimensión en el régimen nanométrico, como es el caso de los nanoalambres y los nanotubos.
3. De dos dimensiones (2D). Con áreas de tamaño indefinido, pero manteniendo su espesor < 100 nm, como es el caso de las películas delgadas.
4. De tres dimensiones (3D). En la que los sólidos tridimensionales, están conformados por unidades nanométricas.

En la siguiente lamina aparecen los tipos de estructuras y los nanomateriales.

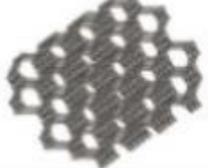
Estructura	Nanomateriales
Cero dimensional 0D 	<ul style="list-style-type: none"> - Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
Uni dimensional 1D 	<ul style="list-style-type: none"> - Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
Bi-dimensional 2D 	<ul style="list-style-type: none"> - Monocapas - Nanorrecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
Tri-dimensional 3D 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores

Figura No. 4. Tipos de nanoestructuras.

1.3. Nanopartículas metálicas.

Dentro de las nanoestructuras metálicas, los más comunes y más utilizados hasta la fecha son las nanopartículas metálicas, esto debido a su relativa facilidad para su producción y la posibilidad de poder controlar su tamaño y su forma, esto es elemental para su posterior aplicación.

Las nanopartículas, es la unidad fundamental más pequeña que puede comportarse como una unidad completa en términos de propiedades y transporte.

$$1 \text{ nm} < \text{Nps} < 100 \text{ nm} \rightarrow 1 \text{ Np} = 10 \text{ nm}$$

Los aspectos de tamaño y superficie se hacen más evidentes, esto implica en sus propiedades magnéticas en la conducción electrónica, en la temperatura de fusión o en la reactividad química, entre otros.

Es posible controlar selectivamente por la modificación de su tamaño, su morfología y su composición.

1.4. Síntesis de Nanoestructuras por el método físico.

Existen dos rutas para la preparación de nanopartículas metálicas:

1. TOP DOWN. MACROSCOPICAS ----- NPs.
2. BOTOM UP. Proceso inverso al ítem anterior.

Estos métodos se inician con átomos que se agregan en una solución o en fase gaseosa para formar partículas de tamaño nanométrico.

1.5. Nanoestructuras metálicas

Los nanomateriales han sido ampliamente estudiados en la industria privada y militar, especialmente en materiales cerámicos y polímeros, entre otros. Estos nanomateriales generalmente se clasifican en dos categorías:

- los fullerenos y
- las nanopartículas inorgánicas.

Los fullerenos son una clase de alótopos de carbono, y estos incluyen a los nanotubos de carbono que despertaron un gran interés por sus propiedades eléctricas y por su potencial utilización en la medicina como fijadores de antibióticos en la estructura

celular de algunas bacterias que presentaban resistencia a los mismos. En el caso de las nanopartículas inorgánicas, estas pueden ser sintetizadas utilizando metales semiconductores u óxidos.

Este tipo de nanomateriales, especialmente las nanopartículas metálicas, resultan altamente interesantes para grupos de investigación de todo el mundo, por las propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y químicas que aportan. Hoy en día existen diferentes métodos para la síntesis de nanopartículas metálicas, estos pueden ser físicos, químicos y biológicos. Dentro de los métodos físicos, entre otros, se encuentran el aleado mecánico, el desbaste iónico, el método de Joule, el método de dispersión de átomos metálicos solvatados o la ablación láser. En cuanto a los métodos químicos, entre otros, se puede mencionar la microemulsión, la reducción química de sales metálicas, el método electroquímico o el método de sol-gel; algunas de sus aplicaciones son en la remoción de colorantes textiles y en la reducción de Cr(VI) en medio acuoso.

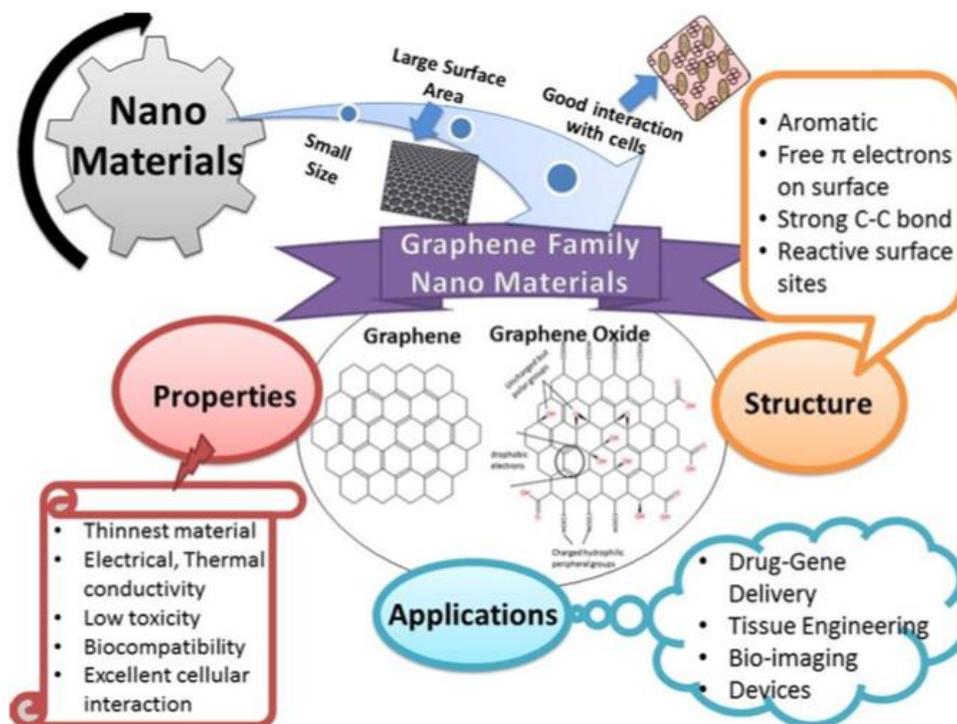


Figura No. 5. Nanomateriales. Propiedades, estructura y aplicaciones

Síntesis de nanopartículas metálicas

Las nanopartículas metálicas pueden obtenerse principalmente por dos métodos (Figura 2): (a) el método físico (top-down), consiste en la subdivisión mecánica del metal y (b)

el método químico (bottom-up), que consiste en la nucleación y el crecimiento de las partículas a partir de los átomos metálicos. El método químico ofrece ventajas en cuanto al control del tamaño y reproducibilidad. A continuación, se presentan los métodos químicos más importantes en la preparación de nanopartículas.

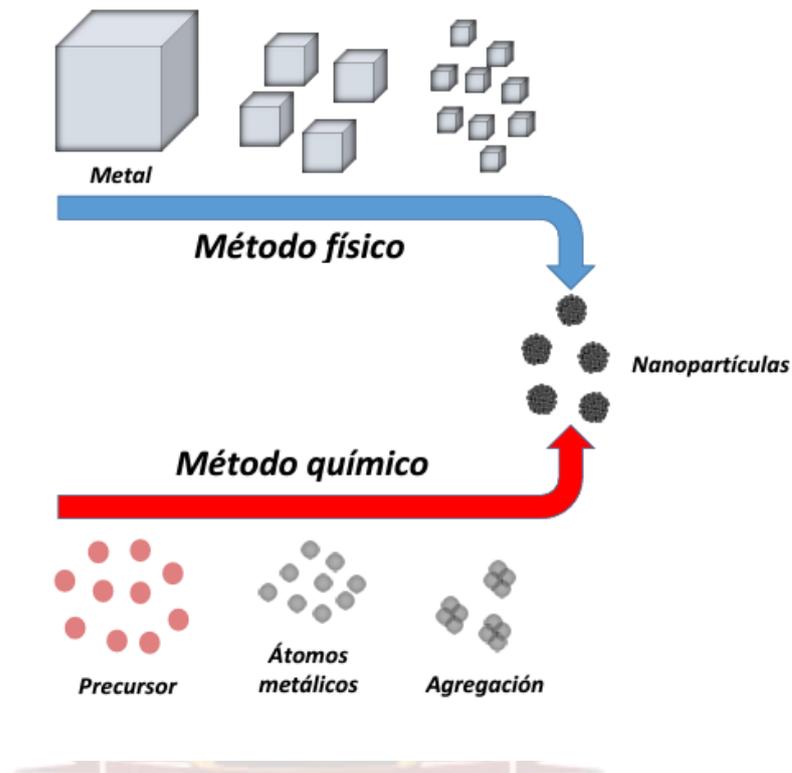


Figura 6. Métodos de síntesis de nanopartículas metálicas

1.6. Reducción química de una sal metálica

Consiste en la reducción química de sales de metales con agentes reductores en presencia de estabilizantes para evitar la agregación.

Descomposición térmica, fotoquímica o sonoquímica

Consiste en la descomposición de compuestos organometálicos bien sea por la acción del calor, la luz o a fenómenos de cavitación acústica dando lugar al respectivo elemento cerovalente que da lugar a las partículas, protegidas por un estabilizante.

Síntesis por deposición química de vapor

El método consiste en la evaporación de precursores metálicos y la posterior reacción o descomposición para dar lugar a los coloides metálicos sobre un sustrato.

Síntesis electroquímica

Consiste en utilizar como fuente de los átomos metálicos un ánodo de sacrificio (para metales fácilmente oxidables como Cu o Ni). Este ánodo es oxidado en presencia de una sal de amonio cuaternario (este compuesto actúa simultáneamente como electrolito y estabilizante). Los cationes metálicos se dirigen hacia el cátodo donde son reducidos produciendo los átomos que formarán las nanopartículas. Para metales más difíciles de oxidar (Pt, Rh o Ru) el precursor es una sal metálica.

Desplazamiento de ligandos de compuestos organometálicos (aproximación organometálica)

Este método consiste en la reducción o remoción de ligandos de algunos complejos organometálicos, preferiblemente cerivalentes. Al reducir o remover los ligandos, los átomos metálicos son liberados y mediante el uso de un agente estabilizante se generan las nanopartículas. La obtención de las nanopartículas de Pd(0) consiste en la hidrogenación en condiciones suaves (3 bares de hidrógeno H₂) del precursor metálico [Pd₂(dba)₃] (tris(dibencilidenacetona)dipaladio(0)) en un solvente (THF o DCM) a temperatura ambiente durante 18 horas en presencia del correspondiente ligando estabilizante en un reactor Fischer-Porter. Durante este proceso, el doble enlace CH=CH del dba es hidrogenado. La hidrogenación del dba origina 1,5-difenil-3-pentanona y los átomos de paladio (0) que son liberados generan las nanopartículas que son estabilizadas por el ligando (Figuras 6 y 7).

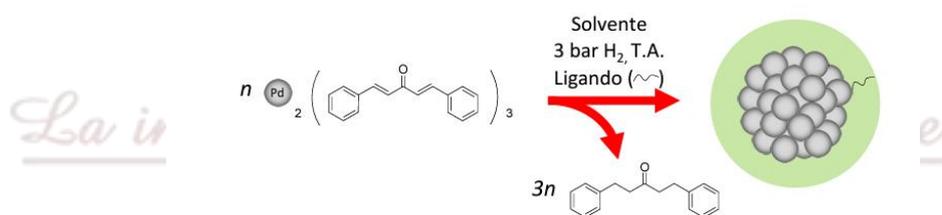


Figura 3. Síntesis de nanopartículas de Pd(0) mediante la aproximación organometálica [5,12,13].

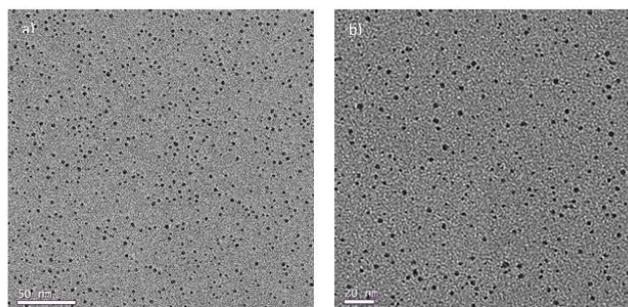


Figura 7. a) y b) Imágenes TEM de nanopartículas mono metálicas de Pd estabilizadas con un ligando en un medio orgánico (las partículas fueron obtenidas mediante la aproximación organometálica).

