



Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de colaboración entre o instituto galego de promoción económica, a asociación de centros tecnolóxicos de galicia e os centros integrantes de esta asociación, para a detección e análise de oportunidades sectoriais para as empresas industriais galegas no viero da industria 4.0



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN	4
1.1.1 Industria 4.0 y Materiales Inteligentes	4
1.2 MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DEL ESTÍMULO (SENSORES)	7
1.2.1 Materiales fotoactivos	7
1.2.2 Materiales cromosactivos	9
1.2.3 Materiales bioactivos	11
1.2.4 Materiales magnetostrictivos	12
1.2.5 Materiales electrostrictivos	12
1.2.6 Materiales piezoeléctricos	13
1.2.7 Materiales electroactivos	13
1.2.8 Materiales piroeléctricos	15
1.3 MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DE LA RESPUESTA A UN ESTÍMULO (ACTUADORES)	16
1.3.1 Materiales termoeléctricos	16
1.3.2 Materiales electroreológicos y magnetoreológicos	17
1.3.3 Materiales con memoria de forma	18
2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA	21
2.1 NANOMATERIALES	21
2.1.1 Fabricación en la nanoescala	22
2.2 NANOPARTÍCULAS Y NANO-OBJETOS: QUÉ SON Y CÓMO SE HACEN	23
2.2.1 Ejemplos de fabricación de nanopartículas	24
2.2.2 El oro y sus colores	26
3. APLICACIONES POR SECTOR	28
3.1.1 Sector transporte	28
3.1.2 Sector Naval	29
3.1.3 Industria aeroespacial	30
3.1.4 Sector alimentación	31
3.1.5 Sector textil	33
3.1.6 Energía	34
3.1.7 Industria metalmecánica	37
3.1.8 TIC	39
3.1.9 Robótica	39

3.2 PROVEEDORES DE NANOTECNOLOGÍA41

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN

1.1.1 Industria 4.0 y Materiales Inteligentes

El término **Industria 4.0** surge como impulso del gobierno alemán para atraer la modernización de su tejido empresarial, fuertemente dependiente del sector productivo. Dentro de sus estrategias para el 2020 busca mantener unas factorías competitivas, capaces de desarrollar productos de alto valor añadido y de adaptarse a las necesidades del mercado. **La cuarta revolución industrial** viene marcada por la digitalización de los procesos de producción, gracias a la introducción de las Tecnologías de la Información e Internet de las cosas, y el uso de **nuevos materiales**. Ahora, los sistemas ciberfísicos son los protagonistas y es posible personalizar la producción en masa.

La era de la información en el sector industrial se encuentra aún en sus primeros estadios para alcanzar el intercambio ilimitado de datos. Al inicio de la cadena de proceso, la mayor eficiencia de los recursos depende en gran medida del equipamiento que suministra estos datos: los sensores inteligentes.

Los sensores hacen las veces de órganos sensoriales de las máquinas, y la información que proporcionan es el primer factor que hace posibles las máquinas inteligentes: dan a las máquinas la capacidad de ver, detectar y comunicar de forma inteligente. Los sensores inteligentes contribuyen a la capacidad de clasificar e interpretar la información. De forma paralela a la transformación de los procesos de fabricación hacia la Industria 4.0, **los materiales inteligentes deben aportar información de valor sobre la propia calidad de los procesos productivos**, como una vía más para controlar los aspectos más críticos que afectan a los mismos. De esta forma se contribuye a lograr un uso más eficiente y sostenible de los recursos y de las materias primas y a reducir los tiempos de producción, haciendo los procesos aún más competitivos.

Todos nosotros reaccionamos ante el mundo que nos rodea como “sensores” cuando oímos, vemos o sentimos, y como “actuadores” cuando reaccionamos a esos estímulos. Con el devenir de los años, la investigación tomó el camino de intentar dotar de una capacidad de reacción similar a los materiales, convirtiéndolos en “inteligentes”.

Los **materiales inteligentes**, también denominados **materiales activos** o **materiales multifuncionales**, son aquellos que manifiestan un cambio en sus propiedades o en su forma como respuesta a los estímulos del entorno en el que se encuentran. Estos estímulos externos (físicos o químicos) pueden ser tales como la presión, temperatura, humedad, pH, campos eléctricos o magnéticos, etc. En la literatura anglosajona coexisten los términos de “intelligent materials” y “smart materials”, denominándose algunas veces “active materials”.

Si bien es complejo definirlos, más complejo es intentar clasificarlos, ya que la línea que separa las diversas familias de materiales no siempre tiene el mismo grosor y no todos los expertos coinciden en cuáles deben ser los materiales que se incluyen en la clase de los inteligentes. En las Tablas 1 y 2, se propone una posible clasificación de los mismos, diferenciando entre sensores y actuadores.

Sensores	MATERIALES	ESTÍMULO	RESPUESTA	
	Fotoactivos	Electroluminiscentes	Campo Eléctrico	Emisión de luz
		Fotoluminiscentes	Luz	
		Quimioluminiscentes	Estímulo químico	
		Termoluminiscentes	Temperatura	
	Cromoactivos	Electrocromicos	Campo Eléctrico	Color
		Termocromicos	Temperatura	
		Fotocromicos	Luz	
		Quimiocromicos	Estímulo Químico	
	Materiales biactivos		Temperatura, luz, campo eléctrico	Varias
Magnetostrictivos		Deformación mecánica;	Campo magnético/eléctrico	
		Campo magnético/eléctrico	Deformación mecánica	
Electrostrictivos		Deformación mecánica	Polarización eléctrica	
Electrocerámicas		Deformación mecánica	Corriente eléctrica	
		Corriente eléctrica	Deformación mecánica	
Polímeros electroactivos		Deformación mecánica	Polarización eléctrica	
Piroeléctricos		Temperatura	Polarización eléctrica	

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DEL ESTÍMULO Y RESPUESTA (SENSORES)

	MATERIALES	ESTÍMULO	RESPUESTA	
Actuadores	Termoeléctricos	Calor	Corriente eléctrica	
	Piezoeléctricos	Deformación mecánica	Corriente eléctrica	
		Corriente eléctrica	Deformación mecánica	
	Electrostrictivos	Deformación mecánica	Polarización eléctrica	
	Magnetostrictivos	Deformación mecánica	Campo Magnético/Eléctrico	
		Campo Magnético/Eléctrico	Deformación mecánica	
	Polímeros electroactivos	Campo eléctrico/pH	Deformación mecánica	
	Magnetoreológicos	Elastómero MR	Campo magnético	Viscosidad
		Fluido MR		
	Electroreológicos	Ferrofluidos	Campo eléctrico	Viscosidad
Elastómero ER				
Fluido ER				
Materiales Memoria de forma	Shae Memory Alloys, SMA	Temperatura	Deformación mecánica	
	Polímeros SMA	Campo magnético		
	Ferromagnéticos SMA, FSMA			

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DEL ESTÍMULO Y RESPUESTA (ACTUADORES)

En las Tabla 1 y Tabla 2 encontramos **materiales de naturalezas muy diversas** como los polímeros, metales y aleaciones de los mismos, cerámicas, electrocerámicas, materiales compuestos o biomateriales, que responden a estímulos diferentes como la temperatura, luz, deformación, pH, campos magnéticos o corrientes eléctricas.

Las **respuestas** que provocan estos estímulos en los materiales también son muy variadas e incluyen cambios de la viscosidad, color, de forma, en su red cristalográfica o de estados energéticos de sus electrones.

Para el desarrollo de este tipo de materiales es necesario adoptar **estrategias tecnológicas y de fabricación novedosas**. Estas estrategias incluyen la **nanotecnología** que permite la aditivación de materiales convencionales para la obtención de nuevas funcionalidades o funcionalidades expandidas, así como para la sensorización integrada¹; los **materiales de cambio de fase** (*Phase Change Materials*) que son utilizados para estrategias de calentamiento/refrigeración controlada e inteligente²; los **biomateriales** que se alinean con los requisitos de sostenibilidad perseguidos por la Industria 4.0, o las aleaciones y polímeros con memoria de forma entre otros; la **modificación láser** para personalización y funcionalización robotizada enfocada a la customización masiva, o el uso de tecnología de modificación de superficies por plasma³.

En general estos materiales llamados “inteligentes” se solapan y se entremezclan con otras grandes tecnologías como las nanotecnologías, la microelectrónica y los biomateriales.

1.2 MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DEL ESTÍMULO (SENSORES)

A continuación, se describen diferentes tipos de materiales en función del estímulo, y su respuesta:

1.2.1 Materiales fotoactivos

Los materiales fotoactivos son aquellos capaces de emitir energía en forma de luz. La propiedad de la fotoactividad se da a consecuencia de que los electrones de valencia son excitados a niveles más elevados por distintos estímulos, y posteriormente vuelven a caer a niveles de energías inferiores emitiendo fotones, es decir, luz. Se clasifican en:

ELECTROLUMINISCENTES

La electroluminiscencia, en términos generales, es la **emisión de luz inducida por una corriente eléctrica** aplicada. Los materiales electroluminiscentes, al igual que los fotoluminiscentes, incluyen tanto materiales orgánicos (OLED) como inorgánicos. Se trata de materiales que ya presentan desarrollos comerciales, excepto los materiales electroluminiscentes orgánicos. Pero todos ellos todavía pueden optimizarse ya que presentan bajos tiempos de utilización, son vulnerables a la fotodegradación y precisan de condiciones de fabricación en sala blanca y atmósfera controlada.

¹ Nanomaterials RoadMap 2015 – Overview on promising nanomaterials for industrial applications.

² R. Baetens, *et al.*, *Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review*, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 1361-1368.

³ The Textile Institute, *Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, Systems and Applications - Trends In Smart Medical textiles*, 2007.



ILUSTRACIÓN. 1. EJEMPLOS DE APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS OLED

FOTOLUMINISCENTES

El principio básico de la fotoluminiscencia es que los electrones que orbitan alrededor de los átomos o las moléculas absorben energía debido a la colisión con protones durante la excitación y, a continuación, se emite ese exceso de energía en forma de fotones (normalmente luz visible) durante cierto tiempo. Existen dos tipos de fotoluminiscencia: la **fluorescencia** y la **fosforescencia**. La diferencia entre ellas es el tiempo. Los materiales fluorescentes emiten luz durante nanosegundos, y necesitan una fuente continua de excitación para generar colores altamente llamativos. Los materiales fosforescentes, una vez excitados, emiten luz durante un tiempo prolongado de horas.



ILUSTRACIÓN2. EJEMPLO DE CINTA DE PVC FOTOLUMINISCENTE, EMPLEADA PARA LA ILUMINACIÓN, CON AUTONOMÍA SUPERIOR A 5H EN AUSENCIA DE LUZ

QUIMIOLUMINISCENTES

La luminiscencia es definida como la emisión de luz asociada con la disipación de energía con una sustancia electrónicamente excitada. En el caso de la quimioluminiscencia, la emisión de luz es causada por los **productos de una reacción química** específica, aunque normalmente el rendimiento térmico es muy bajo y se requieren instrumentos muy potentes (fotomultiplicadores) para detectarlas.

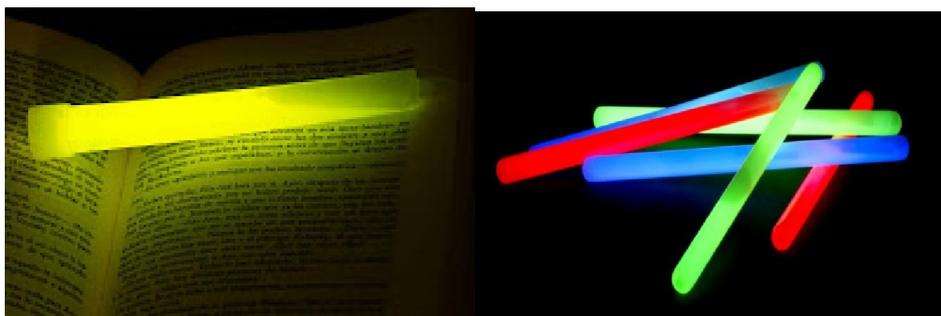


ILUSTRACIÓN3. BARRAS QUÍMICAS LUMINISCENTES EMPLEADAS EN SEGURIDAD

TERMOLUMINISCENTES

El fenómeno de la termoluminiscencia consiste en la emisión de luz por ciertos materiales al ser calentados, por debajo de su temperatura de incandescencia, habiendo sido previamente expuestos a la acción de un agente excitante como las radiaciones ionizantes. Está presente de manera natural en ciertos minerales como el cuarzo.



