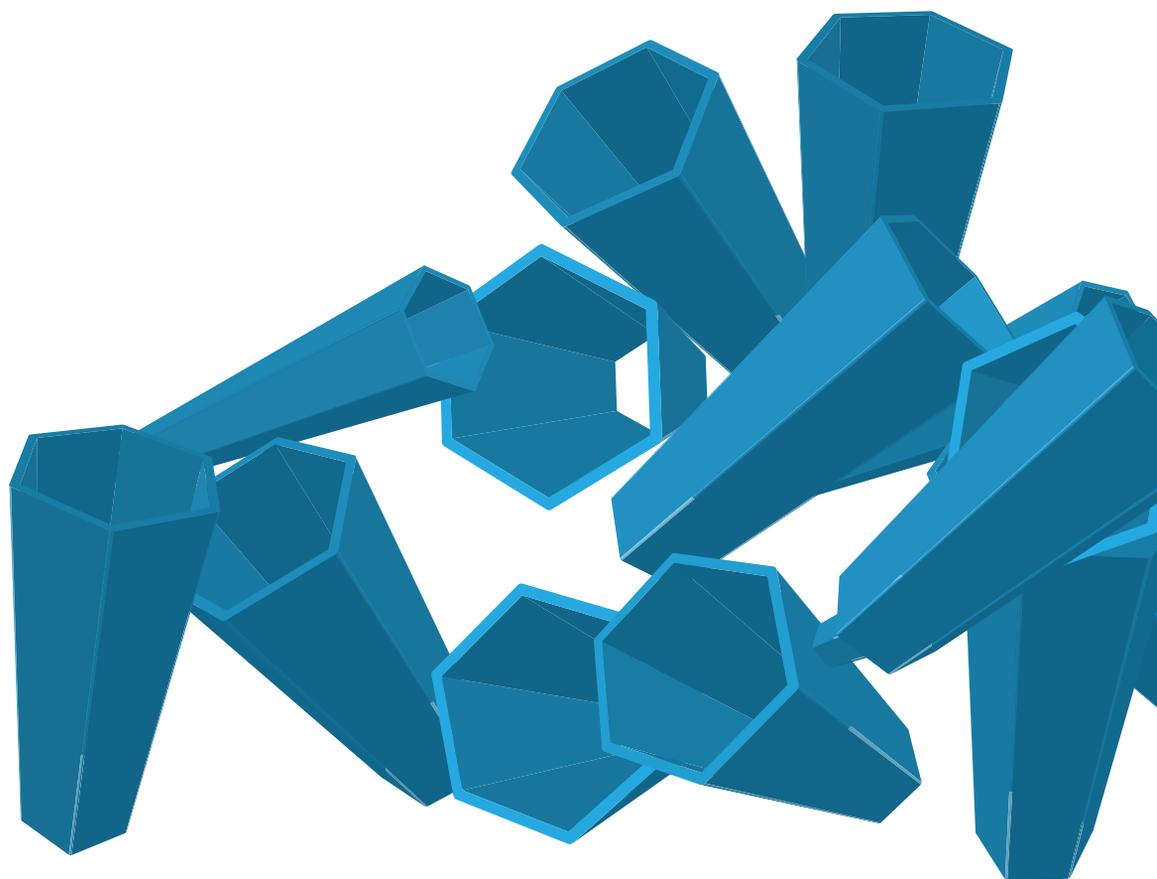


Jesús Cembrero Cil | Miguel Ángel Pérez Puig |  
Emilio Rayón Encinas | David Busquets Mataix |  
Paula Cembrero Coca | Manuel Pascual Guillamón |  
Bernabé Marí Soucase |

# INTRODUCCIÓN A LA NANOTECNOLOGÍA

DESARROLLO DE UN PROCESO TEÓRICO-PRÁCTICO  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE **ELECTRODEPOSICIÓN**



EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

# **Introducción a la Nanotecnología**

**Desarrollo de un proceso teórico-práctico  
mediante la técnica de electrodeposición**

Jesús Cembrero Cil  
(Editor)

Miguel Ángel Pérez Puig  
Emilio Rayón Encinas  
David Busquets Mataix  
Paula Cembrero Coca  
Manuel Pascual Guillamón  
Bernabé Marí Soucase

**EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Comité Editorial de la UPV mediante el procedimiento *peer review*.