CAPITULO II: APLICACIONES

2.1. Aplicaciones de las nanopartículas metálicas

Comprende dos categorías:

1. **Propiedades mejoradas.** Abarca aquellas aplicaciones que ya han sido imaginadas pero que pueden beneficiarse del uso de nanocristales en términos de tamaño o el área superficial.
2. **Propiedades únicas.** Es un comportamiento más pequeño, pero con mayor potencial.

Las propiedades de las nanopartículas incluyen efecto de confinamiento cuántico, electrónicos, ópticos de superparamagnetismo y de superplasticidad por citar algunos ejemplos.

Con estos antecedentes se hace latente la importancia de las nanopartículas en el impulso y desarrollo de la tecnología actual y del futuro.

A continuación, se presentan las aplicaciones más usuales de las nanopartículas metálicas:

Electrodos (baterías/celdas de combustible)

Se requieren sistemas de almacenamiento de energía con eficiencia energética y una larga vida útil a bajo costo. Las tecnologías de almacenamiento de energía actuales no están a la altura y hay un gran interés en la mejora de las baterías y celdas de combustible. Se han obtenido electrodos de baterías con nanopartículas metálicas que operan a altas densidades de corriente con un ciclo de vida mucho más largo. Las nanopartículas metálicas son componentes esenciales de los catalizadores en la conversión electroquímica de energía y en los dispositivos de almacenamiento, incluyendo las celdas de combustible, baterías metal-aire y sistemas de separación de los elementos del agua.

Catalizadores

Estos materiales presentan actividad catalítica, propiedad que surge de sus estados electrónicos únicos y estructuras de superficie. Un catalizador es un material que aumenta la cinética de una reacción química, sin ser consumido en el proceso. Las nanopartículas bimetálicas se han establecido como una clase importante de catalizadores. Estos catalizadores en ciertos casos presentan una mejor actividad

catalítica en comparación con sus homólogos monometálicos debido a sus estructuras superficiales modificadas (en términos electrónicos y geométricos). Tales interacciones sinérgicas son más evidentes en los catalizadores intermetálicos (Figura 5), donde la probabilidad de interacción de metal a metal es mayor en comparación con otros sistemas (tales como las nanopartículas core-shell, Figuras 8).

Figura 8. a) Imágen HAADF-TEM de una nanopartícula core-shell (Au@Ag) soportada en alúmina, b) y c) Espectros EDX de las regiones señaladas en la imagen de la parte a).

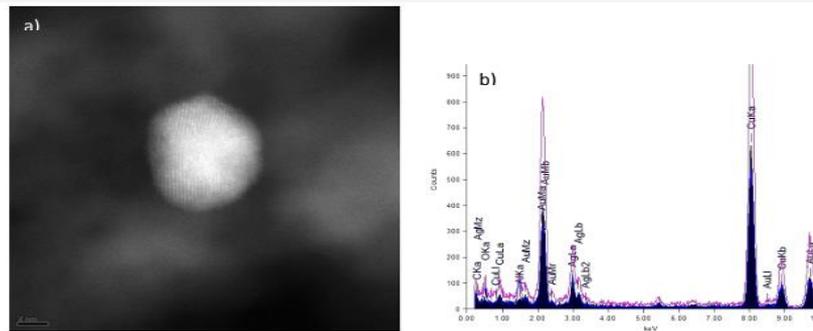


Figura 5. a) Imágen HAADF-TEM de una nanopartícula bimetalica AuAg soportada en alúmina, b) Espectros EDX de algunas regiones de una nanopartícula intermetálica AuAg soportada [19].

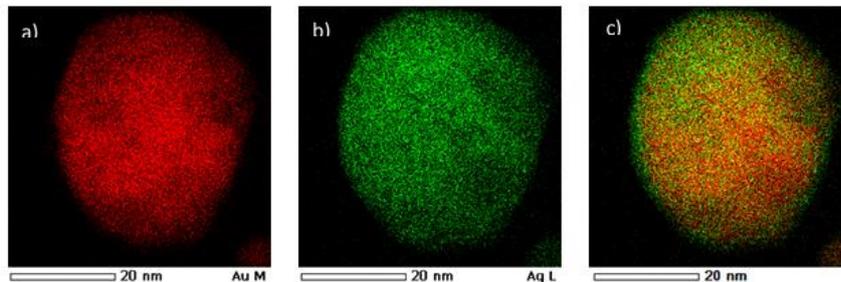
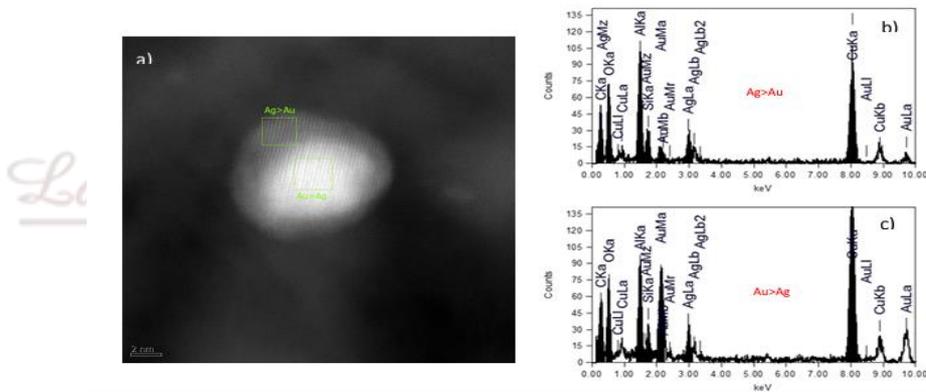


Figura 8. Mapeo elemental (EDX) de una nanopartícula core-shell (Au@Ag) soportada en alúmina para a) Au, b) Ag y c) Au y Ag superpuestos.

2.2. Administración de fármacos basada en nanopartículas

Las nanopartículas han sido aplicadas en diversos campos de la investigación biomédica durante bastante tiempo. Una aplicación prometedora en el campo de la nanomedicina es la administración dirigida de fármacos usando nanopartículas magnéticas que se llevan al tejido objetivo por medio de un campo magnético externo. Los materiales más comúnmente utilizados en la administración magnética de fármacos contienen nanopartículas metálicas o de óxidos metálicos.

Plasmónica

Un acoplamiento del plasmón en la superficie de las nanopartículas metálicas con un fotón incidente mejora una amplia variedad de fenómenos ópticos útiles, tales como la dispersión de radiación resonante (RLS), resonancia de plasmones superficiales (SPR) o dispersión Raman. Debido a estas propiedades ópticas únicas, las nanoestructuras plasmónicas de diferentes tamaños y formas han ganado una creciente popularidad en áreas tales como el diagnóstico del cáncer, la terapia fototérmica, así como la obtención de imágenes de células vivas, la detección de patógenos, biomoléculas e iones metálicos.

Electrónica

Hay dos métodos alternativos para la fabricación de dispositivos nanoelectrónicos, los métodos top-down y bottom-up. El método top-down es similar a las técnicas de fotolitografía actuales utilizadas para producir dispositivos microelectrónicos. El método bottom-up consiste en la construcción del dispositivo o circuito mediante el ensamblaje de nanobloques preformados. Hay una serie de nanobloques interesantes como los nanocristales y nanocables metálicos (tanto magnéticos y no magnéticos), nanocristales y nanocables semiconductores y nanotubos de carbono.

Sensores

Las nanopartículas metálicas pueden ser usadas para construir novedosos y mejorados dispositivos de detección, en particular, sensores electroquímicos y biosensores. La posesión de propiedades únicas como una mayor área superficial, actividad catalítica y una mejor transferencia de masa aumentan la sensibilidad y selectividad cuando se aplican en sensores electroquímicos por lo que es posible lograr límites de detección más bajos.

Celdas solares

Los nanomateriales plasmónicos pueden ofrecer vías prometedoras para abordar las limitaciones intrínsecas del rendimiento de las celdas solares orgánicas convencionales.

En concreto, materiales plasmónicos han sido ampliamente explotados para la promoción eficaz de la absorción de fotones en las capas activas orgánicas. Se han obtenido beneficios sinérgicos de nanoestructuras híbridas plasmónicas, tales 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.

APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA

ALIMENTACIÓN

Permite manipular y controlar el material a nivel atómico y molecular para, por ejemplo, envasar productos y preservarlos más tiempo; para hacerlos más resistentes al calor y a la contaminación microbiana y bacteriana y también para alterar la textura y el sabor. En general las aplicaciones en el campo de la alimentación se centran en:

- Agricultura y ganadería
- Crecimiento controlado de hormonas
- Nanosensores para detectar enfermedades en plantas y animales
- Nanosensores para controlar las condiciones del suelo y el crecimiento de cosechas
- Nanocápsulas para generar vacunas.

Procesado de alimentos

- Nanopotenciadores del sabor
- Nanopartículas para controlar la viscosidad de los alimentos
- Nanopartículas para detectar virus en los alimentos

En el envasado

- Anticuerpos adheridos a nanopartículas fluorescentes para detectar aditivos químicos y enfermedades
- Nanosensores biodegradables para controlar la temperatura, humedad y conservación de alimentos.
- Nanopartículas para evitar la absorción de alimentos
- Nanosensores electroquímicos para detectar alcohol

Como suplemento de alimentarios

- Nanopartículas para incrementar la absorción de nutrientes
- Nanogotas que contengan vitaminas para una mejor absorción
- Nanocapsulas para controlar la estabilidad de nutrientes

- Nanopartículas para llevar hasta las células humana los nutrientes sin afectar Al color y al sabor de los alimentos.

BIOLOGÍA

Dentro de esta disciplina, la nanotecnología, se conoce como nanobiología, nanobiotecnología o nanobioingeniería. Tiene por objeto lograr nuevos y diminutos instrumentos que aúnen las capacidades funcionales de moléculas individuales tanto de origen inorgánico como biológico. Es decir, lo que se pretende es emplear las propiedades intrínsecas de un material y crecer sobre él, gracias a interacciones propias de la física de superficies, alguna entidad biológica con alguna funcionalidad o aplicación específica.

En la literatura – revisión científica realizada recientemente el catálogo de aplicaciones

Abarca a:

- Chips de ADN
- Ingeniería de nanosistemas pensados para la reparación de tejidos.
- Minúsculos dispositivos en los que realizar diversas reacciones químicas
- Sensores y membranas con componentes biológicos para aplicaciones ambientales y en la industria alimentaria
- Motores biomoleculares
- Obtención de energía a partir de células fotovoltaicas que incorporan microorganismos
- Biopilas o pilas de combustión microbiano. Son dispositivos en el que los microorganismos metabolizan materia orgánica produciendo energía química (CO_2 y H^+) que la pila transforma en electricidad.
- Biocomputación basado en la capacidad de ADN para almacenar y procesar información.

FÍSICA

Esta disciplina, junto con la química y la biología, son las que aportan los principios necesarios para explotar la nueva tecnología. En el caso de la física, se debe indicar la mecánica cuántica como la rama más indicada en el estudio y exploración de esta tecnología. De forma general las aplicaciones y futuros desarrollos en el campo de la física se centran en:

Optoelectrónica (Nanofotónica)

- Elaboración de cristales fotónicos especiales para manipular la luz,

- Elaborar materiales fotónicos con estructura periódica para confinar la luz
- Elaborar LED más eficaces y de menor consumo energético
- Fabricación de ópalos y cristales fotónicos,
- Elaboración de chips ópticos mucho más rápidos que los chips electrónicos actuales
- Fabricar fotodetectores capaces de medir el tamaño de una molécula

Magnetismo

- Fabricación de imanes monoatómicos
- Fabricar nanoestructuras magnéticas artificiales y autoorganizadas.

Sistema de almacenamientos de datos

- Elaboración de discos duros, para ordenadores de uso domésticos, con capacidad del orden de terabytes.

Nanomáquinas

- Nanomáquinas capaces de realizar tareas mecánicas como, por ejemplo, girar ejes.
- Nanorrobots capaces de aplicarse a sí mismo y de hacer reparaciones en otras máquinas y en el cuerpo humano

Propiedades eléctricas y mecánicas de nanoestructuras

- Estudio de la propiedad vibracional de estas estructuras.
- Fabricación de nanocables que conduzcan la electricidad varias veces mejor que el cobre.

QUÍMICA

Esta disciplina o mejor la Ingeniería Química, desde los años ochenta, por exigencias medioambientales, ha comenzado a disminuir el consumo de energía y de materias primas en los procesos industriales lo que está obligando a llevar a dichos procesos a niveles atómicos y moleculares y aunque muchos de estos procesos todavía no se pueden realizar a nivel de nanoescala si que hay algunas aplicaciones en esta escala en el campo de la química.