ILUSTRACIÓN4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA TERMOLUMINISCENCIA: DOSÍMETROS

1.2.2 Materiales cromoactivos

Los materiales cromoactivos son aquellos que responden a un estímulo externo **cambiando sus propiedades ópticas**, de manera que el material modifica su apariencia de manera significativa. Es decir, sus propiedades de absorptividad, reflectividad y transmisividad cambian lo suficiente como para causar un cambio en su color, reflectividad o transparencia.

ELECTROCRÓMICOS

El mecanismo reside en **reacciones electroquímicas** que suponen una transferencia de electrones e iones entre electrodos y el material electrocromático. Cuando una corriente eléctrica se hace pasar a través del material y los iones y electrones cambian entre electrodos, hay una cantidad de energía incidente con

longitudes de onda en el visible, que pueden ser absorbidas, causando un cambio de color en el material volviéndose menos transmisoro.



ILUSTRACIÓN5. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE VIDRIO ELECTROCRÓMICO

TERMOCRÓMICOS

El termocromismo es la habilidad de **cambiar de color debido a un cambio en la temperatura** de manera reversible. Los dos mecanismos termocrómicos se basan en cristal líquido y colorantes. El cristal líquido se utiliza cuando se precisa cierta precisión, ya que su resultado puede manipularse para temperaturas concretas, pero su rango de color aplicaciones generales es limitado. Los colorantes permiten obtener una mayor variedad de colores, pero su respuesta térmica no es tan precisa.



ILUSTRACIÓN6. ENVASES TERMOCRÓMICOS PARA EL SECTOR ALIMENTACIÓN

QUIMIOCRÓMICOS

Los materiales que presentan efecto quimio-crómico son aquellos que manifiestan un **cambio de color frente a estímulos químicos** como el cambio de polaridad, pH o la presencia de iones metálicos. Generalmente se clasifican en función del fenómeno que induce el cambio de color (solvatocromismo, ionocromismo, halocromismo, etc.). Estos materiales se emplean en superficies expuestas a sustancias contaminantes a detectar, y entran dentro de la familia de sensores colorímetros.



ILUSTRACIÓN7. IZDA. TUBOS COLORÍMETRICOS PARA LA DETECCIÓN DE GASES; DCHA. PATRONES HALOCRÓMICOS PARA MEDICIÓN DE PH

FOTOCRÓMICOS

Un material fotocromático **cambia de transparente a color cuando es expuesto a la luz** y revierte a transparente cuando esa luz cesa.

Sus **principales aplicaciones** son:

- Gafas de sol, en las que la velocidad de cambio de color ante la luz es un criterio de calidad de las lentes.
- Química supra molecular (interruptores supramoleculares).
- Almacenamiento de datos (discos ópticos tridimensionales).
- Pigmentos fotocromáticos para la industria de los juguetes, cosmética, trajes, etc.

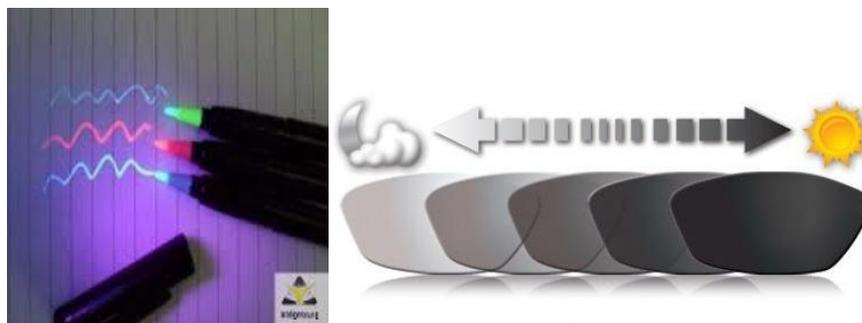


ILUSTRACIÓN8. EJEMPLOS DE APLICACIONES DE MATERIALES FOTOCRÓMICOS

1.2.3 Materiales bioactivos

Según la definición propuesta por Williams (1987), se consideran materiales bioactivos los materiales que **inducen una actividad biológica específica**. A diferencia de los materiales bioinertes, este nuevo tipo de material entra en interacción con procesos biológicos, estimulando, por ejemplo, la regeneración de tejidos humanos.

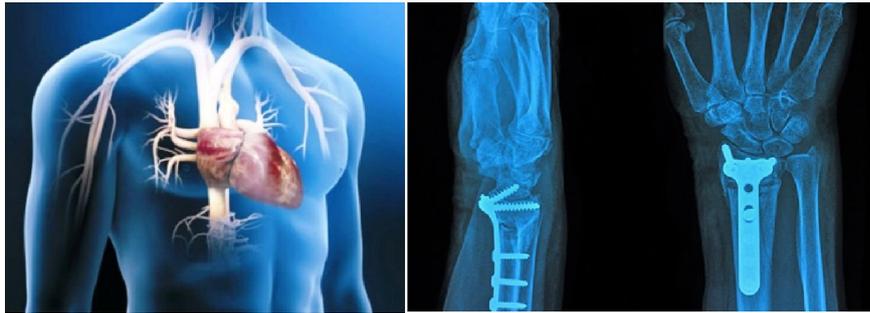


ILUSTRACIÓN9. IMPLANTE BIOACTIVO EMPLEADO EN LA REGENERACIÓN DEL TEJIDO DEL CORAZÓN TRAS UN INFARTO (IZDA), ASÍ COMO EN IMPLANTES ÓSEOS (DCHA.)

1.2.4 Materiales magnetostrictivos

Los materiales magnetostrictivos muestran un **cambio en su geometría** (deformación o elongación) **cuando se aplica un campo magnético**. El efecto inverso se denomina piezomagnetismo, donde un campo magnético es producido o modificado bajo la aplicación de una deformación mecánica. Su campo de aplicación es en emisores y receptores acústicos submarinos e industriales:

- Sonar.
- Hidrófonos.
- Proyector de ultrasonidos de alta potencia.
- Sensores.

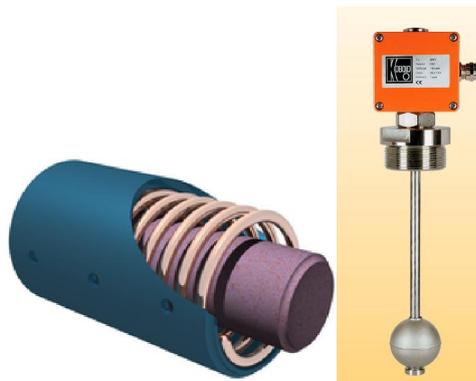


ILUSTRACIÓN10. CORTE TRANSVERSAL DE TRANSDUCTOR, CON MATERIAL MAGNETOESTRICTIVO (IZDA.), SENSOR DE NIVEL MAGNETOESTRICTIVO (DCHA.)

1.2.5 Materiales electrostrictivos

Los materiales electrostrictivos, al igual que los piezoeléctricos, soportan un **cambio dimensional bajo la influencia de un campo eléctrico** aplicado a una polarización bajo una tensión mecánica. La diferencia entre la piezoelectricidad y la electrostricción aparece cuando se invierte el sentido del campo eléctrico; mientras el piezoeléctrico puede alargarse o comprimirse el electrostrictivo solo puede alargarse, independientemente de la dirección del campo eléctrico aplicado mostrando un comportamiento no-lineal. Aunque todos los materiales dieléctricos se ven afectados por electrostricción, algunas cerámicas

especiales tienen una particularmente alta constante electrostricción. Los más comunes son ferroeléctricos relaxores: PbO_3 y $PbO_3-xPbTiO_3$.

1.2.6 Materiales piezoeléctricos

Estos materiales presentan una propiedad descubierta por los hermanos Curie denominada **piezoelectricidad** que es la capacidad, que presentan ciertos materiales cristalinos cuando se ven sometidos a una deformación externa, para generar carga eléctrica debido al desplazamiento de cargas dentro de dicha red.

Al ejercer una tensión mecánica sobre estos materiales la polarización eléctrica del material cambia provocando la aparición de un campo eléctrico (efecto directo). Y viceversa, si se aplica un campo eléctrico sobre este material éste reacciona deformándose (efecto inverso), siendo éste un proceso reversible. Esto implica que recupera su forma o polarización en cuanto se deja ejercer el campo eléctrico o mecánico.

Sus principales **aplicaciones** son:

- Sensores.
- Transductores ultrasónicos (como los cabezales de los ecógrafos).
- Transductor piezoeléctrico.
- Transformadores piezoeléctricos.
- Mecheros eléctricos.
- Encendido electrónico de calefones y estufas a gas.

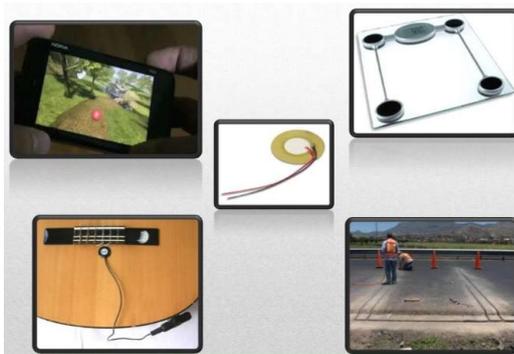


ILUSTRACIÓN 11. EJEMPLOS DE APLICACIONES DE MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS

1.2.7 Materiales electroactivos

Estos materiales deben sus propiedades a la **conductividad** que poseen, aun siendo materiales de naturaleza orgánica. La arquitectura básica de los actuadores EAP (Electroactive Polymer) se realiza a partir de una película de un material elastomérico dieléctrico recubierto en ambas caras con otra película expandible de un electrodo conductor. Cuando se aplica el voltaje a ambos electrodos se crea una presión de Maxwell bajo la capa dieléctrica.

El polímero dieléctrico elástico actúa como un fluido incompresible de manera que, al ir volviéndose más delgada la película dieléctrica, se expande en la dirección del plano. De esta manera la fuerza eléctrica se convierte en actuación y movimiento mecánico. Históricamente la mayoría de los actuadores eran de cerámicas piezoeléctricas, que aunque son capaces de soportar grandes fuerzas, sólo se deforman una fracción de porcentaje. A finales de los años 1990 se demostró que los PEA podían presentar hasta un 380% de deformación, sustancialmente mayor los actuadores de cerámicas piezoeléctricas.

Los EAP son materiales que pueden ser fácilmente fabricados en varias formas debido a la facilidad en el procesamiento de estos materiales poliméricos, cuya propiedad los hace **materiales muy versátiles**. Una aplicación potencial de los EAP es que potencialmente se pueden integrar en sistemas microelectromecánicos para producir actuadores inteligentes.