Para referenciar esta publicación, utilice la siguiente cita: CEMBRERO-CIL, J. [ed.] Introducción a la Nanotecnología: desarrollo de un proceso teórico-práctico mediante la técnica de electrodeposición. Valencia : Universitat Politècnica, 2013

© Jesús Cembrero Cil (Editor)  
Miguel Ángel Pérez Puig  
Emilio Rayón Encinas  
David Busquets Mataix  
Paula Cembrero Coca  
Manuel Pascual Guillamón  
Bernabé Marí Soucase

© 2013, Editorial Universitat Politècnica de València

*Distribución:* Telf. 963 877 012/ <http://www.lalibreria.upv.es> / Ref.750\_04\_01\_02

Imprime: Byprint percom sl.

Impreso en papel Coral Book



ISBN: 978-84-9048-056-4

Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

# Índice

<b>Introducción</b>	1
<b>1 Campo de aplicación</b>	3
1.1 Alimentación	3
1.1.1 Agricultura y ganadería	3
1.1.2 En el procesado de alimentos	3
1.1.3 En el envasado	3
1.1.4. Como suplementos alimentarios	4
1.2 Biología	4
1.3 Física	4
1.3.1 Optoelectrónica (Nanofotónica)	4
1.3.2 Magnetismo	4
1.3.3 Sistemas de almacenamiento de datos	5
1.3.4 Nanomáquinas	5
1.3.5 Propiedades eléctricas y mecánicas de nanoestructuras	5
1.4 Química	5
1.4.1 Aplicar la técnica de control coherente	5
1.4.2 Células solares	5
1.4.3 Polímeros	5
1.4.4 Crecimiento de películas delgadas y monocapas	5
1.4.5 Proceso de dopado de películas	5
1.5 Medicina	6
1.6 Otros campos	6
<b>2 Estructura del material</b>	7
2.1 El átomo	7
2.2 Masas atómicas	8
2.3 Estructura de la corteza. Electrones	8
2.4 Fuerzas entre partículas	8
2.5 Enlaces	9
2.5.1 Iónico	9
2.5.2 Covalente	9
2.5.3 Metálico	9
2.6 Tabla periódica	9
2.7 Estructuras cristalinas	9
2.8 Celdilla unidad	10
2.9 Sistemas cristalográficos	10
2.10 Índices de Miller	13
2.11 La orientación de los planos, densidades lineales y superficiales	15
2.12 Radio atómico y factor de empaquetamiento	15
2.13 Número de coordinación	15
2.14 Nanopartículas compactas	15
2.15 Estructuras metálicas	16
2.16 Estructuras cerámicas	17
2.17 Fullerenos y grafeno	17

2.18	Nanotubos de carbono	18
2.19	Estructuras poliméricas	18
2.20	Estructuras semiconductoras	19
2.21	Cuasicristales y fractales	19
2.22	Cristales ideales y reales. Defectos de la red	21
2.22.1	Defectos puntuales	21
2.22.1.1	Impurezas	21
2.22.1.2	Vacantes o huecos	21
2.22.1.3	Intersticios	21
2.22.1.4	Defectos de Frenkel	21
2.22.1.5	Defectos de Schottky	22
2.22.2	Defectos lineales. Dislocaciones	22
2.22.3	Vibraciones reticulares	22
2.22.3.1	Fonones	22
	Ejercicios	23
<b>3 Las superficies y los sustratos. La preparación de películas finas</b>		<b>28</b>
3.1	La superficie	28
3.2	Superficies reales e ideales	29
3.3	La subsuperficie	29
3.4	La interfase	30
3.5	Las morfologías superficiales	30
3.6	Los sustratos	30
3.7	Técnicas de preparación de capas finas o películas delgadas	31
3.7.1	Técnicas de fase sólida	32
3.7.2	Técnicas de fase líquida	34
3.7.2.1	Técnicas de fase líquida con moléculas orgánicas	35
3.7.2.2	Técnicas de fase líquida por vertido de la solución	35
3.7.2.3	Vertido con pulverizador (spray pirólisis)	36
3.7.2.4	Impresión de chorro	37
3.7.2.5	Inmersión del sustrato en la disolución (dip coating)	37
3.7.2.6	Técnicas de autoensamblaje (técnicas de fase líquida)	38
3.7.2.7	Epitaxia en fase líquida (L.P.E.)	38
3.7.2.8	Heteroepitaxia	39
3.7.2.9	Electrodeposición	39
3.7.3	Técnicas de fase gaseosa	40
3.7.3.1	Deposición química en fase vapor (CVD)	41
3.7.3.2	Epitaxia en fase vapor (VPE)	42
3.7.3.3	Otras epitaxias	43
3.7.3.4	Deposición física en fase vapor (PVD)	43
3.7.3.4.1	PVD por evaporación (técnicas de fase vapor)	44
3.7.3.4.2	PVD por pulverización catódica o sputtering	44
3.7.3.4.3	Epitaxia por haces moleculares (MBE)	45
	Trabajos propuestos para realizar en el laboratorio	45
<b>4 Materiales semiconductores. Óxidos semiconductores</b>		<b>50</b>
4.1	Bandas de energía	50
4.2	Semiconductores intrínsecos. Mecanismo de la conducción	52