Aplicar la técnica de control coherente:

- Sustituir los catalizadores o las variables o las variables macroscópicas (presión, temperatura, concentración, etc.) por pulsos de luz para controlar la reacción química a nivel de moléculas individuales.

Células solares

- Nanotubos de carbono para la fabricación de células solares
- Fabricación de Silicio monocristalino para células fotovoltaicas

Polímeros

- Preparación de nanocristales tipo anillo condensados
- Preparación de nanocristales tipo poliacetileno
- Preparación de nanopolímeros conductores o metales orgánicos

Crecimiento de películas delgadas y monocapas

- Mediante epitaxia en fase líquida
- Mediante deposición química en fase vapor
- Mediante deposición física en fase vapor
- Mediante epitaxia por haces moleculares
- Mediante técnicas de electrodeposición.

Proceso de dopado de películas

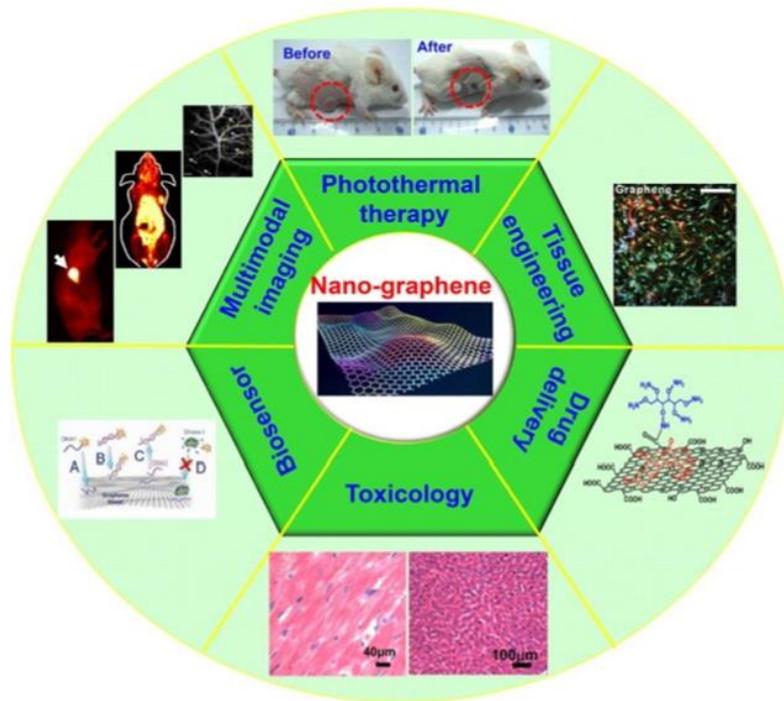
- Dopado por difusión
- Dopado por implantación iónica

MEDICINA

En el diagnóstico de enfermedades, la nanotecnología permite detectar patologías como el cáncer y otras enfermedades cardiovasculares o neurológicas en su estado más inicial. También regulara la toma de medicamentos mediante la administración continua e inteligente de la dosis. De forma general los campos de aplicación serán:

- Detección de enfermedades en su etapa más precoz
- Diseñar nanoestructuras que proporcionen desde la sangre, por ejemplo, datos continuos sobre los niveles de glucosa de una persona diabética
- Nanofármacos que actúan solo sobre las células enfermas.
- Desarrollar fármacos, productoras de vitaminas hormonas y oxígeno

- En la medicina regenerativa; crear materiales sintéticos con el mismo tamaño que los componentes biológicos, pero que eviten los ataques del sistema inmune.
- Aplicaciones biomédicas de las nanopartículas magnéticas.
- Otro campo muy novedoso intenta relacionar la estructura física, por ejemplo, de los virus, con la función biológica.



La investigación en nanotecnología y arte.
Figura 9. Utilidades clínicas del grafeno

OTROS CAMPOS

En la energía y medio ambiente, los nanomateriales resultan cruciales en la implantación de las pilas de combustible y en el control de la captura y liberación de hidrogeno.

En los sectores como la construcción, los nanoaditivos permitirán cementos con propiedades autolimpiantes antimicrobianas y decontaminantes y nanomateriales avanzados. Nos protegerán contra incendios y respondera a estímulos como la temperatura, o la presión para ofrecer mayor confort. Los naonosensores controlaran la seguridad y el buen estado de las estructuras.

Las cerámicas incorporaran funciones antideslizantes, autolimpiantes, antirrayados, antimicrobianas o efectos térmicos y también revestimientos antipintadas o antigrafiteros.

En el sector textil se prevé la fabricación de fibras mas ligeras, pero con gran aislamiento térmico, mas resistente al desgaste, a la suciedad, al agua y a las radiaciones ultravioletas.

Nanoestructuras del carbono

Ahora veamos sobre la estructura del carbono. En la literatura hay información suficiente sobre este tema, por la importante función que realiza enlazado en las moléculas orgánicas de la vida y por la singular naturaleza del propio enlace de carbono. Es precisamente la diversidad en la naturaleza de este enlace lo que permite el carbono forme algunas nanoestructuras más importantes, particularmente los nanotubos de carbono. Estos nanotubos de carbono, quizá más que cualquier nanoestructura, tienen enormes posibilidades de aplicación.

Nanotubos de carbono

La nanoestructura más interesante y con mayor potencial de aplicación son los nanotubos de carbono. Se podría pensar en un nanotubo de carbono como una lámina de grafito enrollada para formar un tubo, con enlaces al final de la lámina para sellar los extremos. La figura (...) muestra la estructura de un tubo formado cuando se enrolla una lámina de grafito sobre un enlace paralelo a los enlaces C – C. Un nanotubo de pared simple (SWNT) puede tener un diámetro de 2 nm y una longitud de 100 μm , lo que efectivamente es una estructura unidimensional llamada nanoalambre.

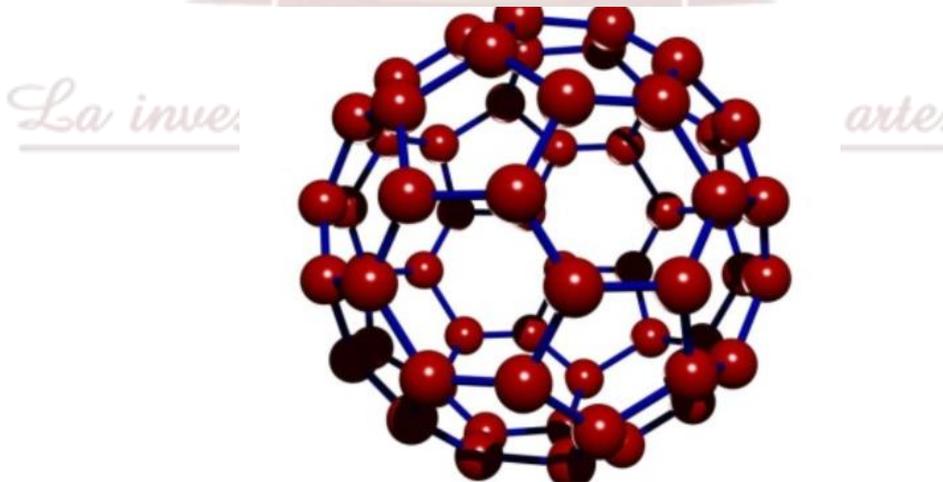


Figura10. Esquema de un nanotubo de carbono

2.3. El Grafeno en Medicina y Biomedicina: Una Revolución en Marcha

El grafeno ha desencadenado una ola de entusiasmo en la investigación médica gracias a su capacidad para mejorar la eficacia de los tratamientos y diagnósticos. La conductividad eléctrica excepcional del grafeno lo convierte en un candidato ideal para

desarrollar biosensores, dispositivos que detectan biomarcadores y signos tempranos de enfermedades.

2.4. Uso del Grafeno en Medicina: Innovación Terapéutica y Diagnóstica

La aplicabilidad del grafeno en medicina va más allá de la mera detección de enfermedades. Se está investigando activamente su potencial para administrar tratamientos terapéuticos de manera más eficiente. Los nanomateriales de grafeno pueden funcionar como vehículos de entrega de medicamentos, transportando fármacos directamente a las células afectadas, lo que no solo mejora la efectividad del tratamiento, sino que también reduce los efectos secundarios.

2.5. Biosensores de Grafeno: Detectando Enfermedades con Precisión sin Precedentes

Los biosensores de grafeno representan una innovación crucial en el campo de la medicina diagnóstica. Estos dispositivos, gracias a la capacidad del grafeno para interactuar con moléculas biológicas, permiten la detección temprana de enfermedades con una precisión sin precedentes. Esto no solo acelera el diagnóstico, sino que también posibilita tratamientos más efectivos en las etapas iniciales de las enfermedades, mejorando significativamente los resultados para los pacientes.

2.6. Grafeno en el Cuerpo Humano: Compatibilidad y Efectividad Inigualables

Una de las preocupaciones fundamentales en medicina es la compatibilidad de nuevos materiales con el cuerpo humano. En este aspecto, el grafeno destaca por su biocompatibilidad, minimizando las reacciones adversas en el organismo. Además, su estructura única permite una interacción efectiva con las células, lo que abre nuevas puertas para el desarrollo de dispositivos médicos avanzados y terapias personalizadas.

2.7. Grafeno en la Sangre: Una Revolución en la Monitorización de la Salud

Una de las preocupaciones fundamentales en medicina es la compatibilidad de nuevos materiales con el cuerpo humano. En este aspecto, el grafeno destaca por su biocompatibilidad, minimizando las reacciones adversas en el organismo. Además, su estructura única permite una interacción efectiva con las células, lo que abre nuevas puertas para el desarrollo de dispositivos médicos avanzados y terapias personalizadas.

2.8. El Auge de la Investigación y la Comercialización en Aplicaciones de Grafeno en Medicina

El interés en el grafeno en medicina ha llevado a un auge significativo en la investigación, con numerosos equipos científicos y empresas dedicando recursos considerables a explorar sus aplicaciones. Este impulso no solo proviene de instituciones académicas, sino también de empresas innovadoras que buscan capitalizar las oportunidades comerciales que ofrece el grafeno en el ámbito médico y biomédical.

2.9. Empresas Pioneras: Transformando la Investigación en Realidad Clínica

Empresas líderes están liderando el camino en la comercialización de tecnologías basadas en el grafeno en medicina. Desde dispositivos de diagnóstico hasta implantes médicos avanzados, estas compañías están transformando la investigación en soluciones tangibles. Este crecimiento en la comercialización no solo impulsa la adopción de estas tecnologías en la práctica clínica, sino que también contribuye a la reducción de costos, ya que la producción a gran escala tiende a disminuir los precios unitarios.

2.10. Perspectivas Futuras: Una Revolución Sostenible en la Salud

El grafeno en medicina y biomedicina no solo representa una revolución en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades, sino que también promete un ahorro económico sustancial a largo plazo. La capacidad del grafeno para mejorar la eficiencia de los tratamientos, reducir los costos asociados a diagnósticos tardíos y minimizar los efectos secundarios de los medicamentos lo posiciona como un aliado invaluable en la búsqueda de un sistema de salud más sostenible y centrado en el paciente. En resumen, el grafeno no es solo un material innovador, sino un catalizador de avances significativos en la medicina y la biomedicina. Su versatilidad, combinada con su compatibilidad biológica y capacidad para mejorar la eficacia de los tratamientos, lo coloca en el centro de una revolución médica que promete beneficios tanto para la salud humana como para la economía global de la atención médica. Con el continuo impulso de la investigación y la comercialización, el grafeno está allanando el camino hacia un futuro más saludable y económicamente eficiente. Si quieres conocer con más profundidad la labor que en Graphenano Medical Care estamos desarrollando, ponte en contacto con nosotros en el apartado de contacto.