- **Músculos artificiales:** Como dirección de investigación práctica más prospectiva los EAP se han utilizado en los músculos artificiales, faciales y los músculos de brazo en robots humanoides.
- **Pantallas táctiles Braille:** En los últimos años, se investiga sobre polímeros electro-activos en la temática del braille para permitir que los ciegos saquen el mayor provecho de Internet y otras aplicaciones.
- **Bombas para microfluidos:** Las bombas pequeñas también se puede lograr mediante la aplicación de materiales EAP. Estas bombas se podrían utilizar para la administración de fármacos, dispositivos de microfluidos, para controlar el flujo activo, y una multitud de aplicaciones de consumo.
- **Óptica:** Otra tecnología que se puede beneficiar de las propiedades únicas de los actuadores de EAP son las membranas ópticas. Debido a su bajo módulo y a la impedancia mecánica de los actuadores que están bien adaptados a los materiales de membrana ópticos comunes. Además, un solo accionador de EAP es capaz de generar desplazamientos que van desde micrómetros hasta centímetros.



ILUSTRACIÓN12. MÚSCULO ARTIFICIAL



ILUSTRACIÓN13. PANTALLA TÁCTIL BRAILE

1.2.8 Materiales piroeléctricos

Los materiales piroeléctricos presentan la propiedad de **cambiar su polarización interna cuando son sometidos a cambios de temperatura**, generando así un potencial eléctrico producido por el movimiento de las cargas positivas y negativas a los extremos opuestos de la superficie a través de la migración. Las **aplicaciones** más comunes de estos sensores piroeléctricos son:

- Pirómetros (para medición de temperatura a distancia en hornos, vidrio o metal fundidos).
- Sensores pasivos de infrarrojos
- Medición de radiación.
- Detección de llamas.
- Detección de pérdidas de calor en oficinas, residencias o edificios.
- Mediciones de potencias generadas por fuentes de radiación.
- Analizadores de IR (rayos infrarrojos).
- Detectores de CO₂ y de otros gases que absorben radiación.
- Detectores de IR (rayos infrarrojos) emitidos por el cuerpo humano, para detección de intrusos y de presencia
- Sistemas de encendido automático de iluminación o de calefacción de viviendas, apertura de puertas.
- Detección de pulsos láser de alta potencia.
- Termómetros de alta resolución ($6 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}$).
- Detectores de personas o de movimiento.

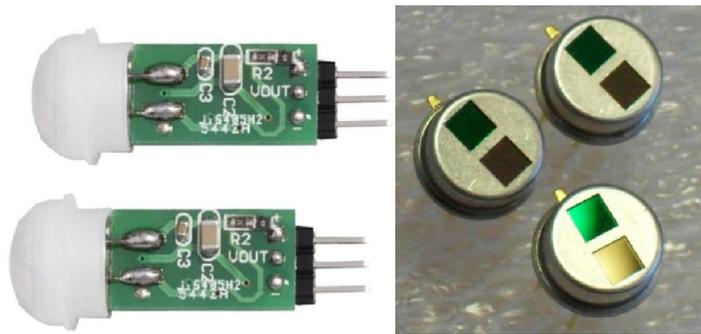


ILUSTRACIÓN14. SENSOR DE INFRARROJOS PIROELÉCTRICO (IZDA.) Y SENSOR DE GASES PIROELÉCTRICO (DCHA.)

1.3 MATERIALES INTELIGENTES EN FUNCIÓN DE LA RESPUESTA A UN ESTÍMULO (ACTUADORES)

1.3.1 Materiales termoeléctricos

El **efecto termoeléctrico** en un material relaciona el flujo de calor que lo recorre con la corriente eléctrica que lo atraviesa. Por lo tanto, un material termoeléctrico permite transformar directamente calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica. Existen aplicaciones de materiales termoeléctricos a bajas temperaturas, temperatura ambiente y altas temperaturas.

Al lograr controlar la conductividad térmica en los materiales termoeléctricos, menos energía se dispersa y más calor se puede dirigir justamente a la generación energética. Hoy en día, los materiales termoeléctricos se usan para alimentar **sondas espaciales** que exploran zonas lejanas del sistema solar, por ejemplo.

Los materiales termoeléctricos se emplean para desarrollar aplicaciones en muchas otras áreas, como por ejemplo **sistemas de escape de vehículos** automotores que conviertan el calor del escape en electricidad, reduciendo así la necesidad de alternadores; enfriamiento de asientos de automóviles en climas cálidos, etc.

Por otro lado, los materiales termoeléctricos también ayudan a concentrar la energía solar para la **generación de energía** de forma sostenible, y además recuperar el calor residual de procesos industriales, con la posibilidad de reutilizarlo y reciclarlo para distintas aplicaciones.



ILUSTRACIÓN 15. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE MATERIALES TERMOELÉCTRICOS EN PROCESOS DE REFRIGERACIÓN

Otro ejemplo de generación de electricidad mediante materiales termoeléctricos podemos encontrarlo en la **industria aeroespacial**. En este ámbito es remarcable el uso de termoeléctricos de SiGe en la sonda Voyager como fuente de energía. La sonda dispone de generadores termoeléctricos de radioisótopos que contienen en su interior elementos que se desintegran radiactivamente para que el calor que generan sea transformado en corriente eléctrica por medio del efecto Seebeck. Este tipo de generación de energía eléctrica es muy adecuada para el espacio, ya que son dispositivos que no necesitan mantenimiento y tienen una durabilidad elevada. El único problema que hay es la baja eficiencia de este tipo de termopares, que tiene como consecuencia la alta cantidad de material radioactivo que han de llevar este tipo de generadores.

1.3.2 Materiales electroreológicos y magnetoreológicos

Los fluidos electroreológicos y magnetoreológicos experimentan un cambio en sus propiedades reológicas bajo la **influencia de un campo eléctrico o magnético**, respectivamente. Este cambio es reversible y ocurre casi instantáneamente bajo la eliminación del campo aplicado. Los cambios físicos pueden ser bastante sustanciales, volviendo un fluido de baja viscosidad en una sustancia mucho más viscosa, casi sólida.

Los **fluidos magnetoreológicos** son útiles en dispositivos donde se requiera una disipación de energía controlada (amortiguadores, frenos, embragues, etc.) así como elementos de fijación en base a su variación de viscosidad. El interés en estos materiales viene de su capacidad para conseguir rápidas y simples interfaces de respuesta entre sistemas electrónicos y mecánicos, por lo que es aplicable en los siguientes sectores:

- **Amortiguación de automóviles.** Empresas fabricantes de automóviles como Cadillac y Audi, en el TT y R8, ya han empezado a incluir en algunos modelos amortiguadores basados en esta tecnología, como el sistema MagneRide de Delphi.

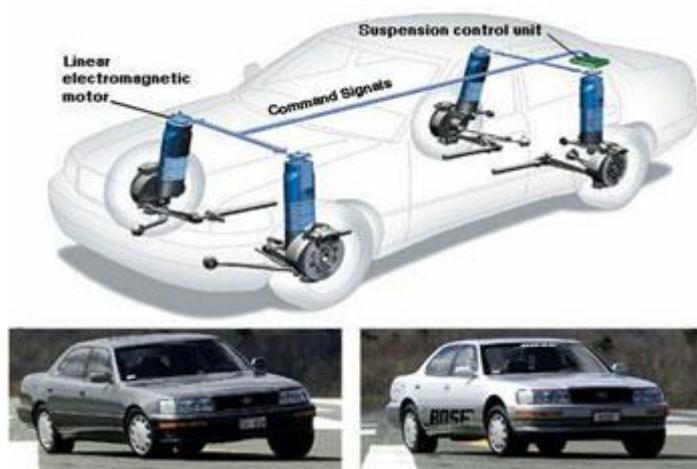


ILUSTRACIÓN16. COMPARATIVA ENTRE AMORTIGUADOR NORMAL (IZDA.) Y AMORTIGUADOR CON RESPUESTA MAGNÉTICA (DERECHA). SISTEMA DE DELPHI MAGNERIDE DE SUSPENSIÓN ACTIVA

- **Amortiguación en electrodomésticos**, adaptando la rigidez del amortiguador a las distintas fases del ciclo de lavado y carga de ropa en la lavadora.
- **Amortiguadores en construcción** civil, como pueden ser en puentes o edificios con dispositivos antisísmos, entre otros. Permiten contrarrestar el movimiento que se produce en un puente debido al viento.



ILUSTRACIÓN17. EJEMPLO DE AISLANTE DE MOVIMIENTO MAGNETOREOLÓGICO PARA CONTRARRESTAR RACHAS DE VIENTO. PUENTE DEL LAGO DONG TING EN CHINA

- **Medicina**, como sistema de control en las prótesis de rodillas.
- **Sistema de freno**, donde destaca la aplicación de frenos de bicicletas estáticas con sistema de freno de disco basado en presencia de fluidos magnetorreológicos.
- **Máquina-herramienta**, se trabaja en dispositivos de amortiguación de vibraciones y en posibles dispositivos de fijación para la realización de utillajes flexibles. En este sentido, cabe destacar la experiencia de la Universidad de Nottingham, que ha patentado un sistema de amarre para el mecanizado de álabes de turbina de avión, mediante un sistema de ‘pins’.

1.3.3 Materiales con memoria de forma

Se clasifican en aleaciones con memoria de forma, polímeros con memoria de forma y cerámicos con memoria de forma.

ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA O SHAPE MEMORY ALLOYS (SMA)

Las SMA tienen la propiedad de **volver a su forma original aplicando un cierto nivel de temperatura** después de sufrir una deformación. Este efecto es debido a un cambio de fase del material, llamado *transformación* martensítica. Otra de las características de estas aleaciones es el llamado efecto *superelástico* o *pseudoelasticidad*, que permite que estos metales, a una temperatura establecida, se deformen con la aplicación de una determinada tensión y recuperen su forma original de forma instantánea en cuanto deja de ejercerse.

Sin embargo, existe una limitación al empleo de estos materiales en aplicaciones a alta temperatura, debido a la propia naturaleza metalúrgica de los mismos. Las dos fases responsables del **Efecto Memoria de Forma** son metaestables, por lo que tienden a generar las fases de equilibrio si la temperatura es

suficientemente elevada para favorecer fenómenos difusivos. En el caso de la nueva familia de aleaciones basadas en el sistema ternario Cu-Al-Ag, la adición de plata al sistema básico Cu-Al permite que las temperaturas de transformación martensítica sean muy elevadas

Otras aleaciones metálicas inteligentes son las de **níquel-titanio (Nitinol)**, **cobre-cinc-aluminio y oro-cadmio**. En función de la gama de temperatura, que puede ajustarse a través de la composición de la aleación y de un “entrenamiento” termomecánico, se presentan distintos efectos. Las deformaciones aparecidas en la fase de bajas temperaturas pueden anularse una sola vez calentándolas hasta alcanzar la fase de altas temperaturas. Este efecto unidireccional (efecto simple) se aprovecha por ejemplo en los elementos de unión para tubos que se aplican a las conducciones de combustible de los satélites. Al calentar las uniones previamente ensanchadas éstas se fijan mediante contracción sobre los tubos del empalme, logrando una gran fuerza de sujeción.

Ejemplos de aplicaciones de las **aleaciones CuZnAl** las encontramos en válvulas de seguridad diseñadas para cerrar el flujo de gas tóxico cuando ocurre un incendio; gafas y alambres de ortodoncia, o aplicaciones medicas que presentan compatibilidad y no generan rechazo en el cuerpo humano.