4.3	Dopado. Semiconductores extrínsecos	53
4.3.1	Semiconductores tipo n	54
4.3.2	Semiconductores tipo p	54
4.4	Materiales para semiconductores	56
4.5	Potenciales de contacto	57
4.5.1	Contacto metal-metal	57
4.5.2	Contacto metal-semiconductor	57
4.5.3	Contacto semiconductor-semiconductor	59
4.6	Dispositivos semiconductores	59
4.6.1	Diodo	59
4.6.2	Transistor	61
4.6.3	Otros dispositivos semiconductores	62
4.7	Óxidos semiconductores	62
4.7.1	Características de los óxidos semiconductores	63
4.8	Propiedades ópticas de los semiconductores	66
4.8.1	Fotoluminiscencia	68
4.8.2	Absorción de la luz y efecto fotovoltaico	68
4.9	Imperfecciones cristalinas	68
4.10	El ZnO	68
4.10.1	El ZnO como semiconductor	69
4.10.2	Dificultades en el uso de ZnO en los dispositivos optoelectrónicos	70
	Ejercicios	71
<b>5</b>	<b>Caracterización del material</b>	<b>75</b>
5.1	Rayos X	75
5.1.1	Difracción de rayos X, electrones o neutrones	75
5.1.2	Técnicas de difracción de rayos X	76
5.1.3	Difracción bajo incidencia rasante (GIXRD)	78
5.2	Microscopía	80
5.2.1	Microscopía electrónica de barrido SEM	80
5.2.1.1	Fundamento de la técnica SEM	81
5.2.2	Microscopía electrónica de Transmisión TEM	83
5.2.2.1	Fundamento de la técnica TEM	84
5.2.3	Microscopía de fuerza atómica AFM	85
5.2.3.1	Fundamento de la técnica AFM	85
5.3	Espectroscopía	87
5.3.1	Espectroscopía Raman	87
5.3.2	Fundamento de la técnica Raman	88
5.4	Nanoindentación	89
5.4.1	La dureza de los materiales	89
5.4.2	El durómetro	89
5.4.3	Los indentadores instrumentados	90
5.4.4	Los nanoindentadores	91
5.4.5	Esquema básico de un equipo de nanoindentación	92
5.4.5	Geometrías de los indentadores	92
5.4.6	Secuencia de ensayos. Cuevas de carga-descarga	95
5.4.7	Método de cálculo de la dureza de indentación $H_i$ y del módulo E	95
5.4.8	Contacto elástico-plástico con indentador Berkovick	96
5.4.9	Deformación puramente elástica con indentador esférico	102
5.5	Medidas ópticas	104

<b>6 Desarrollo de un ejemplo</b>	109
6.1 Trabajo propuesto	109
6.2 Estado del arte	109
6.3 Técnica a emplear	111
6.4 Planificación del trabajo	111
6.4.1 Obtención de las columnas de ZnO	111
6.4.2 Obtención de las columnas huecas de ZnO	113
6.4.2.1 Diseño factorial a dos niveles	113
6.4.2.2 Matriz del diseño	113
6.4.2.3 Análisis e interpretación de los resultados	115
6.4.2.4 Discusión de los resultados	118
6.5 Regeneración de las columnas huecas	118
6.6 Caracterización del material	119
6.6.1 Difracción de R-X	119
6.6.2 SEM	122
6.6.3 TEM	123
6.6.4 AFM	124
6.7 Propiedades ópticas	124
6.7.1 Transmitancia	124
6.7.2 Absorbancia	126
6.7.3 GAP	126
Conclusión	127
<b>Glosario de términos</b>	129
<b>Apéndice</b>	133