Aplicaciones de los nanotubos del carbono

a. Emisión de campo y blindaje

Cuando se aplica un pequeño campo eléctrico paralelo al eje de un nanotubo, los electrones son emitidos a una velocidad muy alta desde los extremos del tubo. Esto se llama emisión de campo. Este efecto se puede observar fácilmente cuando se aplica un pequeño voltaje entre dos electrodos metálicos paralelos y se esparce una pasta de composito de nanotubos sobre uno de los electrodos. Un número significativo de nanotubos quedaran perpendiculares al electrodo para que pueda observar la emisión de electrones. Una aplicación de este efecto es el desarrollo de pantallas planas. Los monitores de televisores y ordenadores se controlan con un cañón electrónico sobre el fosforo de la pantalla, que emite luz con los colores apropiados. La Samsung en Corea está desarrollando una pantalla plana con nanopartículas de carbono para la emisión de electrones. Se coloca una película fina de nanotubos sobre un control electrónico con una placa de vidrio recubierta con fosforo encima. Una compañía japonesa utiliza este efecto de emisión de electrones para producir tubos de lampara al vacío que son tan brillantes como las bombillas convencionales, con una vida más larga y con mayor eficacia. Otros investigadores usan este efecto para desarrollar una forma de generar microondas.

La alta conductividad eléctrica de los nanotubos de carbono significa que será pobres transmisores de energía electromagnética. Un composito plástico de nanotubos podría proveer un material ligero de peso y que ejerza un blindaje sobre las radiaciones electromagnéticas. Este asunto preocupa bastante a los militares, que están desarrollando un sistema altamente digitalizado para el mando, control y las comunicaciones en los campos de batalla. Los ordenadores y los componentes electrónicos que forman parte de este sistema requieren ser protegido de armas que emitan pulsos electromagnéticos.

b. Ordenadores

Se ha demostrado la factibilidad de diseñar transistores de efecto de campo (FET), que son los componentes conmutadores de los ordenadores, basados de nanotubos de carbono semiconductores que conecten dos electrodos de oro.

Cuando se aplica un pequeño voltaje a la compuerta, sustrato de silicio, la corriente fluye a través del nanotubo entre la fuente y el sumidero.

El dispositivo está conectado cuando la corriente fluye, y desconectado cuando no. Se sabe que el pequeño voltaje aplicado a la compuerta puede cambiar la

conductividad del nanotubo en un factor $> 1 \times 10^6$, que es comparable con los transistores de silicio de efecto de campo. Se ha calculado que el tiempo de conmutación de estos dispositivos es muy rápido y que permiten velocidades del orden de terahertz, que es de 10^4 veces más rápido que los procesadores actuales. El oro se deposita por métodos litográficos, y el alambre de nanotubo conector tiene menos de un nanómetro de diámetro.

Este pequeño tamaño permitiría el empaquetamiento de más conmutadores en un chip.

Se debería enfatizar que estos dispositivos se construyen en laboratorios, uno cada vez, y se han desarrollado los métodos utilizados para producir a bajo coste y una gran escala sobre un chip, aunque antes de que se pueden usar en aplicaciones como ordenadores.

c. Celdas de combustible

Los nanotubos de carbono tienen aplicaciones en la tecnología de baterías. El litio, que es un portador de carga en algunas baterías, puede almacenarse dentro de nanotubos. Se ha considerado, que puede almacenar un átomo de litio por cada seis átomos de carbono del tubo. El almacenamiento de hidrogeno en nanotubos es otra posible aplicación que esta relacionada con el desarrollo de celdas de combustible como fuentes de energía eléctrica en automóviles del futuro. Una celda de combustible contiene dos electrodos, separados entre sí por un electrolito especial, que permite que pasen iones de hidrogeno, pero no electrones. Se envía el hidrogeno al ánodo, donde se ioniza. Los electrones liberados viajan a través de un alambre del circuito externo al cátodo. Los iones de hidrogeno se difunden a través del electrolito al cátodo, donde electrones, hidrogeno y oxigeno forman agua. El sistema requiere una fuente de hidrogeno. Una posibilidad de almacenar hidrogeno dentro del nanotubo de carbono.

d. Sensores químicos

Un transistor de efecto de campo similar a l mostrada en la lámina 11, hecho de nanotubos de carbón quirales y semiconductores, ha servido de detector sensible de varios gases, tal como se ha demostrado. El transistor se colocó en un matraz de 500 mL con suministro eléctrico y válvulas de entrada y salida para permitir el flujo de gases sobre el nanotubo del FET. Se introdujeron entre 2 y 200 partes por millón de NO_2 a una velocidad de flujo de 700 mL/min durante 110 min, lo que provocó un incremento en tres veces en la conductancia de los nanotubos de carbono.

e. Catálisis

Un agente catalítico es un material, típicamente un metal o una aleación, que aumenta la velocidad de una reacción entre especies químicas. Los nanotubos pueden servir de catalizadores en algunas reacciones químicas. Por ejemplo, se ha demostrado que nanotubos anidados con rutenio metálico enlazado por la parte exterior ejerce un fuerte efecto catalítico en la reacción de hidrogeno de cinamaldehído en fase líquida, comparado con el efecto de ese mismo metal Ru enlazado a otros sustratos del carbono. También se ha producido reacciones químicas dentro de nanotubos, tales como la reducción de óxido de níquel a Ni metálico.

f. Reforzamiento mecánico.

El uso de largas fibras de carbono, tal como el poliacrilonitrilo (PAN) es ya una tecnología utilizada para aumentar la resistencia de los composites plásticos. El PAN tiene una resistencia a la tensión de los 7 GPa y tiene un diámetro de 1 – 10 μm . El uso de esta fibra como reforzamiento requiere que se desarrollen métodos que le den una orientación preferencial a la fibra y que este uniformemente dispersa en el material. La fibra ha de resistir las condiciones de procesamiento. La resistencia a la tensión y la relación largo - diámetro, los nanotubos de carbono serían excelentes materiales para reforzar los composites. Ya existe un trabajo preliminar en este ámbito; un trabajo realizado en el centro de investigación y desarrollo de la General Motors ha demostrado que la adición al polipropileno. Un estudio realizado en la Universidad de Tokio mostró que la incorporación de un 5 % en el volumen de los nanotubos en el aluminio incremento la resistencia a la tensión en un factor de 2, comparado con el aluminio puro sometido al mismo procesamiento. Se prepararon composites a presión y con moldeo en caliente. Se mezclaron aluminio en polvo y nanotubos de carbono, se calentaron por encima de 800 K al vacío entonces se comprimieron con troquetas de acero. Tras esto, la mezcla fundente se moldeó en forma de varillas. Este trabajo es muy importante para demostrar que los nanotubos de carbono se pueden introducir en el aluminio y que son lo suficientemente estables como para que sean sometidos al proceso necesario. Los investigadores opinan que se puede conseguir un incremento sustancial en la resistencia a la tensión mediante la producción de nanotubos más homogéneos y con una distribución alineada con el material. Prestigiosos teóricos sugieren que, con una fabricación óptima, un 10 % en volumen de nanotubos incrementaría la resistencia a la tensión en un factor de 6.

Pozos, alambres y puntos cuánticos

Cuando se reduce continuamente el tamaño de un material, desde dimensiones macroscópicas - un metro o centímetro – hasta las más pequeñas, inicialmente las propiedades se mantienen iguales y después comienzan a aparecer ligeros cambios; finalmente, cuando el tamaño cae por debajo de 100 nm bruscas variaciones en sus propiedades. Si se reduce una dimensión a un orden nanométrico, mientras que las otras dos dimensiones se mantienen grandes, obtenemos la estructura que se conoce como pozo cuántico. Si son dos las dimensiones las que se reducen, mientras la tercera dimensión se mantiene grande, la estructura resultante alambre o hilo cuántico.

El caso extremo de este proceso de reducción de tamaños, en el que las tres dimensiones llegan a ser nanométricos, se conoce como punto cuántico (quantum dot). La palabra cuántico está asociada a este tipo de nanoestructuras, ya que los cambios en sus propiedades surgen de la naturaleza mecánico cuántico de la física en los dominios de baja dimensionalidad.

I. Síntesis de nanoestructuras por métodos físicos

Ablación láser

Esta técnica consiste en hacer incidir un láser de alta potencia de manera pulsada sobre la superficie de un blanco sólido. Si la energía del pulso láser y el grado de focalización son los adecuados, la densidad de energía (energía por unidad de área) depositada sobre el blanco puede ser la suficiente para elevar su temperatura varios miles de grados centígrados y evaporar el material del blanco hasta llevarlo al estado de plasma. Dicho plasma se propaga en dirección perpendicular a la superficie del blanco. Una aplicación común es la formación de películas delgadas cuando el plasma viaja hasta un sustrato y se deposita continuamente pulso por pulso (Nolte et al., 1997).

El método de ablación láser en un medio líquido presenta grandes ventajas respecto a otros métodos, entre las cuales destacan las siguientes:

Al pasar de un material sólido directamente a las nanopartículas, estas se obtienen libres de contaminantes o de subproductos químicos.

Se puede ablacionar una gran cantidad de sólidos.

Se puede emplear una amplia gama de líquidos, dependiendo del uso que se quiera dar a las nanopartículas (catálisis, óptica, etc.).

El proceso completo se lleva a cabo a presión y a temperatura ambiente, por lo que el costo de operación es muy bajo.

Las nanopartículas formadas no requieren agentes superficiales pasivantes, ya que el medio líquido las protege de la oxidación.

En muchas ocasiones las “soluciones” de nanopartículas son estables y pueden durar durante semanas o meses sin ningún agente antes de que se formen aglomerados y precipiten.

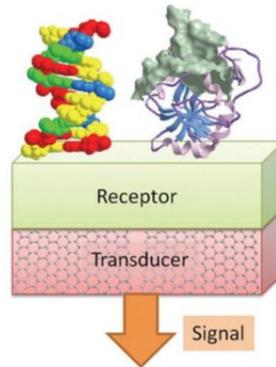


Figura 11. Esquema de un biosensor. El biosensor consiste en una capa receptora, que consiste en una biomolécula (por ejemplo, ADN o proteína), y un transductor, que es un material basado en grafeno.

II. Síntesis de nanoestructuras por métodos químicos

Como ya se ha definido, las nanopartículas son aquellas partículas cuyas dimensiones se encuentran debajo de los 100 nm. Las propiedades de los materiales a esta escala suelen ser considerablemente diferentes a las del mismo material en bulto. Esto puede ser por el incremento exponencial del área superficial, mientras más pequeñas son las partículas; también existen efectos cuánticos de confinamiento que derivan en propiedades ópticas, eléctricas, térmicas y magnéticas novedosas.

Método electroquímico

El proceso general de la síntesis electroquímica se puede dividir en seis etapas elementales (Tan et al., 2004; Viau et al., 2003):

Disolución oxidativa del ánodo de sacrificio M_{bulk} , el cual se usa como fuente metálica.

Migración de los iones Mn^+ hacia el cátodo. Formación reductora de átomos metálicos cerivalentes M_{col} en el cátodo.

Formación de partículas metálicas por nucleación y crecimiento.

Detención del proceso de crecimiento y estabilización de las partículas por agentes protectores coloidales.

Precipitación de los metales nanoestructurados coloidales.

Algunas de las ventajas del método electroquímico son:

No existe contaminación con subproductos como en la reducción química.

Es fácil aislar las partículas desde el precipitado.

Es posible la formación de partículas de tamaño selectivo con la obtención de altos rendimientos mediante la variación de la intensidad de la corriente.

III. Síntesis de nanoestructuras por métodos biológicos

Las nanoestructuras metálicas han sido ampliamente estudiadas desde el inicio del auge de la nanotecnología. Sin embargo, solo recientemente la biorreducción (el empleo de microorganismos, plantas vivas o extractos de plantas como agentes reductores y estabilizantes) ha adquirido importancia por las ventajas que ofrece sobre los métodos físicos o químicos. Entre tales ventajas destacan la eliminación de solventes orgánicos, agentes reductores y estabilizantes, no se necesitan altos consumos de energía ni equipos sofisticados para producir nanopartículas, además de que las reacciones se llevan a cabo en condiciones ambientales de presión y temperatura.

Los nanomateriales que se generan tienen aplicaciones en áreas tales como la catálisis química, la medicina (específicamente en imagenología, por sus propiedades ópticas) y la biotecnología, entre otras. Para muchas de estas aplicaciones se requiere fijar las nanopartículas en soportes sólidos. Por esta razón se explora el uso de biosoportes (hueso y celulosa) para soportar las partículas generadas por biorreducción y, de esta manera, obtener por vez primera un biocomposito a través de un proceso “verde”.