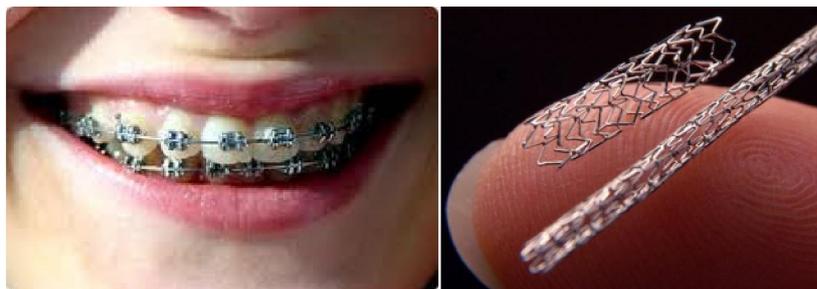


ILUSTRACIÓN 18. EJEMPLOS DE SMA EN APLICACIONES MÉDICAS

Cuando una aleación inteligente muestra un cambio de forma al calentarla o enfriarla sin que exista intervención de una fuerza externa, nos encontramos ante el denominado **“doble efecto”**. Un ejemplo de ello es un prototipo de un cierre velcro “térmico” desarrollado y patentado en el CRC, que permite uniones reversibles y multidimensionales de piezas rígidas debido a que los elementos de unión pueden separarse y volver a unirse verticalmente uno con otro sin necesidad de consumir energía. Otro ejemplo que refleja las múltiples posibilidades de aplicación de las aleaciones con memoria de forma está ya en órbita alrededor de la Tierra. A fin de proteger durante el despegue las lentes del experimento Sciamachy situado a bordo del satélite científico Envisat-1, se cubrió la óptica con una tapa. Una vez en órbita, los alambres con memoria de forma abrieron los “ojos” del Sciamachy. Este mecanismo de apertura, basado en una aleación de níquel-titanio-cobre, ha sido desarrollado y cualificado conjuntamente por Astrium y Schuster.

POLÍMEROS CON MEMORIA DE FORMA O SHAPE MEMORY POLYMERS (SMPS)

Los SMP tienen propiedades análogas a las aleaciones con memoria de forma, ya que son **capaces de recordar su forma original**, no obstante, el mecanismo por el que se produce dicho efecto difiere del mecanismo involucrado en el caso de las aleaciones metálicas. Aunque existen diferentes mecanismos de

inducción del efecto (térmicamente, químicamente y foto-inducido) dependiendo de la estructura y composición del polímero, el **efecto termo-inducido** es el más común. En este caso, al igual que para las aleaciones, el efecto se basa en procesos de calentamiento y enfriamiento del material por encima o debajo de una cierta temperatura de transición (T_{trans}). Estos materiales suelen pertenecer a familias como resinas epoxi, resinas de poliuretano, poliestirenos y acrilatos de estireno.

Sus principales **aplicaciones** son médicas (ortodoncia, agujas intravenosas y aparatos para laparoscopia, sistemas de liberación de medicamentos, implantes degradables en el cuerpo para cirugías de invasión mínima, suelas internas de zapatos para necesidades ortopédicas, catéteres intravenosos, etc. Otras aplicaciones se dan en textiles inteligentes, parachoques de vehículos, láminas anticorrosivas ajustables, etc.

CERÁMICAS CON MEMORIA DE FORMA

También existen **Cerámicas con memoria de forma** (Shape Memory ceramics, SMCs). En este caso es el ZrO_2 el material más importante, englobando la mayoría de las cerámicas tenaces con memoria de forma.

Por último, destacar las Aleaciones Ferromagnéticas con Memoria de Forma (*Ferromagnetic Shape Memory Alloys*, FSMAs).

Las **aleaciones con memoria de forma y los polímeros con memoria de forma son** objeto de numerosas investigaciones y desarrollo de numerosos dispositivos robóticos, abarcando desde las más novedosas ramas de la robótica (robótica modular, robótica blanda, micro/nano robótica, MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos), etc.) a las más clásicas (robótica industrial o robótica móvil) o el campo de la robótica asistencial y las prótesis inteligentes.

A lo largo del presente destacaremos sus aplicaciones, debido a la fuerte relación entre estos materiales inteligentes y la Industria 4.0.

2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA

La **Nanotecnología** es la ciencia que trabaja a escala nanométrica, es decir, a niveles tan pequeños como moléculas y átomos. Es el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de estructuras y materiales que tienen generalmente un tamaño de 1 y 100 nanómetros de tamaño y su interés radica en que el pequeño tamaño de las partículas conlleva propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala.

La Nanotecnología es una **ciencia multidisciplinar**, de reciente aparición, constituida por diferentes disciplinas altamente especializadas, en su mayoría procedentes, del ámbito de las Ciencias Naturales: química (molecular y computacional), bioquímica, biología molecular, física, electrónica e informática.

La Nanotecnología encuentra posibilidades de **aplicación en numerosos ámbitos industriales**, tales como: electrónica, informática, óptica, sector farmacéutico, medicina, sector del plástico, textil, calzado, alimentación, sector cosmético, etc. La Figura 1.3 muestra las áreas clave de aplicación de la Nanotecnología, distinguiéndose cinco categorías generales para el amplio conjunto de aplicaciones particulares:

- Nanobiotecnología.
- Nanomateriales.
- Nanoelectrónica.
- Sensores y actuadores.
- Instrumentación y metrología.

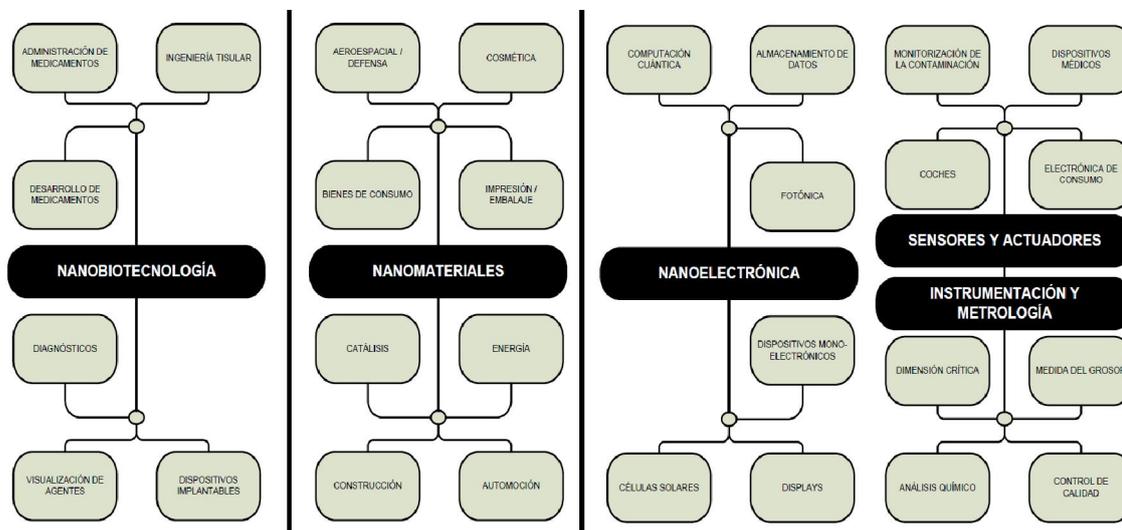


ILUSTRACIÓN19. ÁREAS DE APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

2.1 NANOMATERIALES

Los nanomateriales son la piedra fundamental de la Nanotecnología, y son materiales (metales, polímeros, semiconductores, óxidos, etc.) en los que **al menos una de sus dimensiones es pequeña**, del orden de algunos nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10$ átomos de H puestos uno al lado del otro).

Atendiendo a su naturaleza química, los nanomateriales se pueden clasificar en **cuatro grandes familias**:

- **Nanomateriales derivados del silicio:** nanoarcillas, nanoesferas de sílice, nanoesferas de silicio y nanocompuestos tipo POSS.
- **Nanomateriales derivados del carbono:** fullerenos, nanotubos y nanofibras de carbono.
- **Nanopartículas metálicas** y derivados de éstas: plata, oro, cobre, titanio, zinc, dióxido de titanio, óxido de zinc, óxido de cerio, etc.
- **Nanopartículas poliméricas:** dendrímeros.

En base a su naturaleza química y a las excepcionales propiedades que exhiben, cada una de estas nanopartículas encuentra aplicación en diferentes campos industriales.

En los nano-objetos la proporción de átomos en la superficie es extremadamente alta. Esto es muy importante dado que muchas de las propiedades interesantes y sorprendentes de los nanomateriales están ligadas a que las nanopartículas tienen una enorme superficie disponible.

Los nanomateriales tienen, entonces, una enorme **superficie específica** (cantidad de superficie que presenta una determinada cantidad de materia). En un nanomaterial, en el que la proporción de átomos en superficie es enorme, las propiedades de los átomos de superficie van a notarse mucho más que en un material común, y a veces incluso van a dominar el comportamiento del nanomaterial.

En un sólido, los enlaces de un átomo de superficie con el resto del sólido son más débiles y a veces hasta el orden espacial es distinto al de los átomos internos. Esto hace que introducir una superficie introduzca una inestabilidad. La energía de un sistema depende también de la energía de superficie, que depende de cuánta superficie hay. La energía que hay que gastar para crear una unidad de área se llama **tensión superficial o tensión interfacial**, refleja la inestabilidad de los átomos situados en la superficie con respecto a los situados en el interior.

La tensión superficial es una cantidad positiva, dado que representa cuánto se desestabiliza un sistema por haber creado una superficie.

2.1.1 Fabricación en la nanoescala

Existen dos vías diferentes para manejar el “mundo nano”:

- Para los que trabajan en el “mundo macroscópico” para llegar a la nanoescala hay que miniaturizar. Esta vía se conoce como **“de arriba hacia abajo”**.
- Para los ingenieros moleculares, hay que ser capaces de combinar los átomos de manera de poder fabricar cualquier objeto **“de abajo hacia arriba”**.

Si bien los dos puntos de vista difieren en los medios, y en las herramientas, y controlan diferentes aspectos de la fabricación de nanomateriales, se trata de metodologías complementarias.

MÉTODOS "DE ARRIBA HACIA ABAJO". LA MINIATURIZACIÓN Y FABRICACIÓN DE CHIPS

Para fabricar transmisores y otros tipos de componentes electrónicos, la industria electrónica ha desarrollado métodos extremadamente precisos y de bajo coste. En general, los transmisores se fabrican por técnicas de **litografía**, que consiste básicamente en transferir un patrón o realizar un “dibujo” sobre

un semiconductor. Realizar un dibujo implica depositar materiales o dopantes de manera controlada, en cualquier lugar de la superficie, respetando un patrón previamente diseñado. Este proceso consta de varias etapas y se puede transferir directamente el patrón (litografía positiva) o su negativo (litografía negativa).

La miniaturización tiene **tres ventajas**: en un transmisor de efecto de campo la posibilidad de guardar información en espacios más reducidos y en los circuitos electrónicos con mayor rapidez (los electrones tienen menos camino para recorrer). Además se requiere menor potencia, lo que se aprovecha en el diseño de chips más eficientes en cuanto al aprovechamiento de la energía. La desventaja es que con la miniaturización aumentan las pérdidas eléctricas y se disipa más calor.

MÉTODOS "DE ABAJO HACIA ARRIBA". CONSTRUYENDO CON ÁTOMOS Y MOLÉCULAS

Químicos, físicos, biólogos moleculares y otros científicos que están acostumbrados a las distancias y las fuerzas del mundo microscópico, construyen **nanosistemas** a partir de unidades de construcción nanométricas o "**nanoladrillos**". En los últimos años se ha desarrollado una impresionante cantidad de métodos de fabricación de una gran variedad de estas unidades nanométricas, desde nanopartículas de todas clases hasta polímeros o biomoléculas programadas.

La producción de nanomateriales por procesos "de abajo hacia arriba" está muy relacionada con las **rutas de síntesis** molecular que los químicos vienen haciendo desde hace siglos. La construcción de un nano-objeto puede describirse como el paso de la molécula al material. En cualquier tipo de nanomaterial que se fabrique por una ruta "de abajo hacia arriba" partirá de un precursor molecular, que tiene que ser manipulado de una forma habilidosa para que se una químicamente a otros similares, generando especies nanoestructuradas.

Los **métodos químicos** son interesantes porque son sencillos, no se necesitan costosas máquinas especiales para producir nanomateriales por vía química, y porque al utilizar condiciones suaves se pueden combinar materiales inorgánicos y orgánicos en un mismo nanomaterial.