## Introducción

El término *nano* es un prefijo empleado en el Sistema Internacional de Unidades para indicar un factor de  $10^{-9}$ . De tal manera que un *nanómetro* es la milmillonésima parte de un metro ( $1 \times 10^{-9}$  m).

Así pues, cuando empleamos la palabra *Nanotecnología* nos referimos a la tecnología que trata sobre materiales nanométricos. Ya que el dominio nanotecnológico resulta, a veces, incierto es necesario indicar que algunas nanotécnicas no lo son pues tratan el material a escala *micrométrica* ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$  m). Como se indica en la revista *Investigación y Ciencia* el mundo “nano” es una misteriosa zona fronteriza entre el dominio de las moléculas y los átomos. Actualmente se considera que la escala nanométrica abarca a todos aquellos dispositivos de dimensiones comprendidas entre 0,5 y 100 nanómetros, Figura 1.

Una pregunta que hacemos cuando nos iniciamos en el estudio de la Nanotecnología es: ¿Cuándo los seres humanos comenzamos a provechar las ventajas de los materiales de dimensiones nanométricas? La respuesta es incierta, ya que, se ha observado en vidrios y otros materiales cerámico, pertenecientes a civilizaciones antiguas, la presencia de partículas nanométricas en su composición. Posteriormente las técnicas litográficas también han utilizado materiales nanotecnológicos en su desarrollo.

Sin embargo, fue el físico Richard Feynman en 1960 en su famosa conferencia titulada “There is plenty of room at the bottom” (Hay bastante espacio en el fondo) quien propuso manipular los átomos individualmente para construir pequeñas estructuras que poseyesen las más variadas propiedades, actualmente mediante el microscopio de fuerzas atómicas (AFM) se ha conseguido. También reconoció la existencia de microestructuras en los sistemas biológicos.

No obstante, es Richard Smalley (premio Nobel de química) cocreador de las esferas de carbono en miniatura llamadas “buckyballs” quien es considerado por muchos como el padre de la nanotecnología.

En 1996 el Gobierno de Estados Unidos, bajo la coordinación de la National Science Foundation, organizó un estudio para evaluar el estado actual de las tendencias en el mundo sobre la investigación y desarrollo de las nanociencias y la nanotecnología. Del estudio se dedujo:

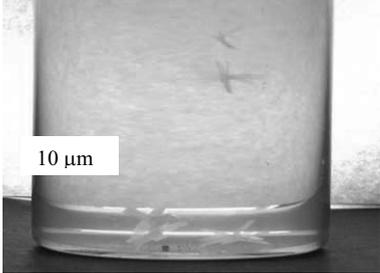
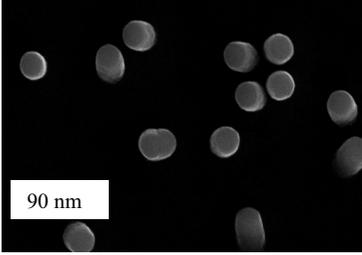
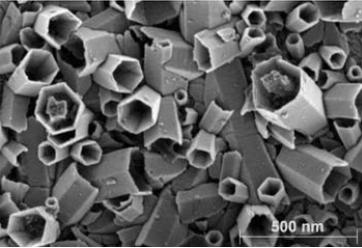
1º) Todos los materiales pueden ser nanoestructurados para obtener nuevas propiedades y aplicaciones novedosas. Esto sucede porque las partículas, con dimensiones menores que las longitudes características asociadas a un fenómeno particular, manifiestan casi siempre, una nueva química y física, lo que lleva a un nuevo comportamiento que depende del tamaño, siendo la mecánica cuántica (mecánica ondulatoria) una de las herramientas más potentes para estudiar el comportamiento de la materia a esta escala.