El desarrollo de procesos reales “ecoamigables” para la síntesis de nanomateriales es un aspecto importante de la nanotecnología, aunado al hecho de que la nanotecnología requiere la síntesis de nanomateriales de diferente composición química, tamaño y morfología, pero de forma controlada y homogénea. De esta manera, imitando a la naturaleza, la biosíntesis de nanopartículas se posiciona como un procedimiento de inmenso potencial para la generación de materiales nanoestructurados y se basa en el uso de microorganismos y plantas. Muchos organismos, tanto unicelulares como multicelulares, son conocidos porque producen materiales inorgánicos, tanto intracelulares como extracelulares. Se ha observado que esos materiales bioinorgánicos exhiben dimensiones desde la escala nanométrica hasta la escala macroscópica.

Los métodos biosintéticos que emplean microorganismos y bacterias (Joerger et al., 2000), hongos (Shankar et al., 2003), plantas vivas (Gardea-Torresdey et al., 2002) y extractos de plantas (Huang et al., 2007) han emergido en la última década como resultado de integrar la Biotecnología con la Nanotecnología, en una nueva disciplina, la Nanobiotecnología, que emerge con fuerza como una alternativa a procedimientos sintéticos de tipo químico o físico.

El empleo de la actividad microbiana para las síntesis de nanopartículas ha emergido como una nueva alternativa viable para la obtención de nanopartículas metálicas. Las interacciones entre los microorganismos y los metales habían sido ya observadas por los microbiólogos en el grupo llamado “extremófilos”, sin embargo, solo se ha usado recientemente para la biorremediación.

Las bacterias intervienen en reacciones de precipitación mineral, directamente como catalizadores de reacciones químicas acuosas e indirectamente como reactivos geoquímicos (Bhattacharya y Gupta, 2005). Por este motivo se exploró sobre la posibilidad de usar bacterias para la remediación de aguas contaminadas con metales, y a partir de esos estudios se descubrió la capacidad que tienen los microorganismos para sintetizar estructuras con dimensiones que están en el régimen nanométrico. Los sistemas biológicos proveen muchos ejemplos de microorganismos que producen partículas con nanoestructuras que tienen unas propiedades óptimas.

La investigación, su esencia y arte.

Plantas

La nanobiotecnología ofrece la posibilidad de sintetizar nanoestructuras usando organismos vivos; dentro de los cuales, las plantas representan una opción excelente para obtener estructuras metálicas. El empleo de plantas para la síntesis de nanopartículas tiene una ventaja sobre otros procesos biológicos, particularmente aquellos que emplean microorganismos: no es necesario mantener cultivos celulares. Los procesos biosintéticos para nanopartículas son más útiles cuando se producen de forma extracelular, tal como sucede cuando se emplean extractos de plantas. Adicionalmente, su tamaño, dispersidad y forma se controlan de forma más rápida y simple. Las plantas resultan adecuadas para el escalamiento de los procesos de síntesis. La historia del empleo de plantas para obtener nanopartículas se inició hace pocos años, cuando se demostró que las plantas vivas reducen iones

metálicos dando lugar a la formación de nanopartículas metálicas. El primer reporte de nanopartículas obtenidas a partir de plantas vivas fue publicado en el año 2002. Se demostró que nanopartículas de oro, de 2 a 20 nm (figura 4.4), se podían formar dentro de plantas de *Medicago sativa* (alfalfa) (Gardea-Torresdey et al., 2002). Posteriormente, se dedujo que la alfalfa también podía formar nanopartículas de plata cuando se exponía a un medio rico en iones de plata (figura 4.5) (Gardea-Torresdey et al., 2003).

Específicamente, el sistema que emplea la biomasa de la alfalfa (*Medicago sativa*), seca y dispersa en agua para la síntesis de nanopartículas, se ha empleado no solo para generar nanopartículas mono y bimetálicas de metales nobles, sino también para los óxidos y los elementos de transición interna. También ha resultado ser un sistema bastante versátil para producir nanopartículas de diferentes tamaños y morfologías, cuyo pH varía durante el proceso de síntesis.

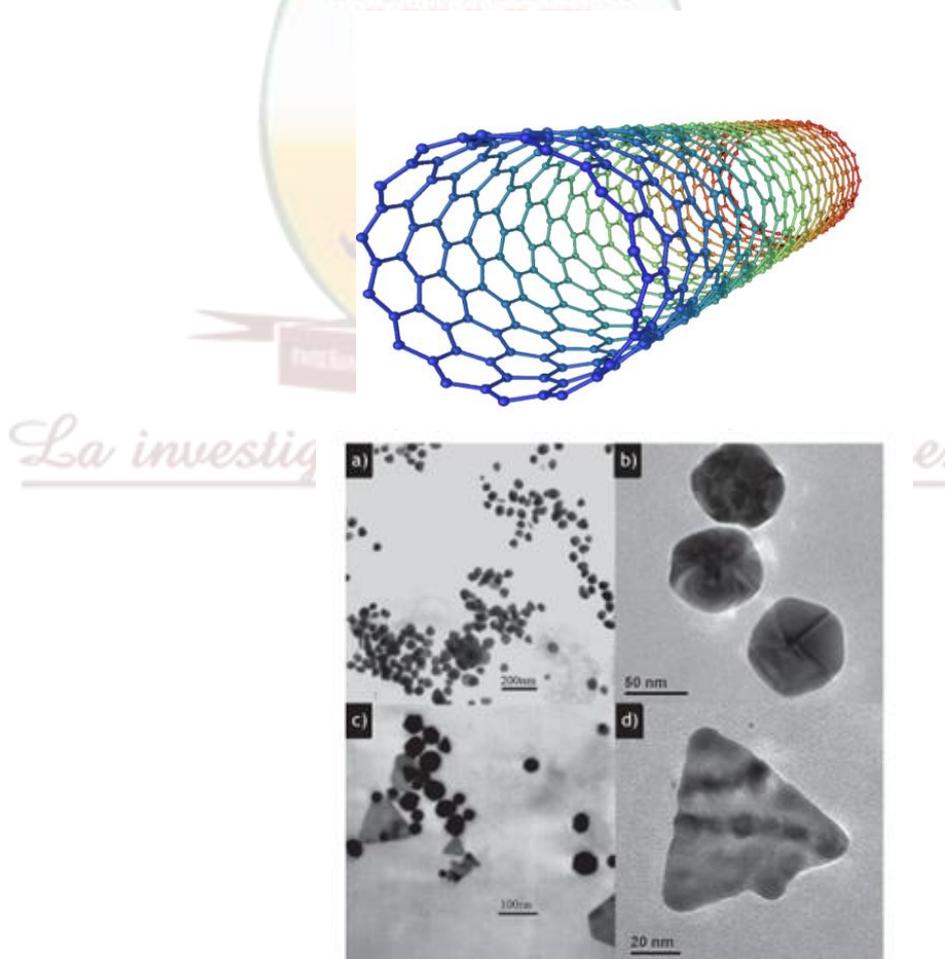


Figura 12. Micrografías de TEM de las nanopartículas de plata (a y b) y oro (c y d) obtenidas con el extracto *Cinnamomum camphora* (Huang et al., 2007)

CAPITULO II: EL GRAFENO

El grafeno₂ es un material compuesto por la agrupación de átomos de carbono que se posicionan hexagonalmente. Esta disposición da lugar a monocapas de un átomo de espesor.



Figura 13. La Ingeniería Química tiene una amplísima variedad de aplicaciones en nuestro día a día

Uno de sus puntos fuertes, y de los que más avances está teniendo en los últimos años, es la aplicación de la Ingeniería Química y de Productos al desarrollado de nuevos materiales. Un ejemplo de estos avances la encontramos en la reciente creación de un parche de grafeno capaz de monitorizar los niveles de azúcar en las personas con diabetes.

El grafeno es una sustancia formada por carbono puro, muy ligero, aproximadamente 200 veces más fuerte que el acero y 5 veces más ligero que el aluminio. Algunos expertos lo han denominado 'el material del futuro', llegando a otorgarle el Premio Nobel de la Física 2010 a Andréy Gueim y Konstantín Novosiólov por sus descubrimientos sobre el mismo.

Una de las aplicaciones más prolíferas del grafeno hasta la fecha ha sido en materia de transporte. La utilización de este material en la fabricación de barcos y aviones se ha demostrado como un avance grandísimo, ya que refuerza las estructuras, haciéndolas más resistentes, al mismo tiempo que más ligeras.

El último hito del grafeno ha sido su aplicación a **la medicina y las ciencias de la salud**. La revista especializada Nature Nanotechnology ha publicado los primeros estudios sobre la creación de un parche de grafeno **capaz de detectar la glucosa a través del sudor**. Se trata de un parche semitransparente y flexible que se coloca en la muñeca y monitoriza los niveles de azúcar en sangre de manera constante y a tiempo real.

Las primeras pruebas se han realizado en ratones diabéticos y personas sanas, con el objetivo de expandir su uso a las personas diabéticas en un futuro cercano. La idea detrás de este parche es el de **ofrecer una alternativa no invasiva** para los pacientes diabéticos que, hasta ahora, tenían que realizarse la prueba del pinchazo en el dedo para controlar sus niveles de glucosa en sangre. Además, la ventaja de este parche es que controlaría la sangre de manera constante, permitiendo un **seguimiento real de la enfermedad**, evitando problemas derivados de una diabetes mal controlada, como problemas cardiovasculares o ceguera.

Además, un grupo de científicos en la Universidad de Seúl, han conseguido añadirle al parche la posibilidad de administrar fármacos que responden al calor, mediante micro agujas que liberan metformina, el medicamento más utilizado en los tratamientos de diabetes de tipo 2. Esta diabetes es la más común en el mundo, representando el 90% de los casos que se dan de esta enfermedad.

Este material, forma parte de una de las sustancias más abundante en la naturaleza, el grafito (el grafito podemos encontrarlo, por ejemplo, en las minas de nuestros lápices). Un milímetro de grafito contiene tres millones de capas de grafeno.

La investigación, su esencia y arte.

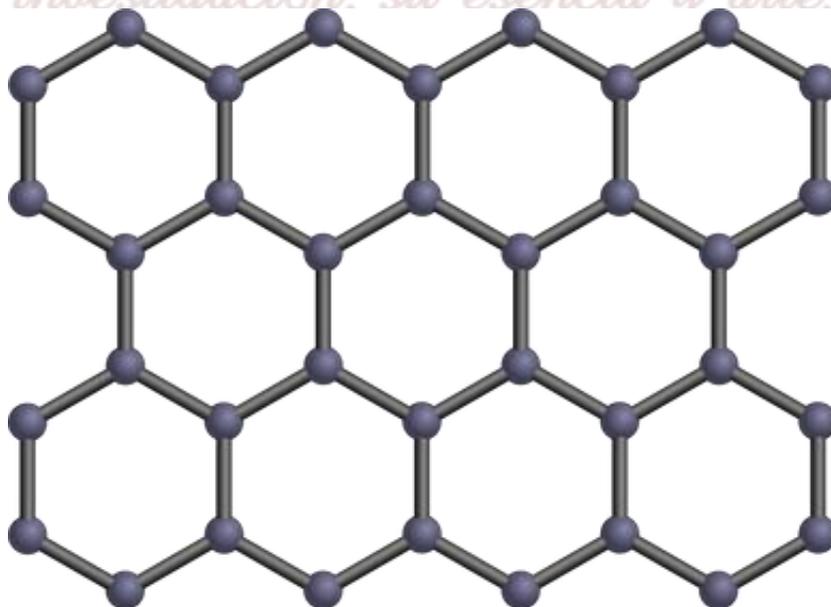


Figura 14. Estructura del grafeno

Propiedades del grafeno

El grafeno es una sustancia con unas propiedades muy interesantes. Estas propiedades, junto a la abundancia de carbono en la naturaleza, han hecho que sea un material muy estudiado y con grandes posibilidades.