Los científicos dedicados a preparar nano-objetos de esta forma pueden producir prácticamente cualquier objeto nanométrico: nanopartículas de formas y tamaños controlados, polímeros, películas nanoestructuradas, incluso algunos sistemas realmente complejos.

2.2 NANOPARTÍCULAS Y NANO-OBJETOS: QUÉ SON Y CÓMO SE HACEN

Las nanopartículas, los nanotubos, los nanoalambres y los nanofilms son los "**bloques de construcción**" de la nanotecnología. En los catalizadores que se encuentran en los tubos de escape de los coches se usan nanopartículas metálicas para optimizar la destrucción de gases contaminantes. Estos gases contaminantes se depositan sobre la superficie de las nanopartículas y allí son convertidos eficientemente a productos inofensivos. Se utilizan dos tipos de nanopartículas: de metales nobles como el platino o aleaciones platino-rodio, que tienen que tener un tamaño óptimo. Estos nano-objetos están soportados sobre una esponja formada por un conjunto de nanopartículas de óxido de aluminio y cerio, que tienen que tener una gran superficie específica y ser resistentes a las altas temperaturas de los gases de escape.

Cuando queremos formar cualquier objeto nanoscópico con una aplicación determinada, debemos controlar:

- Su estructura a nivel atómico-molecular.
- Su tamaño.
- Su forma.
- El tamaño de su superficie específica y cómo es.

FABRICACIÓN DE UNA NANOPARTÍCULA

Muchas veces se obtienen nanopartículas por **molienda** muy energética de partículas de grano mayor, lo que es muy común en el caso de los cerámicos. Otras veces, se generan nano-objetos por medio de métodos de grabado o litografía. Los métodos de molienda permiten obtener diversos materiales, son interesantes cuando hay un método precursor muy barato, pero no tienen el control fino que ofrecen los métodos de “abajo-arriba”.

¿CÓMO ES UNA NANOPARTÍCULA?

Una nanopartícula de una sustancia cualquiera, además de tener un tamaño pequeño, está formada por **pocos átomos** y una importante fracción de ellos está en su superficie, por lo que ésta tiene un rol energético importante. Crear superficie implica crear **tensión superficial**, lo que hace a la nanopartícula inestable energéticamente, un poco más inestable que un pedazo del mismo material. Conclusión: las nanopartículas son inestables con respecto a los materiales “voluminosos”, por lo que las nanopartículas se convertirían alguna vez en partículas grandes, dado que eso lleva a tener menos energía. Pero no es tan fácil que una nanopartícula crezca ya que tiene que incorporar material desde alguna parte. Algunas nanopartículas tienen “cáscaras”, que hacen que sean más estables, en otros casos, para hacerlas crecer hace falta aportar continuamente material, lo que no siempre es posible. Otras deben disolverse para dar lugar a nanopartículas más grandes y no siempre son solubles.

¿CÓMO SE FORMA UNA NANOPARTÍCULA?

Para formar un objeto nanométrico, hay que juntar material, poner átomos o iones uno al lado del otro, construir de una manera muy precisa una estructura, más o menos grande, de unos cientos a unos miles de átomos. Esencialmente la formación de una partícula se divide en **tres etapas: nucleación, crecimiento y maduración**. Estas etapas determinarán su composición, forma y tamaño. Tenemos que tener en cuenta que la formación de una partícula implica que esa partícula no sea soluble en el disolvente en que se encuentra o el gas con el que está en contacto.

2.2.1 Ejemplos de fabricación de nanopartículas

El **dióxido de silicio** es uno de los productos nano con más usos reportados (después de la nanoplata, el carbón nanoscópico y parejo con el dióxido de titanio), normalmente en cosmética y pinturas. Es un material fácil de hacer, barato, no tóxico y biocompatible. La sílice nanoestructurada en general es amorfa, es un nano-vidrio.

El método más utilizado para preparar pequeñas cantidades de partículas esféricas coloidales de sílice usa una molécula con un átomo de silicio, rodeado por cuatro alcóxidos. Esta molécula reacciona al contacto con pequeñas cantidades de agua, generando especies de ácido silícico, y liberando alcohol en la solución.

Este proceso puede ser catalizado por ácidos o bases. Esta reacción de condensación se sostiene en el tiempo y los centros de silicio se van conectando hasta obtener el óxido, **SiO₂**. La reacción es suficientemente rápida como para que se separen las etapas de nucleación y crecimiento y entonces la sílice crezca de manera controlada. Se forman esferas de nano-sílice, cuya estructura atómica es amorfa, a la manera de un vidrio.

Controlando los procesos de nucleación y crecimiento mediante el control de variables de solución es posible obtener partículas de diámetro controlable entre algunas decenas de nm y algunos micrómetros, de tamaño bien definido y, generalmente, **monodispersas** (prácticamente del mismo tamaño). Estas especies tienen una alta superficie específica, en la que viven **grupos Si-OH (silanol)** que son grupos polares, parecidos al agua. Estas superficies se hidratan con facilidad, y sobre ellas pueden ocurrir diversos procesos, como la **liberación de protones de los grupos superficiales** (las “ indican que están unidos a átomos internos), de forma que la superficie queda cargada positivamente: $\text{Si-OH} = \text{Si-O}(-) + \text{H}(+)$

Por otra parte, la superficie de la sílice puede modificarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, lo que cambia las propiedades de la superficie y, por lo tanto, el comportamiento de las nanopartículas en solución. Por ejemplo se pueden unir a la superficie del SiO₂ **moléculas de trimetilclorosilano** ((CH₃)₃SiCl) con la reacción: $\text{SiOH} + (\text{CH}_3)_3\text{SiCl} = \text{Si-O-Si}(\text{CH}_3)_3 + \text{HCl}$

En este **proceso llamado “silanizado”** se añaden a la superficie de la sílice grupos hidrófobos, por lo que el agua ya no moja tan bien la superficie. El proceso se usa industrialmente para mejorar la compatibilidad de una superficie con un adhesivo.

También podemos **agregar polímeros**, creando nanopartículas recubiertas de una superficie de espesor considerable de una especie orgánica. Esto cambia muchísimo los comportamientos de agregación entre partículas. Por ejemplo, cubrir nanopartículas de sílice con polietilenglicol hace que las nanopartículas no se aglomeren, dado que se forma una capa espesa que impide que las nanopartículas se acerquen suficientemente como para atraerse. Al mismo tiempo, el aspecto de la superficie es tal que los anticuerpos no las reconocen como un elemento extraño, por lo que no son detectadas por el sistema inmunitario, haciendo posible su tránsito a través del organismo. Los **métodos de precipitación controlada** se han adaptado para producir prácticamente cualquier óxido de cualquier tamaño de partícula y con superficie controlada.

El método más extendido para preparar sílice nanoestructurada industrialmente es la **generación de aerosoles o de síntesis en llama**. En este tipo de métodos se pulveriza una solución de silicatos, formando un aerosol y después se pasa por una llama, obteniendo toneladas de un producto homogéneo. Si bien el control del tamaño no es tan fino y el producto está formado por agregados de partículas nanométricas, es suficiente para la mayoría de las aplicaciones de la nanosílice, en las que se requiere elevada área superficial y dispersabilidad.

2.2.2 El oro y sus colores

Las **nanopartículas metálicas** son muy interesantes porque, además de ser las primeras descubiertas, presentan una variedad de comportamientos y de aplicaciones que van desde sensores capaces de detectar una única molécula hasta catalizadores para disminuir la contaminación ambiental de los coches, pasando por el almacenamiento de información. **Se pueden producir de manera controlada y reproducible** nano-especies de oro y otros metales preciosos (plata, platino, paladio, rodio) o no tanto (cobre, níquel, hierro, cobalto) de una enorme variedad de tamaños: desde cúmulos de pocos átomos, hasta nanopartículas de tamaños muy diversos, con diferentes formas: esferas, cubos, triángulos, pirámides, barras, etc.

Las nanopartículas metálicas son inmejorables como catalizadores heterogéneos debido a su enorme superficie específica expuesta y sus capacidades para pegotear e intercambiar especies químicas. El estudio de los **nanocatalizadores metálicos** es una de las ramas más transitadas en nanotecnología, espoleada por la industria del petróleo, la producción de nuevos medicamentos, el tratamiento de contaminantes atmosféricos y la búsqueda de otras fuentes de energía renovables, como las celdas de combustible. El poder del catalizador de una nanopartícula metálica está relacionado con qué forma y tamaño tiene, qué caras del cristal están expuestas y cómo de disponibles están los electrones como para que el catalizador los “preste” o tome prestados de las moléculas que van a reaccionar.

Las nanopartículas de oro tienen **propiedades ópticas únicas**, derivadas de su tamaño nanométrico y de su forma. El oro rojo de las catedrales corresponde a nanopartículas de unos 5-10nm atrapadas en el vidrio. Partículas de más de 40nm pasan a tener color violeta y comienzan a dispersar la luz. Partículas de menos de 1nm son amarillo-anaranjadas y ni siquiera son metálicas.



ILUSTRACIÓN 20. NANOPARTÍCULAS DE ORO

Cuando la luz (un campo eléctrico oscilante) incide sobre un metal, interactúa con los electrones, que tratan de seguir al campo, por lo que la nube electrónica del metal se deforma y la onda electromagnética hace “bailar” a los electrones a su ritmo. Los electrones quieren seguir el ritmo del campo eléctrico de la luz, pero sienten la atracción de los núcleos del metal. Esto hace oscilar las nubes electrónicas a una frecuencia determinada, lo que es responsable de que se absorba una energía determinada. Este efecto se llama **“efecto plasmón”** y es esencialmente un efecto superficial. En una pieza metálica normal, los electrones de las capas internas terminan reflejando la luz. En nanopartículas muy pequeñas, una gran cantidad de átomos está muy cerca de la superficie. Cuando una muestra de nanopartículas de 5 a 10nm se ilumina con luz blanca, la parte de altas energías del espectro (azul-violeta) se absorbe; el resto (rojo) atraviesa la muestra y, por lo tanto estos coloides de oro se ven rojos.

En nanopartículas más grandes (>40 nm), comienzan a influir otros efectos, como la **dispersión de luz**, lo que hace cambiar el color hacia un tono violeta. También la forma de las nanopartículas influye: en una partícula en forma de barra habrán oscilaciones que van a lo largo del eje (se absorben longitudes de onda más largas) y transversales (longitudes de onda corta), por lo que se ven otros colores, fruto de la absorción de luz en diferentes partes del espectro. Las nanopartículas rojas pueden agregarse formando objetos alargados de color violáceo. En la plata pueden obtenerse gamas de colores que van desde el amarillo para partículas aisladas hasta gamas de verde, azul o grisáceo.

Si irradiamos una nanopartícula con luz del color adecuado, esa energía se absorberá y traducirá en una oscilación de sus electrones, creando un fuerte campo eléctrico localizado que permite amplificar señales muy débiles. Este efecto se llama **“resonancia de plasmón de superficie”** y puede usarse en la detección ultrasensible de moléculas biológicas. Cuando se irradian las nanopartículas de oro con luz IR, se liberan considerables cantidades de calor y la temperatura de las zonas cercanas a la nanopartícula se eleva considerablemente. Este efecto (“hipertermia”) es de posible aplicación en medicina, dado que permite calentar localmente un tejido con mucha precisión y eliminar o inactivar las células cercanas.