2º) Existe una gran variedad de disciplinas que contribuyen al desarrollo de la Nanotecnología. Departamentos de Física, Química, Ciencias Ambientales, así como, ingenierías Eléctrica, Mecánica y Química están implicadas en los desarrollos nanotecnológico. Siendo esta diversidad interdisciplinaria la que dificulta mucho la

investigación. Este aspecto nos conduce a la formación de grupos multidisciplinares para la realización de una investigación de calidad.

Finalmente, debemos señalar que la investigación en nanotecnología requiere la utilización de equipos costosos como el AFM, señalado anteriormente, y muchos otros por lo que se impone la necesidad de una adecuada financiación.

**El camino de la Ciencia y de la Nanotecnología**

<p><b>Macro</b></p>	 <p>a)</p>	<p>Física del Est. Sólido. C. de Materiales. Tecnología de Miniaturización.</p>	<p>1950-2000</p>
<p><b>Micro</b></p>	 <p>b)</p>	<p>Biología. Química. Ensamblado de moléculas.</p>	<p>1950-2000</p>
<p><b>Nano</b></p>	 <p>c)</p>  <p>d)</p>	<p>Nanociencia Nanotecnología  Simulaciones. Modelización matemática</p>	<p>2000- ¿?</p>

**Figura 1.** a) Cristales gigantes de yeso; b) Crecimiento de cristales en una solución sobresaturada de tiosulfato sódico; c) Nanocristales de ZnO crecidos sobre ITO (Imagen obtenida mediante SEM); d) Nanocolumnas huecas de ZnO. (Imagen obtenida mediante Field Emission SEM.)

## 1.- Campo de aplicación

La nanotecnología, para algunos historiadores de la ciencia, es un área de investigación definida no por principios de investigaciones científicas sino por asuntos prácticos de construcción de mecanismos a escala atómica, disponiendo para ello de nuevos y potentes instrumentos que resuelven y actúan sobre la materia en la escala nanométrica.

Es decir, construir estructuras (de naturaleza biológica e inorgánica) para ponerlas a nuestra disposición. Así pues, es muy probable que llegue a afectar (de hecho ya ocurre) a muchos aspectos de nuestra vida sin detenernos a considerar los riesgos que esto conlleva.

Sin embargo, las llamadas a la precaución de diferentes grupos y algunos datos indican que todavía se desconocen las posibles consecuencias negativas de la nanotecnología tanto para el medioambiente como para la salud. Ante la pregunta: ¿Qué riesgo plantean algunos nanomateriales para el medio ambiente y la salud del hombre? Nadie responde con claridad. Así que la Comisión Europea ha decidido no regular sobre el tema y resolver esa pregunta con la declaración de un código básico de conducta. En la práctica, supone dar vía libre a las empresas que emplean esta tecnología.

A continuación se indican algunos campos donde la nanotecnología se aplica, o se intenta aplicar, con regularidad. También, es preciso señalar que esta relación de campos y aplicaciones está aumentando continuamente.

**1.1 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. De forma general las aplicaciones en el campo de la alimentación se centran en:

### 1.1.1 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 las cosechas.
- Nanocápsulas para generar vacunas.

### 1.1.2 En el procesamiento de alimentos:

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

### 1.1.3 En el envasado:

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

#### 1.1.4 Como suplementos alimentarios:

- Nanopartículas para incrementar la absorción de nutrientes.
- Nanogotas que contengan vitaminas para una mejor absorción.
- Nanocápsulas para controlar la estabilidad de los nutrientes.
- Nanopartículas para llevar hasta las células humanas los nutrientes sin afectar al color y al sabor de los alimentos.

**1.2 Biología.** Dentro de esta disciplina, la nanotecnología, se conoce como nanobiología, nanobiotecnología o nanobioingeniería. Tiene por objetivo 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 una 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 combustible microbiano. Son dispositivos en el que los microorganismos metabolizan materia orgánica produciendo energía química ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}^+$ ) que la pila transforma en electricidad.
- Biocomputación basada en la capacidad del ADN para almacenar y procesar información.