Las propiedades más destacadas del grafeno son:

- Alta conductividad térmica
- Alta conductividad eléctrica
- Material transparente
- Alta elasticidad y flexibilidad
- Alta dureza
- No le afecta la radiación ionizante
- Alta resistencia. El grafeno es aproximadamente 200 veces más resistente que el acero, similar a la resistencia del diamante, pero mucho más ligero
- Capaz de generar electricidad mediante exposición a la luz sola.
- Elevada densidad no deja pasar los átomos de Helio, pero sí que permite el paso del agua, que se evapora a la misma velocidad que si estuviera en un recipiente abierto.
- Efecto antibacteriano. Las bacterias no son capaces de crecer en él.
- Bajo efecto Joule, calentamiento al conducir los electrones.
- Bajo consumo de electricidad comparado con otros compuestos

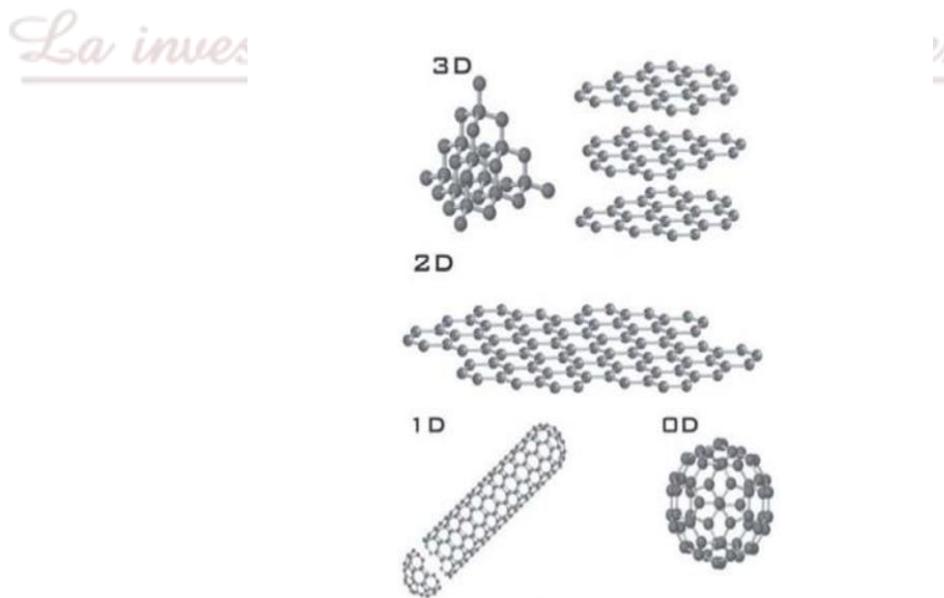


Figura 15. Forma alotrópica del grafeno



Figura 16. Propiedades generales del grafeno

3.1. Aplicaciones del grafeno

Debido a las grandes propiedades anteriormente citadas, tiene aplicabilidad en numerosos sectores, entre los que destacan los mostrados en la siguiente figura.

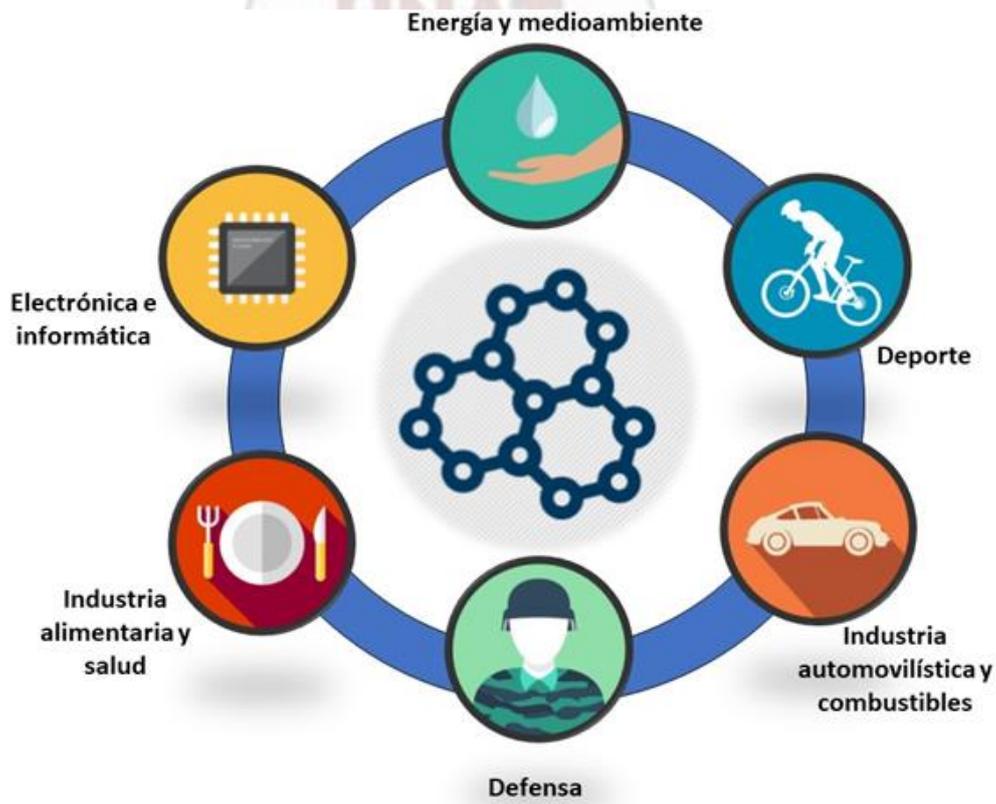


Figura 17. Aplicaciones del grafeno

En el campo de la electrónica se emplea, por ejemplo, en la fabricación de microchips, transistores, desarrollo de tintas conductoras que permiten la impresión de circuitos.

El grafeno puede potenciar el uso de energías renovables, como por ejemplo la energía solar.

Introduciendo este material en las placas solares será posible incrementar su eficiencia y producir mayor cantidad de energía.

En el sector automoción el uso del grafeno en baterías aumentará su autonomía y reducirá los tiempos de carga, mejorando así las prestaciones de los coches eléctricos.

3.2. Aplicaciones que ya son una realidad con el grafeno

En este apartado os enseñamos varios ejemplos de productos o materiales en los que se ha utilizado grafeno en diferentes productos.

3.3. Etiquetas de seguridad

La primera, y posiblemente la primera aplicación práctica y real del grafeno, fue en etiquetas de seguridad. **¿Sabéis esas etiquetas de colores iridiscentes que llevaban pegadas, por ejemplo, muchas prendas de vestir? ¡Seguro que las habréis visto muchas veces y no sabíais que tenían grafeno!** Gracias al grafeno, cuentan con un circuito impreso que realiza la función de alarma y suena si se manipula, o se sale del local sin desconexión segura. Estas etiquetas pueden arrugarse o doblarse sin dañarse y el coste es muy bajo, de céntimos por etiqueta.

Estas tintas ofrecen múltiples aplicaciones para la industria, ¡los circuitos electrónicos ultraplano ofrecen infinitas posibilidades!

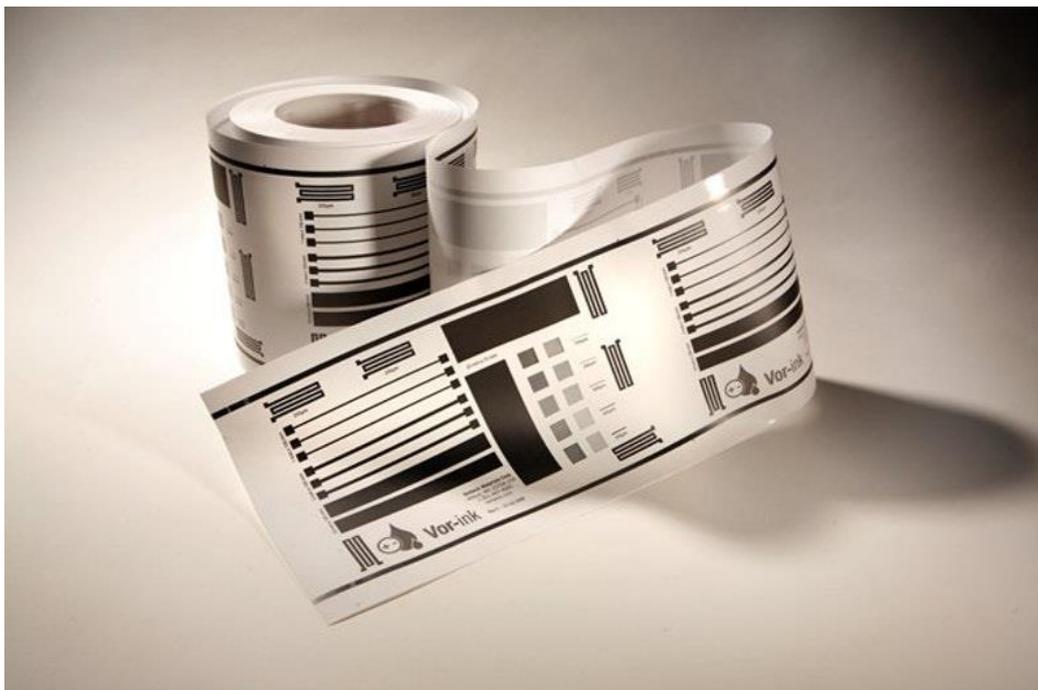


Figura 18. Circuito electrónico ultraplano

3.4. Palas de pádel

Actualmente, en el sector deporte ya existen productos que incorporan grafeno en su composición. Un ejemplo de ello son las palas de pádel en donde el grafeno se puede utilizar tanto en las caras de la pala, es decir, en la superficie de impacto, o en el marco, para hacerlas más resistentes e incrementar su duración. Además, también existe la posibilidad de incluir el grafeno en la espuma que forma el cuerpo de las palas. Si os fijáis en vuestra pala veréis que en muchas lo anuncian explícitamente a modo de reclamo.



Figura. 19

3.5. Sensores médicos

Otra de las propiedades del grafeno es la capacidad de detectar cantidades mínimas de sustancias. El grafeno es capaz de detectar una sola molécula en un volumen más o menos grande. Estas propiedades se han desarrollado a través del óxido de grafeno y existen algunas empresas médicas que ya comercializan sus sensores con grafeno. Además de en aplicaciones médicas, estos sensores también pueden utilizarse en estudios medioambientales y de seguridad.



Figura 20.

3.6. A tener en cuenta con el grafeno

En la actualidad, el grafeno presenta una serie de hándicaps a tener en cuenta que dificultan su utilización en más productos. El primero de ellos, es la dificultad técnica para producirlo a nivel industrial, que tiene gran influencia en su precio final. El segundo problema, derivado del anterior, es el incremento del coste de los productos a los que se le añade.

El uso del grafeno tiene que estar justificado y no utilizarse por 'estar de moda'. Es un material con unas propiedades excelentes pero su precio, dependiendo de su grado, es por el momento alto.

A pesar de ello, creemos que tiene una gran potencialidad para su uso, como ya hemos visto, en múltiples sectores y a su vez en muy diversas aplicaciones.

El grafeno, primer material bidimensional creado por el hombre, está llamado a transformar distintas industrias, desde la energética a la electrónica, pasando por la biomédica o la aeroespacial, puesto que posee una serie de cualidades que lo hacen único en el mundo. La transición de su aplicación desde los centros de investigación a la producción industrial masiva es el principal reto de un elemento innovador por el que están apostando organismos públicos y empresas privadas en todo el mundo.

Aunque el grafeno se conoce desde los años 30 (época en se describió su enlace químico y su estructura) fue un material denostado durante décadas, al considerarse inestable termodinámicamente. Por eso supuso una auténtica revolución científica que, en 2004, Andre Geim y Konstantin Novosiólov consiguieran aislar el grafeno a temperatura ambiente, extrayendo del grafito una lámina de un solo átomo de carbono. Los científicos de origen ruso obtuvieron seis años más tarde el premio Nobel por este hallazgo.

Desde entonces, las investigaciones sobre este material se han ido multiplicando en todos los rincones del planeta, y muchos expertos lo consideran el material del futuro, al ser muy abundante y poseer unas propiedades revolucionarias.

Algunas propiedades

- **Extremadamente ligero.** Es un millón de veces más fino que una hoja de papel y una lámina de un metro cuadrado solo pesa 0,77 gramos. "Es el material más delgado jamás desarrollado", revela Mar García Hernández, profesora de investigación del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid del CSIC, hasta el punto de que "con un gramo de grafeno podríamos cubrir la tercera parte de un campo de fútbol".