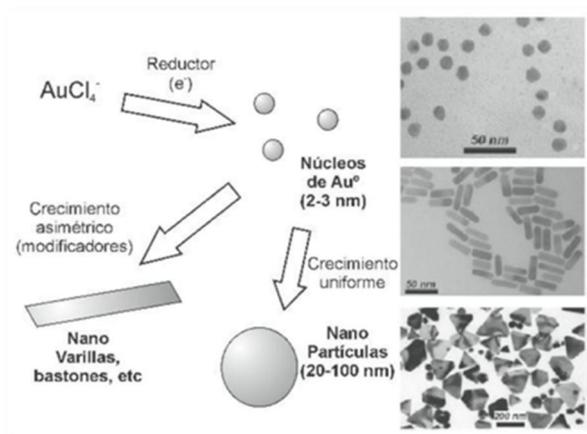


ILUSTRACIÓN 21. PROCESO DE FORMACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ORO

Para producir nanopartículas metálicas partimos de una solución con una **sal de iones metálicos (AuCl₄⁻)** y se le agrega un compuesto reductor (ácido cítrico, agua oxigenada, alcoholes, azúcares, hidruros, etc.). El método más usado usa ácido cítrico para ceder electrones a los iones oro presentes en la solución y producir nanopartículas uniformes de alrededor de 20nm de diámetro y de color rojo intenso.

Los **métodos más usados** para generar nanopartículas de formas variadas consisten en hacer primero núcleos muy pequeños y en una segunda etapa hacerlos crecer lentamente en presencia de ciertas moléculas que se pegotean a una cara determinada de la nanopartícula e impiden su crecimiento en esa dirección. Puesta a crecer, la nanopartícula se extiende en las direcciones que no están bloqueadas y se obtienen entonces nuevas formas controladas.

3. APLICACIONES POR SECTOR

3.1.1 Sector transporte

Nuevos conceptos de barcos, ahorro energético, mínimo mantenimiento y mayor ciclo de vida.

MATERIALES FOTOACTIVOS-ELECTROLUMINISCENTES

Aplicaciones: Electroluminiscentes orgánicos OLED

Los materiales OLED aplicados al sector del transporte ofrecen un importante potencial que se refleja en el significativo efecto que pueden tener en la creación de empleo y la facilidad de comercialización por el tejido empresarial existente. Además, esta tecnología puede ser importante desde el punto de vista de la estética del producto y desde el punto de vista de la mejora de la seguridad.

Resulta relevante el hecho de que pueden contribuir a un ahorro de energía en el proceso de fabricación de piezas, si bien este ahorro difícilmente redundará en los usuarios finales de los sistemas de transporte al tener actualmente un coste mayor que los materiales tradicionales. A pesar del gran potencial que muestran estos materiales, tendrán que hacer frente al obstáculo que supone la dificultad de reciclarlos, ya que al ser materiales multi-capa presentan problemas para poder separar y recuperar los residuos.

MATERIALES CROMOACTIVOS-ELECTROCRÓMICOS

Aplicaciones: Materiales electrocrómicos orgánicos para retrovisores y otras superficies vidriosas. La aplicación de estos materiales puede suponer un ahorro en los sistemas de transporte ya que pueden conllevar un importante ahorro de energía al facilitar el oscurecimiento del vehículo y, por lo tanto, ayudar a refrigerarlo.

MATERIALES PIEZOCERÁMICOS

Permiten **disminuir las vibraciones sonoras** en el interior de un vehículo. Gracias a estos materiales, las vibraciones acústicas se amortiguan y neutralizan. En la actualidad se está probando este sistema en un coche turismo de lujo, incorporando elementos piezocerámicos entre el chasis y una estructura metálica específica. Normalmente se utilizan componentes de goma para este propósito, pero la absorción de las vibraciones acústicas no es la ideal.

En consecuencia, las vibraciones son audibles en el interior del coche en forma de ruido. Los elementos piezocerámicos, por el contrario, son dispositivos electromecánicos transductores de energía, que se controlan electrónicamente para contrarrestar y neutralizar estas vibraciones molestas. El resultado es un viaje más tranquilo y seguro.

En otro proyecto de la **Fraunhofer Adaptronics Alliance**, los investigadores están desarrollando estas innovaciones en un sentido diferente. En este caso, los componentes piezocerámicos convierten las oscilaciones y vibraciones acústicas en una estructura (específicamente en puentes de alto tráfico) en energía eléctrica.

Esta energía puede ser utilizada para alimentar pequeños sensores, capaces de monitorear el estado del puente y de notificar a un centro de control sobre cualquier tipo de daños en la estructura. Sin embargo, la investigación no solamente se centra en los dispositivos piezocerámicos como materiales inteligentes.

Un material alternativo de interés para los investigadores de Fraunhofer-Gesellschaft son los denominados **fluidos magnetoreológicos**. Estos fluidos contienen partículas diminutas que se unen, conformando cadenas fijas en un campo magnético. Dependiendo de la intensidad del campo, pueden lograr que el líquido se solidifique, se vuelva viscoso o acuoso. Ingenieros alemanes han utilizado estos fluidos magnetoreológicos para desarrollar un embrague de seguridad para maquinarias, que puede emplearse en vehículos o fresadoras. Durante la operación, el líquido se solidifica. En ese estado, se crea un vínculo sólido entre el eje impulsor y la cabeza de corte. Al activar un botón de apagado de emergencia, el campo magnético se desconecta.

En ese momento, la sustancia vuelve a su estado líquido y se elimina el vínculo entre el eje impulsor y la cabeza de corte, permitiendo que el eje gire libremente y la cabeza de corte se detenga. Asimismo, se avanza en otras soluciones interesantes, que abarcan desde la ingeniería mecánica hasta el mercado de bienes de consumo.

RECUBRIMIENTOS TRANSPARENTES ANTI-CONDENSACIÓN

Recubrimientos transparentes anti-condensación de vapor de agua basados en **nanotubos de carbono**, con aplicación parabrisas de los automóviles, donde la reducción de visibilidad supone un serio problema de seguridad vial. Entre las ventajas de este sistema figura el hecho de que el calentamiento del vidrio es más uniforme que en el caso de emplear resistencias lineales. Además, a diferencia del calentamiento basado en resistencias, el carácter conductor de la lamina no se ve afectado en caso de daños puntuales al recubrimiento. El consumo del sistema es bajo, por lo que puede funcionar con los voltajes habituales de las baterías de automóvil y el calentamiento se produce en un breve plazo de tiempo.

NANOCOMPUESTOS

El mayor avance en los últimos años en la química de los polímeros no ha sido el descubrimiento de nuevos monómeros sino la incorporación de aditivos de tamaño manométrico. Incorporando nanoaditivos es posible, por ejemplo, incrementar simultáneamente la tenacidad y resistencia a rotura del plástico y mejorar su resistencia al fuego. El mercado potencial de los **nanocomposites** es muy amplio ya que abarca todas aquellas aplicaciones en las que se utilizan plásticos y uniones adhesivas: envase y embalaje, automoción, espacial, bienes de equipo, etc.

3.1.2 Sector Naval

Proyectos como **ADAM4EVE** (Adaptive and smart materials and structures for more efficient vessels) se plantearon con el objetivo de modernizar el sector de la construcción naval para lograr una mayor eficiencia, seguridad y comodidad de los pasajeros. En el proyecto se desarrollaron **paneles ligeros de materiales compuestos** para las cubiertas de carga de los buques refrigerados que contribuyen a reducir el peso y el consumo energético de la refrigeración de las mercancías.

3.1.3 Industria aeroespacial

Entre las aplicaciones de la nanotecnología destacan:

PLÁSTICOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

La conductividad eléctrica de un plástico se puede incrementar notablemente con la incorporación de nanomateriales (nanopartículas, nanofibras de carbono y nanotubos de carbono, principalmente) con propiedades conductoras. Existen avances significativos en la incorporación de **nanotubos de carbono en matrices plásticas**.

La adición de nanofibras de carbono a un material polimérico permite mejorar la estabilidad dimensional, la resistencia a la abrasión, la conductividad térmica y eléctrica y las propiedades tribológicas. La formulación del material permite controlar el grado de conductividad del mismo. Esta tecnología logra transformar prácticamente cualquier plástico en un material multifuncional capaz de transportar o disipar una cantidad significativa de carga eléctrica.

RECUBRIMIENTOS PARA COMPONENTES SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS DE OPERACIÓN

Los **recubrimientos superficiales** son utilizados para favorecer el comportamiento de componentes sometidos a la abrasión y al desgaste, como las herramientas para trabajado mecánico (corte, perforación, fresado, embutido, estampado y otras), y también para su uso como barrera térmica en componentes fuertemente solicitados como los alabes de las turbinas a gas. Las principales barreras técnicas en este tipo de componentes, y principales motivos de fallo, son la alta temperatura a la que están sometidos y el desgaste. El reto principal en la actualidad consiste en desarrollar nuevos recubrimientos que permitan ampliar la vida media de los componentes y disminuir el efecto medioambiental.

La utilización de **materiales cerámicos nanoestructurados** puede paliar este problema consiguiendo mediante un único recubrimiento aunar una baja porosidad (alrededor del 1%), y por tanto altas prestaciones mecánicas, con una elevada resistencia térmica.

MATERIALES CERÁMICOS CRISTALINOS TRANSPARENTES

Existe actualmente una gran demanda de materiales avanzados que además de presentar unas excelentes propiedades mecánicas, como pueda ser una **alta resistencia al impacto**, posean una propiedad funcional como por ejemplo la **transparencia en un determinado espectro de onda**.

Existen, sin embargo, pocos materiales que puedan combinar ambos aspectos. Así por ejemplo, el vidrio pese a ser un material transparente, está caracterizado por una fragilidad y una baja resistencia mecánica que le hace inservible de cara a su utilización en el sector aeroespacial o en lámparas de iluminación de alta potencia. Estos inconvenientes pueden ser solventados mediante la utilización de materiales con tamaño de grano y de poros homogéneos y muy inferiores a la longitud de onda de la radiación respectiva que minimicen la dispersión de luz. Esto implica la necesidad de desarrollar materiales cerámicos con una microestructura caracterizada por una distribución de poros inferior a 10nm y una alta densidad. Proyectos de investigación como IPNanoker han logrado obtener **materiales nanoestructurados** de alúmina transparentes en los rango infrarrojo y visible, con una dureza extrema superior a 20GPa que

pueden ser utilizados entre otras aplicaciones en pantallas de dispositivos electrónicos, relojes, blindajes y ventanas de radiación para la guía de satélites.

3.1.4 Sector alimentación

La Nanotecnología en la Industria alimentaria está teniendo un gran avance en los últimos años. Sus principales aplicaciones destacan en áreas como

- El **envasado** (envases activos y envases inteligentes)
- El desarrollo de **nuevos productos** (nanoalimentos funcionales, microcápsulas)
- La **calidad y la seguridad** alimentaria (biosensores)
- La **mejora de los procesos** de los alimentos (gelatinización, espumas y emulsiones)

La incorporación de nanopartículas a envases está llevando a la industria a poder ofrecer envases con características mejoradas. La nanotecnología ofrece múltiples oportunidades de mejora a diferentes sectores agroalimentarios, sobre todo a los que emplean materiales plásticos en sus envases alimentarios.

ENVASE ACTIVO

El envase activo tiene la capacidad de mantener las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos. En general, todos los alimentos permiten el envase activo, aunque los perecederos se benefician más por su mayor riesgo. Estos envases persiguen:

- **Retener sustancias indeseables** del producto o su entorno (O₂, CO₂, H₂O, etc.).
- **Liberar sustancias beneficiosas** al producto (antioxidantes, antimicrobianas, etc.).

ENVASE INTELIGENTE

El envase inteligente tiene la capacidad de controlar el estado de los alimentos envasados y su entorno. Las investigaciones en este sector han progresado de manera sustancial en los últimos años para dar respuesta a una necesidad emergente de resolver cuestiones de seguridad y calidad alimentarias. Los materiales inteligentes en contacto con alimentos **supervisan su estado o su entorno** y proporcionan **información sobre la frescura**. Debe tenerse en cuenta que el término envase inteligente es muy amplio y puede definir aspectos como la información que recibe el consumidor sobre algún aspecto de la calidad, la naturaleza o la producción de los alimentos.