**1.3 Física.** Esta disciplina, junto con la biología y la química, son las que aportan los principios necesarios para explotar la nueva tecnología. En el caso de la física, se debe indicar a 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:

##### 1.3.1 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.

##### 1.3.2 Magnetismo:

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

### **1.3.3 Sistemas de almacenamiento de datos:**

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

### **1.3.4 Nanomáquinas:**

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

### **1.3.5 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.

**1.4 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 dichos procesos a niveles atómicos o 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:

#### **1.4.1 Aplicar la técnica de control coherente:**

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

#### **1.4.2 Células solares:**

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

#### **1.4.3 Polímeros:**

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

#### **1.4.4 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.

#### **1.4.5. Proceso de dopado de películas:**

- Dopado por difusión.
- Dopado por implantación iónica.

**1.5 Medicina.** En el diagnóstico de enfermedades, la nanotecnología permitirá detectar patologías como el cáncer y otras enfermedades cardiovasculares o neurológicas en su estado más inicial. También regulará la toma de medicamentos mediante la administración continua e inteligente de las 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 sólo sobre las células enfermas.
- Desarrollar fármacos (nanofábricas) 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 novedosos intenta relacionar la estructura física, por ejemplo, de los virus, con la función biológica.

**1.6 Otros campos.** En la energía y el medio ambiente, los nanomateriales resultan cruciales en la implantación de las pilas de combustible y en el control de la captura y liberación de hidrógeno.

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

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

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

## Referencias

- [1] Gary Stix. Nanotecnología, la nueva ingeniería. Investigación y Ciencia. Ed. Scientific American. 2001.
- [2] Fuente Fundación IMDEA. Nanociencia. Madrid 2008.
- [3] Applied Nanoscience. Paris 2004.
- [4] Fuente: Congreso “Nuevas Fronteras en Magnetismo” Jaca (España), 2-7 julio 2007. Revistas: Physical Review Letters y Nature (1998 y 2006).
- [5] Charles P. Poole and Frank J. Owens “Introducción a la Nanotecnología. Ed. Reverté, S.A Barcelona 2007.
- [6] Fuente: Revistas Proceedings (Academia Nacional de Ciencias de EEUU), Cancer Research y Science.
- [7] Fritz Allhoff, Patrick Lin y Daniel Moore: ¿What is Nanotechnology and why does it Matter? Ed. Wiley-Blackwell. Chichester 2010.

## 2.- Estructura del material

Las propiedades y el comportamiento de los materiales dependen, primordialmente, de su constitución, su estructura y de la relación con el medio en que se encuentran. La constitución la determinan los entes básicos que lo forman (partículas elementales, átomos, moléculas y cristales), así como los modos en que tales entes se unen (enlaces).

La estructura hace referencia a los agregados cristalinos (constituyentes), consecuencia de los procesos de conformación y tratamiento a que ha sido sometido. Finalmente, el comportamiento, en un medio determinado, depende tanto del material como de la evolución del propio medio.

Así definidos los materiales, las propiedades que presentan se conocen como macropropiedades, siendo la Ciencia de los Materiales y la Física del Estado Sólido las disciplinas que, hoy, más aportan al conocimiento de tales propiedades.

No obstante, las propiedades que presentan los materiales a escala nanométrica, en general, difieren de las propiedades a escala macroscópica y mesoscópica, sin embargo es necesario conocer éstas para poder entender el comportamiento del material a nivel nanométrico.

### 2.1 El átomo

Conocer el comportamiento y las propiedades de los materiales implica conocer las partículas elementales que los forman, tales como protón, electrón, positrón, deuterón, fotón y otras. Siendo sus características fundamentales la masa, la carga eléctrica y el promedio de vida o vida media.

Todas estas partículas están sometidas a la ley de la gravedad, pero su efecto sobre ellas es prácticamente imperceptible debido al tamaño tan pequeño de las mismas. Por lo que este efecto no tiene importancia alguna en la constitución estructural de los materiales, por el contrario si lo tienen las fuerzas eléctricas de tipo colombiano y las de corto alcance.

A su vez, la unión de partículas elementales forman los átomos, la unión de éstos las moléculas y macromoléculas, llegando finalmente a la síntesis de las distintas formas de materia.

Así, el átomo es un agregado de partículas elementales en el que existen dos partes bien diferenciadas: el núcleo, de carga positiva donde radica, prácticamente, toda la masa y la corteza, formada por electrones. El átomo así definido se conoce como modelo del átomo de Bohr-Rutherford y se representa mediante una esfera.