- **Muy resistente.** Es el material más duro que se conoce. Tiene una resistencia mecánica de 42 N/m (tensión de rotura), mientras que una lámina del acero del mismo espesor, tendría aproximadamente una resistencia de 0,40 N/m
- **Flexible.** Una lámina puede estirarse un 10% de su tamaño normal de forma reversible y puede doblarse sin dañarse hasta un 20%.
- **Prácticamente transparente, pero denso.** Ni siquiera un átomo de helio (el más diminuto que existe) puede atravesar sus agujeros (entre los átomos de carbono).
- **Superconductor.** Transporta muy bien la electricidad y es el mejor conductor de calor conocido. Su conductividad térmica es de 5.000 W/mK, mayor que la del cobre, el diamante o la plata, lo que le permite disipar el calor y soportar intensas corrientes eléctricas sin calentarse.
- **Impermeable.** Las láminas de grafeno tienen átomos de carbono tan estrechamente unidos que pueden funcionar como redes atómicas súper finas, impidiendo el paso de otros materiales.
- **Inerte químicamente.** No reacciona con el oxígeno del aire, ni se oxida.
- **No contamina.** Es carbono puro, extraído directamente de la naturaleza.
- **Biocompatible.** No es tóxico para las células biológicas, lo que favorece sus aplicaciones en el campo de la medicina.

3.7. Industrialización del grafeno

Todas estas propiedades hacen que el grafeno sea conocido como el “material milagroso”, y las oportunidades de innovación tecnológica que proporciona son alabadas tanto por la comunidad científica como industrial por las mejoras en productividad, eficiencia y rentabilidad que su aplicación puede conllevar. Todos estos factores han disparado su demanda en los últimos años, aunque se está encontrando con un gran obstáculo: el suministro aún no es suficiente.

Al ser extremadamente ligero, resistente, flexible y superconductor, sus propiedades son especialmente demandadas por la industria

García Hernández pone sobre la mesa uno de los grandes retos a los que se enfrenta el grafeno en el futuro: su producción “libre de imperfecciones y a bajo coste”. No obstante, su obtención es relativamente sencilla, bien por exfoliación o a partir de diversas fuentes basadas en el carbono, que es uno de los materiales más abundantes de la Tierra. Sin embargo, su producción no está avanzando de una manera más rápida porque conseguir el material de mayor calidad (cuando el grafeno demuestra sus cualidades) requiere unos procesos de sinterización complicados y costosos.

“El proceso para su industrialización se ha ralentizado porque, aunque la síntesis del grafeno a nivel industrial ha progresado mucho, el precio de algunas de las formas en las que se fabrica sigue siendo alto como consecuencia de que el mercado no está todavía desarrollado y, por tanto, su producción no se beneficia de una economía de escala”, señala la investigadora del CSIC.

De ahí que su estudio a nivel de laboratorio y su uso a escala industrial esté más restringido. De hecho, algunos prototipos ya han demostrado que se pueden desarrollar baterías de grafeno diez veces más potentes que las actuales o lentes de cámaras mil veces más luminosas, pero sus costes de fabricación resultan excesivamente elevados en grandes cantidades.

Por eso las investigaciones actuales están encaminadas a la búsqueda de métodos de obtención del grafeno más baratos, a mayor escala y con más calidad, como la descubierta por expertos de la Universidad de Illinois para fabricar este material a partir de agua carbonatada; la de la Universidad de Rice, que ha conseguido extraer grafeno de alta calidad a partir del azúcar común calentado a 800° C; o el Instituto de Química Física de la Academia Polaca de Ciencias, que ya está empleando ultrasonidos para obtener láminas oxidadas y escamas de grafeno.

3.8. ¿Qué depara el futuro?

La investigadora del CSIC hace hincapié en la integración de este material en tecnologías convencionales, como la electrónica basada en silicio, como clave de futuro: “Se espera poder producir moduladores optoelectrónicos que ayuden a conseguir sistemas de telecomunicaciones más ágiles”, apunta García Hernández. No obstante, el grafeno conduce el calor cien veces más rápido que el silicio usado en los chips, lo que permitiría fabricar procesadores diez veces más veloces, más ligeros y eficientes. Eso sí, “la integración del grafeno en muchas aplicaciones tiene que competir con otras tecnologías bien desarrolladas en las que ha habido décadas de inversión sostenida y, por tanto, en esos sectores resulta difícil su implantación, porque implicaría cambiar cadenas de producción y cadenas de valor muy bien establecidas y eso es muy costoso”, resalta García Hernández.

En las universidades y centros de investigación ya están ensayando para la fabricación de aviones con una cobertura de grafeno en las alas para reducir el peso total de la nave.

Con todo, las investigaciones ya han permitido que el grafeno se utilice como refuerzo mecánico de compósitos poliméricos para mejorar sus propiedades, lo que dará lugar a materiales más resistentes y conductores, de gran interés para las industrias armamentística, automotriz y aeroespacial. Este último sector también se está viendo

favorecido por los avances en el uso combinado del grafeno en otros compósitos como retardante del fuego, y se están empezando a hacer pruebas en condición de gravedad cero para drenar calor desde elementos que lo generan.

Además de estos tres sectores, en los que la previsión de aplicaciones es más prometedora, no son los únicos. “Se están haciendo ensayos muy interesantes para utilizar el grafeno como electrodo flexible y nada invasivo en tejido cerebral. Otro campo muy activo es el de sensores basados en grafeno para hacer wearables en el ámbito biomédico y medioambiental, y se están desarrollando aplicaciones en baterías, supercondensadores y pilas de combustible”, señala García Hernández.

En las universidades y centros de investigación ya están ensayando para la fabricación de aviones con una cobertura de grafeno en las alas para reducir el peso total de la nave; espuma de grafeno creada mediante nanotubos de carbono, ligera y flexible, pero que soporta hasta 3.000 veces su peso sin romperse; o chalecos antibalas formados por dos capas de grafeno y un sustrato de silicio de un grosor similar al papel de aluminio. Estas son algunas de las aplicaciones revolucionarias de un material que, tras años de investigaciones, mostrará en los próximos su gran potencial con su industrialización a gran escala.

3.9. Aplicaciones futuras del grafeno



Figura 21. Fuente: “Graphene Flagship. Annual report 2017”, de Graphene Flagship

3.10. Iniciativa Graphene Flagship

Aunque el desarrollo de aplicaciones basadas en grafeno está más desarrollado en Corea y China, donde se registran el mayor número de patentes, García Hernández se congratula de que Europa lidere la carrera científica a nivel internacional, gracias al desarrollo de programas específicos, como el Graphene Flagship.

Esta iniciativa, la mayor en investigación de la UE con una duración de diez años, tiene un presupuesto de 1.000 millones de euros y una red de 150 grupos de investigación académicos e industriales. Representa una nueva forma de investigación conjunta coordinada a una escala sin precedentes.

Puesta en marcha en 2013, acaba de pasar el ecuador de su existencia “con grandes avances y expectativas en el desarrollo de muchas aplicaciones”, como la integración de grafeno en optoelectrónica, en condiciones similares a las que se requieren en esa industria, tal y como reconoce Mar García Hernández, que lidera el *Workpackage de Materiales* del proyecto. Además, la investigadora elogia los grandes desarrollos en el campo de los compuestos poliméricos para refuerzo mecánico y de polímeros conductores de la electricidad y del calor.

En esta línea, los trabajos de investigación se están centrando en la funcionalización de grafeno para aplicaciones biomédicas, como sensores específicos de moléculas biológicas. También se está avanzando en su síntesis directa sobre sustratos que no conducen la electricidad, como el vidrio convencional, y en las obleas de silicio que se utilizan en electrónica o sobre óxido de titanio para aplicaciones en células fotovoltaicas.



Mar García Hernández (Madrid, 1959) es profesora de Investigación del CSIC. Realizó su doctorado en el Instituto de Estructura de la Materia del CSIC y ha trabajado en el Instituto J. Heyrovsky (Academia Checa de Ciencias, Praga), la École Polytechnique Fédérale de Lausanne y el Rutherford Appleton Laboratory (Oxfordshire, Reino Unido). Su investigación en física experimental de la materia condensada se inició en sistemas desordenados, y ahora se centra en sistemas de baja dimensionalidad y fuertemente correlacionados. Desde 2008 dirige el Laboratorio de Magnetismo y de Magnetotransporte del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid del CSIC.

Es líder del Workpackage de Materiales del proyecto europeo Flagship de la Comunidad Europea. Ha publicado más de 270 artículos científicos en revistas internacionales, dirigido numerosos proyectos de investigación, nacionales y europeos, así como tesis doctorales, y es coautora de varias patentes. Desde 2007 es directora científica del Certamen 'Arquímedes' para el fomento de la investigación entre estudiantes de grado y máster. Es coordinadora de la Red Española de Grafeno, y en 2017 recibió el premio 'Investigador Innovador' del Foro de Empresas Innovadoras.

En un estudio publicado en 'Nature Communication' por expertos de reconocido prestigio como Andre Geim y Kostya Novoselov, **ganadores del Premio Nobel de Física** el año pasado por sus investigaciones sobre el grafeno, se ha presentado un hallazgo novedoso.

Geim y Novoselov manipularon dispositivos de grafeno para usarlos como fotodetectores en las comunicaciones ópticas de alta velocidad del futuro. Optaron por **combinar el grafeno con nanoestructuras metálicas** y consiguieron que captase hasta 20 veces más luz.

Este hallazgo en el que colaboraron expertos de las Universidades británicas de Manchester y Cambridge podría suponer un **importante avance para el mundo de la información en alta velocidad** como internet o las comunicaciones ópticas.

El grafeno es un material compuesto sólo de carbono, **igual que el diamante o el grafito** de la mina de los lápices, que a pesar de su distinto aspecto no son más que formas de carbono puro. Lo que hace que cada uno de ellos sea diferente es su estructura interna, el modo en que se 'colocan' los átomos de carbono que lo componen. En el caso del grafeno, éste se trata de una lámina de un espesor mínimo formada por **una única fila de átomos de carbono**. Las propiedades que esta estructura confiere al grafeno ofrecen un enorme abanico de aplicaciones prácticas. Por ejemplo, aunque sólo tiene un átomo de espesor, su resistencia **es hasta 100 veces superior a la del acero**. Además, es sumamente flexible y un magnífico conductor de electricidad. Desde que este material consiguió 'fabricarse en laboratorio' hace unos pocos años, se ha convertido en el producto de moda. Miles de científicos de todo el mundo investigan sus posibilidades y muchos lo consideran el material del siglo XXI, pues a sus grandes rendimientos físicos añade la virtud de su abundancia, ya que el carbono es uno de los elementos químicos que más abundan en la Tierra.

3.11. Un estudio internacional

Uno de los campos donde el grafeno ha despertado más expectación es el de las telecomunicaciones. "Muchas **compañías líderes en el sector de la electrónica están pensando utilizar el grafeno** para la próxima generación de aparatos", recalca el científico ruso Novoselov.

Una investigación anterior ya había demostrado que se podía **generar energía eléctrica colocando dos alambres de metal** encima de una estructura de grafeno y proyectando una luz brillante sobre ese dispositivo.

Hasta ahora, el principal obstáculo de estos aparatos era su baja eficiencia, ya que el grafeno absorbía poca luz (alrededor del 3%). Esto implica que el 97% restante se escapaba, una gran pérdida en términos de energía eléctrica.

Para evitar esa 'fuga' de luz, los investigadores utilizaron ciertas nanoestructuras metálicas, conocidas como nanoestructuras plasmónicas. A continuación, colocaron las diminutas estructuras en la parte superior del grafeno. Esto **mejoró la capacidad del grafeno para captar luz** sin sacrificar su velocidad. Los expertos no descartan que esta rapidez se multiplique en el futuro.

3.12. Dispositivos superrápidos

Según explicaron los científicos, **los dispositivos de grafeno pueden ser increíblemente rápidos para transmitir información**, decenas y, posiblemente, cientos de veces más rápidos que los cables de Internet más veloces. Esto se debe a la naturaleza única de los electrones en el grafeno, a su movilidad y a su velocidad.

"Esperábamos que **las nanoestructuras plasmónicas mejorasen la efectividad de los aparatos de grafeno**", ha asegurado Alexander Grigorenko a la agencia Reuters. Sin embargo, confiesa que no pensaban que "la mejora fuese tan espectacular". "Parece un compañero natural de la plasmónica", concluye Grigorenko.

Andrea Ferrari, miembro del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Cambridge también colaboró en el estudio y asegura que "el hallazgo demuestra el importante potencial del grafeno en la fotónica y la optoelectrónica".

¿Qué es la corrosión?

El término corrosión se refiere a la destrucción de un material como resultado de sus interacciones químicas o electroquímicas con el medio circundante; la importancia de su prevención y/o control se debe a que al ser un fenómeno natural, una vez iniciado es prácticamente imposible de detener, es entonces que, una evolución descontrolada invariablemente comprometerá la integridad y vida útil de los materiales generando a la

industria involucrada gastos directos e indirectos por pérdida de producto, paro de actividades por mantenimiento hasta el reemplazo de maquinaria o estructuras.