Estos envases inteligentes ofrecen información sobre si su contenido está suficientemente caliente o frío o si son aptos para el consumo. También informan sobre las condiciones a las que se ha sometido el alimento durante su distribución y almacenamiento. Además, pueden actuar como indicadores de temperatura. Suelen incorporar dispositivos sensibles a los cambios de temperatura con señales visuales que dejan conocer determinados parámetros, como si se ha roto la cadena de frío o si el producto se ha expuesto a alteraciones químicas o microbiológicas.

A diferencia del envase activo, un envase inteligente es aquel que **monitoriza las condiciones del producto** envasado y es capaz de registrar y aportar información sobre su calidad, evidenciando posibles mecanismos y/o prácticas “anormales” que hayan podido deteriorar el alimento y/o su envase durante las distintas fases de la cadena de distribución.

Según el alimento o la finalidad del envase, destacan los envases que:

- Absorben la humedad del interior para evitar que crezca la flora natural de los alimentos y, en consecuencia, frenar su deterioro.
- Absorben el oxígeno para evitar el deterioro del alimento.
- Emiten CO₂ con el fin de obstaculizar el crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos.
- Disponen de sustancias antimicrobianas en el propio envase.
- Cuentan con un elemento externo al material de envasado, como láminas o bolsas en su interior, en la mayoría de los casos, para no mezclar diferentes alimentos del mismo producto.
- Envases en estudio que integran un elemento activo en el propio material, en su mayoría algún extracto de plantas naturales, para alargar la vida útil del alimento de manera natural.

En la actualidad existen desarrollos que emplean la nanotecnología. Un proyecto llevado a cabo por el **Instituto Tecnológico del Plástico (AIMPLAS)** y el Centro Tecnológico **AINIA** ha servido para diseñar un envase que mejora en un 400% la barrera del oxígeno, con propiedades térmicas y antioxidantes, nanochip informativo para el consumidor y sensores que detectan patógenos.

DESARROLLO DE NUEVOS ALIMENTOS

La nanotecnología también se utiliza para el desarrollo de nuevos alimentos más seguros, saludables, nutritivos y de más sabor. Su principal uso en la alimentación es la adición de compuestos saludables en los alimentos.

- Los **nanoalimentos funcionales** son alimentos reconstituidos a nivel molecular. Esta reconstrucción tiene por objeto obtener nanoingredientes para mejorar las propiedades de los alimentos y convertirlos en funcionales para tratar diferentes enfermedades. Por ejemplo, a partir de la utilización de la nanotecnología, es posible reducir el regular contenido graso de los productos que oscila entre un 25 a 35%, a concentraciones menores a 1%. Además también permite incorporar a diversos alimentos nanopartículas de diversos minerales antioxidantes como zinc o selenio o nanocápsulas de omega 3, Coenzima Q10, carotenoides, licopenos, que ayudan a reducir la prevalencia de enfermedades.
- La **microencapsulación de compuestos activos funcionales en** complementos alimenticios Es el proceso de recubrimiento de un compuesto de interés o sustancia activa, mediante uno o varios materiales, obteniendo sistemas particulados que pueden liberar gradualmente su contenido, con el fin de incrementar la vida útil de los productos, proteger los principios activos, mejorar las características sensoriales de los alimentos (color, sabor, textura, olor), o enriquecer los alimentos. A día de hoy, en el ámbito alimentario la encapsulación se aplica para estabilizar y/o proteger numerosos ingredientes o sustancias activas (colorantes, aromas, antioxidantes, antimicrobianos o nutrientes) frente a la oxidación, fotosensibilidad, volatilidad o la reacción con otros compuestos presentes en el alimento.

LA NANOTECNOLOGÍA Y EL PROCESADO DE ALIMENTOS

Las propiedades funcionales de muchas materias primas y el eficaz procesado de los alimentos se deben a nanoestructuras como la celulosa o el almidón, que determinan procesos como la gelatinización y afectan al valor nutricional de los alimentos. También las nanoestructuras que surgen en las interfases de aceite-agua o aire-agua determinan la estabilidad de las espumas y emulsiones alimentarias. Un mayor conocimiento de la naturaleza de las nanoestructuras presentes en los alimentos permitirá mejorar el procesado de los mismos.

3.1.5 Sector textil

La Nanotecnología encuentra **aplicación en numerosos ámbitos industriales**, entre ellos, el Sector Textil. Se han identificado cinco grandes campos de aplicación de los desarrollos nanotecnológicos:

- Obtención de nanofibras (electrohilatura y la hilatura por fusión de fibras bicompuestas tipo islands-in-sea).
- Funcionalización de fibras sintéticas mediante la aditivación de nanopartículas (metales, nanotubos de carbono, nanoarcillas, etc.).
- Hilatura y torcido de fibras basadas en nanotubos de carbono.
- Funcionalización de tejidos mediante procesos de acabados en los que se empleen complejos nanoestructurados.
- Nano-aditivación de recubrimientos polímeros de textiles (poliuretano, policloruro de vinilo, etc.).

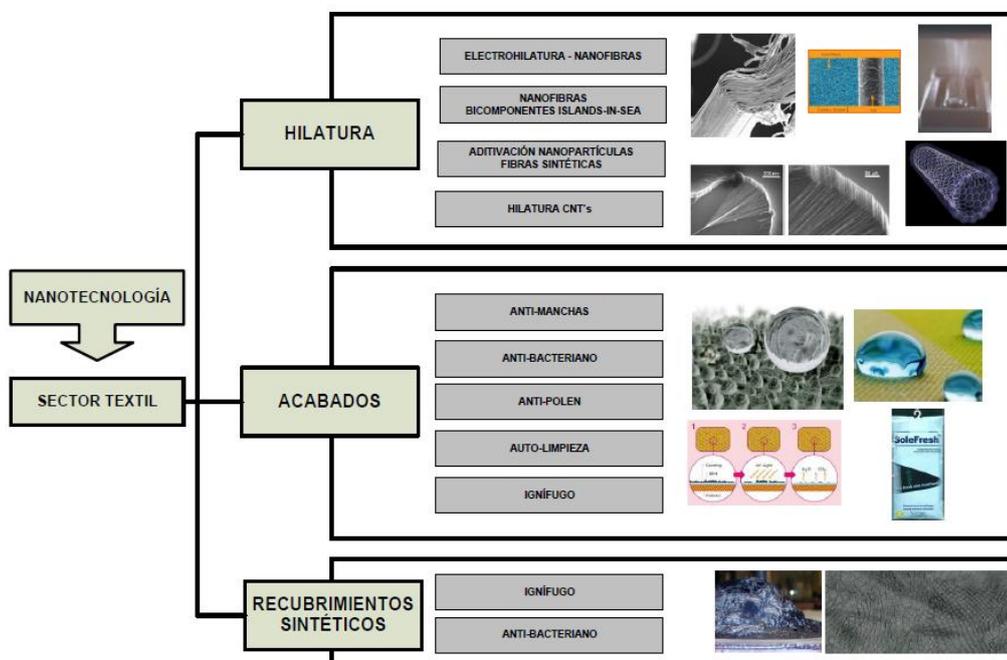


ILUSTRACIÓN22. NANOTECNOLOGÍA APLICADA AL SECTOR TEXTIL

Destacan, por ejemplo, los tejidos con superficie nanoestructurada repelentes a la suciedad y al agua, o productos textiles antimicrobianos.

Los **tejidos con superficie nanoestructurada artificialmente** ofrecen grandes prestaciones a la hora de mantenerse limpios y secos, en relación con los tejidos convencionales. Debido a su estructura estos tejidos repelen tanto a la suciedad como al agua, de manera que una vez expuestos a ellas son fácilmente limpiables sin sufrir apenas degradación. Recientemente se ha conseguido mimetizar la superficie del loto (cuyas hojas permanecen en la naturaleza limpias, brillantes y secas gracias a su superficie nanoestructurada), utilizando microesferas de poliestireno recubiertas de nanotubos. Ninguno de los componentes por separado da propiedades superhidrofóbicas. Es solo cuando ambos componentes se combinan de una determinada manera cuando la superficie resulta adquirir esa especial propiedad. Las posibles combinaciones de estos dos componentes permiten además variar las propiedades hidrófobas de esta superficie.

Debido a la importancia que tiene la **conservación de la limpieza** en cualquier tipo de tejido, existen ya hoy en el mercado una gran variedad de productos que emplean estos tejidos nanoestructurados, desde prendas de vestir a todo tipo de complementos: pantalones, chaquetas, delantales, manteles, o paraguas de secado instantáneo son algunos ejemplos.

Mediante la introducción de nanopartículas de plata en fibras ya sea sintéticas o naturales se consigue una **potenciación de la actividad iónica** gracias a la mayor cantidad de iones de plata que son liberados como consecuencia de la mayor área superficial expuesta. Como consecuencia se alcanza una mayor eficiencia que mediante el uso de partículas de plata convencionales, ya que permite aumentar extraordinariamente el número de iones de plata liberados reduciendo a su vez el peso de plata necesario en las fibras. El resultado es la obtención de rápidos efectos antimicrobianos o anti-olor que pueden ser utilizados en prendas de hospitales que requieran de una alta esterilización o para la prevención de olor procedente de la sudoración en ropa deportiva.

Un ejemplo de aplicación de nanopartículas de plata en ropa deportiva son los **calcetines producidos por la empresa AgActive**. Estos calcetines se caracterizan por contener billones de nanopartículas de plata con un tamaño medio de 25nm que permiten mantener un mayor frescor en los pies durante mayor tiempo.

También basándose en este principio, la empresa *Nanohorizons* ha lanzado recientemente al mercado **productos de lana con nanopartículas de plata** que al requiere de menores cuidados que los tejidos de lana tradicionales no solo aumentan la vida útil de dichos calcetines sino que al demandar una menor frecuencia de lavado proporcionan el consiguiente ahorro energético.

3.1.6 Energía

Las aplicaciones de la Nanotecnología en el sector energético, tienen relación con la mejora de los sistemas de **producción y almacenamiento de energía**, en especial aquellas energías limpias y renovables como la energía solar, o basadas en el Hidrógeno, además de tecnologías que ayuden a reducir el consumo energético a través del desarrollo de **nuevos aislantes térmicos** más eficientes basados en nanomateriales, que consiguen un aumento de la eficiencia de los paneles solares y placas solares gracias a la optimización del proceso de captura y almacenamiento de energía solar.



ILUSTRACIÓN 23. PANELES SOLARES MÁS EFICIENTES

La incidencia del sol durante largos periodos sobre los **paneles solares**, provoca que estos y sus baterías tengan un desgaste acelerado difícil de prevenir, ya que requieren del mayor tiempo de exposición directa posible para su correcto funcionamiento. Según los científicos del MIT, utilizando sensores fabricados mediante este tipo de materiales se podría conseguir que estos paneles se ajusten de manera automática consiguiendo un balance de exposición al sol óptimo para cada equipo, allá donde se encuentre.

Otras **aplicaciones** importantes son:

- Baterías de ión-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio
- Pilas de combustible
- Células solares flexibles
- Recubrimiento anti reflejante ideal

Las **baterías de ion-litio con ánodo nanoestructurado** basado en nanopartículas de titanato de litio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) ofrecen unas mejores prestaciones en su funcionamiento respecto a las baterías de ion-litio con ánodo de grafito, ya que permiten trabajar en condiciones de alta potencia, son de más larga duración y sus tiempos de recarga son sustancialmente más cortos y, además, son más seguras y cuentan con una gran estabilidad térmica.

A este respecto, las baterías de ion-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio presentan importantes ventajas ya que:

- El **tamaño** de estas nanopartículas es unas 100 veces menor que las de grafito, por lo que la distancia que los iones de litio tienen que recorrer para ser extraídas en el proceso de descarga son mucho menores, por tanto, pueden proporcionar una mayor potencia.
- Las **propiedades electroquímicas** de las nanopartículas de titanato de litio son tales que permiten la introducción de iones litio en su interior a alta velocidad, lo que disminuye considerablemente el tiempo de recarga de la batería.
- Los **ánodos** basados en estas nanopartículas no presentan efectos de tensión ante la extracción-introducción de los iones litio en ellas, ya que los iones tienen el mismo tamaño que los huecos

que ocupan en las nanopartículas, por lo que los efectos de fatiga del material se reducen drásticamente alargando la vida de la batería.