El núcleo del átomo tiene un diámetro del orden de  $10^{-15}$  m. Está formado por protones y neutrones, siendo los primeros los que le dan la carga. Su número determina el número atómico  $Z$  (número de orden del elemento en el Sistema Periódico). El número másico  $A$  corresponde al total de neutrones más protones del núcleo, por lo que el número de neutrones es la diferencia  $A - Z$ .

Los átomos que tienen en su núcleo el mismo número de protones y distinto de neutrones se denominan isótopos; el mismo número de neutrones y distinto de protones se denominan isótonos y el mismo número másico se denominan isóbaros.

Las propiedades químicas de los isótopos son semejantes, pero no las de los isótonos e isóbaros.

## 2.2 Masas atómicas

Son los valores relativos de las masas de los átomos con respecto a la masa del isótopo 12 del carbono al que se le asignó el valor de masa atómica 12. La cantidad de sustancia fijada, por acuerdo internacional, es de 0,012 Kg. de carbono 12 y se denomina mol.

Un mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 Kg. de carbono 12, es decir  $6,0248 \cdot 10^{23}$ .

De esta manera la masa (peso) de un único átomo de carbono, o de cualquier otro elemento, será la masa atómica de ese elemento dividido por  $6,0248 \cdot 10^{23}$ .

El número  $6,0248 \cdot 10^{23}$  se conoce como número de Avogadro ( $N_A$ ). Cuando se emplea el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones y otras partículas o agrupaciones de partículas.

## 2.3 Estructura de la corteza. Electrones

La corteza constituye la parte del átomo donde se encuentran los electrones. Estos giran alrededor del núcleo, siendo su energía, para una órbita estable, suma de la energía cinética y potencial. Las órbitas se caracterizan por las energías de los distintos electrones que las ocupan. Los electrones de menor energía ocupan las órbitas más próximas al núcleo y los más energéticos las órbitas más externas. El paso de un electrón de una órbita a otra son manifestaciones energéticas de la corteza que se observan externamente como líneas espectrales. Así, energía emitida rayas espectrales luminosas o energía absorbida rayas espectrales negras.

## 2.4 Fuerzas entre partículas

La fuerza gravitacional, debido a la pequeña masa de estas partículas, no influyen en la constitución estructural del material. Sí lo tienen, por contra, las fuerzas eléctricas y las denominadas de corto alcance.

Fuerzas eléctricas entre los átomos pueden ser atractivas debido a la acción electrostática que se establece entre el átomo y la nube de electrones o de rechazo, la que se genera, entre los núcleos atómicos o las nubes electrónicas entre sí.

Fuerzas de corto alcance son consecuencia de la distribución asimétrica, que aparece a veces, de las cargas positivas y negativas del átomo, esta asimetría se conoce como dipolo.

## 2.5 Enlaces

Son todas las fuerzas que mantienen unidos los átomos entre sí para formar moléculas u otros agregados atómicos. Los enlaces se clasifican de más energéticos o enlaces principales a menos energético o enlaces secundarios, siendo la energía del enlace o cohesión la diferencia entre la energía de los átomos libres y la de los mismos átomos enlazados. Esta energía se mide en electrón-voltio (eV). Así, los enlaces principales son:

**2.5.1 Iónico.** Se origina al unir dos átomos uno de los cuales es más electronegativo que el otro. El prototipo de este enlace es la unión del cloro y el sodio para formar cloruro de sodio (NaCl), de energía 7,9 eV. El enlace iónico es característico de los materiales cerámicos.

**2.5.2 Covalente.** Se origina al compartir electrones de valencia (son los electrones situados en las órbitas más externas) entre dos átomos adyacentes. El prototipo es la unión entre dos átomos de carbono (7,4 eV), este enlace es característico de los materiales orgánicos.

**2.5.3 Metálico.** Este enlace, también conocido como enlace de Lorenzt, es característico de los metales y aleaciones de metales, en él se considera al metal como un conjunto de ordenado de esferas rígidas, que son los iones positivos rodeados de una nube de electrones, denominada gas electrónico. Esta configuración del enlace, permite explicar de una manera muy coherente las propiedades de los metales. Así, el enlace metálico entre átomos de hierro es de 4,3 eV.