Corrosión influenciada microbiológicamente

La corrosión influenciada microbiológicamente o MIC (por sus siglas en inglés, Microbiologically Influenced Corrosion) puede definirse como el proceso electroquímico en el cual los microorganismos como algas, hongos y bacterias inician, facilitan o aceleran una reacción de corrosión, generalmente localizada en forma de grietas o picaduras sobre superficies tanto metálicas como de concreto. Aunque la corrosión involucra diversas variables, se estima que la MIC participa desde el 20 - 40% de todas las fallas por corrosión, particularmente en la infraestructura hidráulica y petrolera, con costos cercanos a los 2 mil millones de dólares anuales.

¿Por qué inicia la MIC?

La presencia de humedad en cualquier entorno es el hábitat ideal para el crecimiento de numerosas comunidades de microorganismos que, aunada a condiciones óptimas de temperatura, pH, flujo de nutrientes, etc., promueve su adhesión y crecimiento sobre las superficies formando una biopelícula que si no es removida, crece hasta convertirse en una biomasa endurecida y obstructiva dentro de la cual las bacterias reductoras de sulfato, bacterias productoras de ácido, bacterias reductoras de hierro y bacterias formadoras de gel promueven la corrosión o MIC a través de reacciones electroquímicas destructivas de las superficies.

¿Cómo se combate?

Son tres los métodos más comunes para tratar de combatir la MIC:

- el primero es la limpieza mecánica de las superficies para remover las biopelículas idealmente en etapas incipientes, sin embargo, no siempre es posible acceder a todas las zonas expuestas dificultando su eficiencia;
- la segunda es el uso de agentes biocidas que, además de ser costosos, la mayoría pueden no ser amigables con la salud humana y con el medio ambiente; finalmente y,
- quizá el método más apto es la colocación de barreras externas a manera de recubrimientos o películas poliméricas para evitar el contacto directo de las estructuras metálicas o de concreto con el medio agresivo.

Control de la corrosión en el concreto

Las opciones disponibles para proteger al concreto contra la corrosión desde su estado fresco son las adiciones de materiales puzolánicos, ceniza volante, escoria de alto horno, agregados sin sulfatos, fibras poliméricas, uso de cemento resistente a sulfatos o modificados con nanopartículas como los nanotubos y nanofibras de carbono, nanopartículas de sílice, alúmina o dióxido de titanio; para la protección en el estado endurecido es común la aplicación de barreras físicas como los recubrimientos anticorrosivos o películas poliméricas y, para la protección de las estructuras metálicas, además de los recubrimientos anticorrosivos, se puede hacer uso de estructuras galvanizadas, estañadas o la colocación de ánodos de sacrificio de magnesio. Sin embargo, se considera que, por la porosidad natural del concreto, no existen métodos totalmente eficientes que ataquen el problema de la corrosión hacia el interior de las estructuras.

La corrosión en el concreto puede ocurrir por carbonatación, ingreso de cloruros y sulfatos o por ataque microbiológico; cuando el concreto tiene acero de refuerzo y es atacado por la corrosión, se puede llegar a formar un óxido con 2 a 4 veces mayor volumen que el acero original provocando pérdida de adherencia con el concreto y poniendo en riesgo la resistencia del material. Además, la porosidad del concreto además de permitir el paso de humedad para el ingreso de iones agresivos también ofrece millones de nichos ideales para la retención de microorganismos y para la subsecuente formación de las biopelículas iniciadoras de la MIC, no solo porque favorecen su anclaje, sino porque dificultan su eliminación y promueven el avance de la corrosión.

El Grafeno y el óxido de grafeno son nanomateriales multifuncionales de carbono con extraordinarias propiedades que, al incorporarse como nanorelleno de otros compuestos como recubrimientos, plásticos o cemento, tienen la capacidad de organizar molecularmente su estructura de tal forma que mejoran su resistencia frente a ataques químicos, físicos y microbiológicos. Entre sus particularidades está que son nanoestructuras inertes, es decir, son estables, no reaccionan con otros materiales y no sufren oxidación ni corrosión; son sumamente delgados y ligeros, pero a la vez, muy resistentes y flexibles; son impermeables incluso a los gases y cuentan con mecanismos antimicrobianos sumamente eficientes.



Figura 23. Nanotubos de carbono, para aplicaciones diversas

A continuación, se resumen algunas de las investigaciones más destacadas sobre el uso del grafeno como alternativa contra la corrosión influenciada microbiológicamente (MIC):

2015- El Departamento de Ciencias e Ingeniería de Materiales del Instituto Politécnico Rensselaer, Nueva York, E.U.A., modificó recubrimientos de poliuretano con grafeno identificando una protección 10 veces mayor contra la MIC en comparación con los recubrimientos de poliuretano no modificados.

2017- El laboratorio de Nanobiomateriales de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, evaluó el efecto directo del grafeno colocado sobre sustratos de níquel y su interacción con bacterias causantes de corrosión; los resultados evidenciaron una barrera impermeable generada por el grafeno que bloqueó la interacción entre las bacterias y el metal, pero sin efecto bactericida.

2021- El Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Escuela de Minas y Tecnología de Dakota del Sur, E.U.A., reportó que múltiples capas de grafeno restringieron 10 veces más el ataque de la MIC sobre superficies de cobre y níquel.

2021- La Escuela de Ingeniería de la Universidad de Glasgow, Escocia, examinó el deterioro de pastas de cemento modificadas con óxido de grafeno (GO) expuestas a ambientes de ácidos. Los resultados demostraron que la presencia de GO disminuye la pérdida de masa en el concreto por dichos ataques, reconociéndolo como un aditivo potencial para modificar la microestructura y la vida útil del concreto frente a ambientes agresivos como los presentes en almacenes de productos químicos hasta los sistemas de aguas residuales.

Energieia Fusion (Graphenemex®), la empresa mexicana líder en América Latina en la producción de materiales grafénicos, después de un largo camino de investigación en

2018 lanzó al mercado la **Línea Graphenergy** que comprende una serie de **recubrimientos anticorrosivos y antimicrobianos** con nanotecnología grafénica y el primer **aditivo para concreto con óxido de grafeno** en el mundo, cuyo uso individual o combinado prometen grandes beneficios contra la corrosión.

Graphenergy Construcción es un aditivo base agua con **óxido de grafeno** diseñado para mejorar la calidad de las estructuras de cemento en términos de resistencia mecánica y durabilidad. El valor agregado que el óxido de grafeno ofrece al concreto en la lucha contra la MIC desde el exterior hacia su interior es resultado de una serie de eventos que comienzan favoreciendo la hidratación del cemento actuando como reservorios de agua y como plataforma para el crecimiento de cristales de C-S-H y para disipar el calor de hidratación; mejora las zonas de transición interfacial entre la pasta de cemento y los agregados ayudando a reducir el tamaño y volumen de los poros, esto a su vez favorece el aumento de la resistencia mecánica, reduce la permeabilidad, aumenta su resistividad, es decir, reduce la transferencia de cargas eléctricas hacia el interior del concreto retrasando el inicio de corrosión y, finalmente, modifica las cargas electrostáticas y la humectabilidad de las superficies dificultando la formación de biopelículas causantes de la MIC.

Los **recubrimientos Graphenergy** formulados con **óxido de grafeno** ofrecen gran resistencia contra la corrosión en zonas costeras y no costeras, así como una excelente protección antimicrobiana sin mecanismos biocidas, ya que su efecto consiste en evitar la adhesión de los microorganismos a las superficies. Además, su impermeabilidad, resistencia a la abrasión y resistencia contra los intensos efectos de la intemperie incrementan su vida útil y, por lo tanto, disminuyen sustancialmente los costos de mantenimiento tanto de estructuras metálicas como de concreto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Ramsden, *Nanotechnology: An Introduction*, Elsevier, 2011.
- [2] Ch. P. Poole Jr. y F. J. Owens, *Introducción a la Nanotecnología*, Reverté, Barcelona, 2007.
- [3] M. Faraday, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1857, 147, 145-181.
- [4] C. Guozhong, *Nanostructures and Nanomaterials*, Imperial College Press, Londres, 2004.
- [5] F. Gómez Villarraga, *Síntesis de complejos y estabilización de nanopartículas de paladio con ligandos híbridos pirazólicos y carbenos Nheterocíclicos y su aplicación en catálisis*, tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 2013.
- [6] A. Roucoux, J. Schulz y H. Patin, *Chem. Rev.*, 2002, 102, 3757-3778.
- [7] N. Toshima y T. Yonezawa, *New J. Chem.*, 1998, 22, 1179-1201.
- [8] N. A. Dhas, H. Cohen y A. Gedanken, *J. Phys. Chem. B*, 1997, 101, 6834-6838.
- [9] M. T. Swihart, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, 2003, 8, 127-133.
- [10] M. T. Reetz, W. Helbig y S. A. Quaiser, *Active Metals: Preparation, Characterization, Applications*, A. Fürstner, Ed., VCH, New York, 1996.
- [11] M. T. Reetz y S. A. Quaiser, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 1995, 34, 2240-2241.
- [12] B. Chaudret y K. Philippot, *Oil Gas Sci. Tech.*, 2007, 62, 799-817.
- [13] K. Philippot y B. Chaudret, *C. R. Chimie*, 2003, 6, 1019-1034.
- [14] C. Sealy, *Nano Energy*, 2012, 1, 192.
- [15] Q. Li y S. Sun, *Nano Energy*, en prensa, doi: 10.1016/j.nanoen.2016.02.030.
- [16] K. Kusada y H. Kitagawa, *Adv. Mater.*, 2016, 28, 1129-1142. [17] G. Rothenberg, *Catalysis: Concepts and Green Applications*, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- [18] R. K. Rai, D. Tyagi, K. Gupta y S. K. Singh, *Catal. Sci. Technol.*, 2016, 6, 3341-3361.
- [19] F. Gómez-Villarraga, J. Radnik, A. Martin y A. Köckritz, *J. Nanopart. Res.*, 2016, 18, 141.
- [20] R. Tietze, J. Zaloga, H. Unterweger, S. Lyer, R. P. Friedrich, C. Janko, M. Pöttler, S. Dürr y C. Alexiou, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2015, 468, 463-470
- [21] O. Madden, M. D. Naughton, S. Moane y P. G. Murray, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2015, 225, 37-52.

- [22] V. Santhanama y R. P. Andres, Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, 2014, 4, 2418-2431. [23] S. A. Tukur y N. Azahyusof, Asian J. Chem., 2015, 27, 1967-1969. [24] J. M. Lee y S. O. Kim, ChemNanoMat, 2016, 2, 19-27.
- [23] *The Many Faces of Graphene as Protection Barrier. Performance under Microbial Corrosion and Ni Allergy Conditions. Materials* 2017, 10, 1406;
- [24] *Effect of graphene oxide on the deterioration of cement pastes exposed to citric and sulfuric acids. Cement and Concrete Composites*, 2021, 124, 104252;
- [25] *Superiority of Graphene over Polymer Coatings for Prevention of Microbially Induced Corrosion. Scientific Reports*, 2015, 5:13858;
- [26] *Atomic Layers of Graphene for Microbial Corrosion Prevention ACS Nano* 2021, 15, 1, 447;
- [27] *Microbiologically induced corrosion of concrete in sewer structures: A review of the mechanisms and phenomena. Construction and Building Materials*. 2020, 239, 117813; *Microbiologically Induced Corrosion of Concrete and Protective Coatings in Gravity Sewers. Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2012, 20(3) 433;
- [28] *In situ Linkage of Fungal and Bacterial Proliferation to Microbiologically Influenced Corrosion in B20 Biodiesel Storage Tanks. Front. Microbiol.* 2020, 11;
- [29] *Chapter 1 – Failure of the metallic structures due to microbiologically induced corrosion and the techniques for protection. Handbook of Materials Failure Analysis. With Case Studies from the Construction Industries*. 2018, 1;
- [30] *Maleic anhydride-functionalized graphene nanofillers render epoxy coatings highly resistant to corrosion and microbial attack. Carbon*, 2020, 159, 586.
- [31] *Gerhardus Koch, Cost of corrosion, In Woodhead Publishing Series in Energy, Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies, Woodhead Publishing*, 2017;