Estos tres enlaces son la causa principal de la cohesión de los materiales. No obstante se pueden enlazar ciertos átomos con enlaces más débiles (sin transferir ni compartir electrones) mediante uniones de tipo bipolar, son los llamados enlaces de Van der Waals, enlace bipolar y enlace de puentes de hidrógeno. Estos enlaces se dan, entre otros, en los gases nobles y en las uniones entre cadenas de los polímeros.

## 2.6 Tabla periódica

Ordenación sistemática de los elementos químicos con arreglo a su configuración electrónica y masas atómicas debido a Mendeleiev y Lothar Meyer. En ella los elementos con tendencia a captar electrones se denominan metaloides. Por el contrario, los elementos que tienen tendencia a ceder electrones se les denomina metales.

## 2.7 Estructuras cristalinas

En los líquidos y gases las partículas que los forman están desordenadas. En los sólidos puede darse una ordenación regular de las partículas (átomos), es lo que se denomina estado cristalino, o por el contrario, una distribución irregular de los átomos, es el estado vítreo.

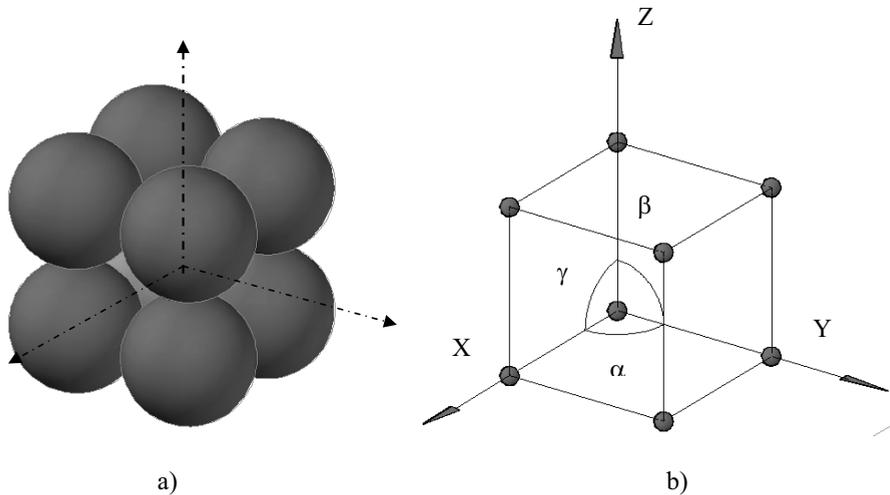
El estado cristalino es característico de los metales y sus aleaciones, en algunos materiales cerámicos y poliméricos también se da esta ordenación, por el contrario el estado vítreo es característico de los vidrios. El estado vítreo es isótropo, mientras que el estado cristalino es anisótropo, es decir, ofrece direcciones privilegiadas en su comportamiento.

La principal característica de la estructura cristalina es que es regular y repetitiva. Es decir, la configuración de estas estructuras se debe a la repetición de una unidad estructural que se denomina celdilla unidad.

## 2.8 Celdilla unidad

La característica clave de la celda unidad es que contiene una descripción completa de la estructura del material, ya que ésta puede entenderse como una agrupación de celdas unidad unidas cara a cara a lo largo de un espacio tridimensional.

Así, vemos en la Figura 2.1 que el paralelepípedo con ocho átomos en las esquinas, representados mediante esferas rígidas, constituye una la celdilla unidad. Además, todas las estructuras cristalinas pueden describirse mediante un pequeño número de geometrías de celdas unidad. Los valores  $a$ ,  $b$  y  $c$  se denominan parámetros de la red, en el caso de la red cúbica son iguales.



**Figura 2.1** a) Agrupación de átomos conformado una red cúbica simple; b) Posición de los átomos en los vértices de la red cúbica simple. (Los átomos se han representado como puntos gruesos para no perder la perspectiva de la celdilla.)

## 2.9 Sistemas cristalográficos

Los tres versores ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) junto con los tres ángulos ( $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ ) véase la Figura 2.2, determinan el sistema cristalino al que pertenece la celdilla. Únicamente son posibles 14 tipos de celdillas elementales que se agrupan en 7 sistemas cristalográficos como se indica en la figura. La mayoría de los metales y sus aleaciones cristalizan en el sistema cúbico o exagonal.

**Para seguir leyendo haga click aquí**