- El **titanato de litio** no reacciona químicamente con el electrolito de la batería cuando la temperatura se eleva, con lo que mejora la seguridad a la hora de ser aplicadas.

Este tipo de batería no son solo de aplicación en los sectores más convencionales actualmente de la telefonía móvil y los ordenadores portátiles, sino también en otros sectores como la **industria del automóvil** (incluyendo la posibilidad de vehículos eléctricos) o el mercado de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).

A diferencia de los motores, **las células de combustible** transforman directamente los combustibles en electricidad sin necesidad de combustión, evitando de esta forma el paso intermedio de transformación de la energía cinética en electricidad y consiguiendo con ello un mayor rendimiento. La variedad de combustibles utilizados va desde gases como hidrógeno o gas natural, a líquidos como el metanol o etanol.

El principal reto de las pilas de combustible es la **reducción del platino** del catalizador o su sustitución por otros metales. El platino es usado tanto en el ánodo, para la disociación del hidrógeno, como en el cátodo, para la reacción de reducción. Sin embargo, dada la relativa lentitud de las reacciones que se producen a nivel del cátodo, este es muy dependiente de la carga de Pt en la capa que actúa de catalizador y resulta determinante a la hora de limitar la eficiencia de la pila. El uso de nanometales permite **augmentar la rapidez de las reacciones**, debido al área específica que caracteriza a los nanomateriales.

La actual tendencia en la tecnología de células solares busca bajos costes de fabricación y variedad en su localización y utilización. Por ejemplo, se buscan células solares sensibles a ciertos rangos de frecuencias. Captar el mayor ancho de banda de la emisión de la radiación solar permite aumentar su eficiencia. Si la célula fotovoltaica es sensible al infrarrojo, la conversión de radiación en electricidad no sólo se produciría en presencia del sol sino que también podría provenir de cualquier cuerpo caliente, ya fuese, por ejemplo, un motor de coche o el mismo cuerpo humano.

Un método alternativo es la utilización de **composites basados en puntos cuánticos** (*quantum dots*) dentro de una matriz polimérica conductora de electricidad. El espectro de absorción de radiación de este composite vendría determinado por el polímero y el punto cuántico. El espectro de absorción del polímero está definido por su estructura química. El estado actual de la química orgánica permite la fabricación de virtualmente cualquier tipo de polímero conductor o semiconductor, de manera que las propiedades electrónicas de estos polímeros puedan ajustarse a las propiedades electrónicas de los puntos cuánticos.

Además, los estados electrónicos de los puntos cuánticos pueden ser cambiados variando sus dimensiones. Este tipo de estructura permitiría **células solares mecánicamente flexibles**. Más aun, podrían incluso aplicarse con un spray. Esto permitiría convertir prácticamente cualquier superficie expuesta a radiación en soporte de una célula fotovoltaica. Por ejemplo, cualquier ventana podría servir para producir electricidad a partir de la radiación solar y la radiación proveniente de la calefacción. Sin embargo existe aun margen para mejorar este tipo de composites, dado que actualmente las eficiencias son sólo del orden del 1%, 20 veces menos que las rígidas células solares de Silicio.

Por último, se están investigando **recubrimientos ópticos que virtualmente no reflejan la luz**. Este tipo de recubrimientos posibilita reducir apreciablemente e incluso eliminar las reflexiones en todo el intervalo del espectro visible e independientemente del ángulo de incidencia de la luz, aspectos que no cumplen los sistemas antirreflectantes usuales basados en procesos interferenciales en multicapas ópticas, ya que son selectivos tanto a la longitud de onda como al ángulo de incidencia de la luz.

Este tipo de recubrimientos tienen aplicación en cualquier dispositivo en el que la luz entre o salga de algún material. En particular en la fabricación de **células solares más eficientes**, al aumentar la cantidad de luz que incide sobre el material semiconductor de la célula, y en todo el espectro de emisión solar; también para aumentar el brillo producido por los LED actuales y para eliminar pérdidas en interconexiones ópticas en circuitos fotónicos e incluso, y por paradójico que parezca, para desarrollar espejos de muy elevada reflectividad. Por otro lado la técnica de evaporación oblicua es un método que puede fácilmente adaptarse a procesos industriales y los recubrimientos se pueden realizar sobre cualquier tipo de material.

3.1.7 Industria metalmeccánica

En la industria metalmeccánica, son numerosas las aplicaciones de los materiales inteligentes, destacando:

- Tratamientos superficiales de piezas metálicas sometidas a desgaste
- Materiales antifricción
- Materiales con alta dureza para herramientas de corte
- Nanofiltración

Las piezas metálicas sometidas a fricción, como herramientas de corte, fresado, conformado, rodamientos o engranajes, entre otras, sufren continuos procesos de desgaste y corrosión que limitan su vida útil. El empleo de **tratamientos para proteger las superficies expuestas a desgaste** constituye una alternativa apropiada para mejorar el rendimiento y aumentar la duración de estas piezas. Entre los tratamientos de superficies que se pueden utilizar destaca la preparación de recubrimientos mediante láminas delgadas o multicapas. El empleo de recubrimientos consiste en depositar sobre la superficie a proteger una fina capa de material de elevada dureza y/o bajo coeficiente de fricción que aumente la resistencia al desgaste de la pieza. Al reducir el coeficiente de fricción, las temperaturas de trabajo se reducen y con ello se limitan los procesos de oxidación y corrosión, especialmente en procesos de mecanizado de alta velocidad. Los materiales típicamente empleados son carburos y nitruros de **metales de transición**, como TiN, TiCN, CrN, ZrN, y sus aleaciones con aluminio, AlTiN, AlCrN, y se pueden combinar en multicapas cuya periodicidad sea del orden de decenas de nanómetros y con grosores totales del orden de las micras. Además, los recubrimientos pueden mejorar sus propiedades mecánicas si se preparan mezclas de fases de cristales de tamaño manométrico, por ejemplo TiN+a-SiN. También es posible preparar **capas funcionalizadas**, cuya composición varía gradualmente en profundidad (capas gradiente), de manera que se pueda optimizar tanto el comportamiento mecánico de la superficie, por ejemplo con una lamina de TiN, como la adherencia del recubrimiento a la pieza metálica, por ejemplo con una capa de WC, utilizando una lamina intermedia de transición de TiC.

Entre las **aplicaciones típicas**, figuran los tratamientos de superficies de cuchillas de corte y mecanizado, engranajes y rodamientos, matrices para conformado de chapa, o moldes de inyección de plástico. Otras aplicaciones consisten en la funcionalización superficial de prótesis de cadera y rodilla para mejorar su resistencia al desgaste, la preparación de recubrimientos de baja fricción sobre la superficie de discos duros magnéticos para reducir la altura de vuelo de la cabeza lectora y aumentar la densidad de almacenamiento de información, el crecimiento de capas decorativas, antirreflectantes, de barrera térmica, etc.

Los materiales necesarios para los **sistemas de contactos antifricción** dependen en gran medida, por un lado, de la tendencia y la velocidad en el desarrollo tecnológico y, por otro, de las políticas medioambientales. Esta última demanda la disminución del consumo energético y las emisiones contaminantes, de forma que los materiales del futuro han de ser ligeros y autolubricados, pero con baja resistencia a la fricción y sin desgaste.

El **grafito**, por su estructura cristalina, tiene excelentes propiedades autolubricantes. Incluso en seco, el coeficiente de fricción entre un material de carbono/grafito y la contracara de rozamiento es comparativamente bajo, por lo que el deslizamiento entre sus caras es satisfactorio.

Además posee una **alta estabilidad a altas temperaturas** y es inerte a gran cantidad de agentes químicos. Los cojinetes y las juntas hidráulicas de las bombas de agua para coches que actualmente se fabrican mediante grafito de grano fino convencionales presentan serias limitaciones, tanto tecnológicas como económicas. Así, las mejores prestaciones de los materiales de grafito se consiguen en la actualidad mediante infiltración de metales o sales con la problemática que ello conlleva desde el punto de vista de la legislación ambiental y laboral.

Mediante el uso de materiales de carbono nanoestructurado se pueden conseguir **componentes autolubricados** que no presenten desgaste durante toda la vida de servicio del equipo y que exhiban mejores rendimientos mecánicos que los materiales tradicionalmente utilizados. Es posible, de este modo, aumentar la carga admisible por superficie hasta en un 50%, gracias al incremento que en la resistencia mecánica, dureza y tenacidad del componente. Por otro lado el aumento en las prestaciones mecánicas permite la reducción del tamaño de los componentes con la consiguiente reducción de costes.

Los materiales nanoestructurados cerámica-metal, las interfases óxido/nMetal son más rígidas que las interfases convencionales óxido/metal. Este hecho es debido a que durante la sinterización del compacto se produce un **crecimiento epitaxial** de las nanopartículas metálicas sobre aquellos planos cristalográficos del óxido más favorables desde el punto de vista energético. Como consecuencia de este fenómeno, se produce una mejora sustancial de la tenacidad del compacto si se compara con los valores de tenacidad alcanzados en compactos micrométricos.

Por otro lado, la dureza de los materiales metálicos aumenta al disminuir el tamaño de grano debido al aumento de los bordes de grano y con ello la cantidad de bordes de grano, los cuales impiden el movimiento de las dislocaciones incrementando la resistencia del metal. Esta relación entre el tamaño de grano y el esfuerzo de fluencia viene determinado por la **ley de Hall-Petch** y explica la gran dureza que presentan las nanopartículas metálicas frente a sus homogéneas micrométricas. Esto junto con la alta dureza que presentan matrices cerámicas tales como la espinela o la alúmina hacen que como resultado se puedan obtener compuestos cerámico/nanometal de dureza muy superior a la de los correspondientes microparticulados.

La **nanofiltración** se caracteriza por utilizar membranas que tienen un tamaño de poro del orden del nanómetro y, con frecuencia, carga eléctrica negativa. Son, hasta la fecha, membranas poliméricas. Sus aplicaciones son muy diversas: eliminación de metales pesados de aguas residuales, reciclaje de aguas residuales en lavanderías, ablandamiento del agua, eliminación de nitratos, etc.

3.1.8 TIC

El creciente volumen de información requiere de cambios en los procesos de almacenamiento. La nanotecnología permite la **multiplicación de los volúmenes de información en espacios notablemente menores**. Memorias de computador, introducción de “verdaderos” colores, microprocesadores, optimización de la infraestructura de la industria de la silicón mediante su combinación con la tecnología óptica de comunicaciones, con el fin de transmitir más información mediante dispositivos más pequeños, son algunos de los aspectos de incidencia de la nanotecnología en las TIC. Terabytes podrán ser almacenados en minúsculos chips, utilizados en computadores de alta velocidad gracias a la nanotecnología.

3.1.9 Robótica

Actualmente existen gran cantidad de materiales inteligentes, desde aleaciones o polímeros con memoria de forma, polímeros reticulados (geles), bimetales, etc. Todos ellos normalmente utilizados como **actuadores en sistemas robotizados o en extremidades de robots**. Las líneas de investigación más activas que podemos encontrar son las basadas en estos como músculos o como sistema motriz de robots o robots biológicamente inspirados, micro robótica o MEMS donde gracias a las técnicas empleadas en microelectrónica se abre todo un abanico de posibilidades, robótica modular o reconfigurable, prótesis inteligentes o exoesqueletos ya vayan desde el campo médico, para la ayuda a la rehabilitación o la sustitución de miembros dañados, o el militar / industrial para el transporte de cargas pesadas.

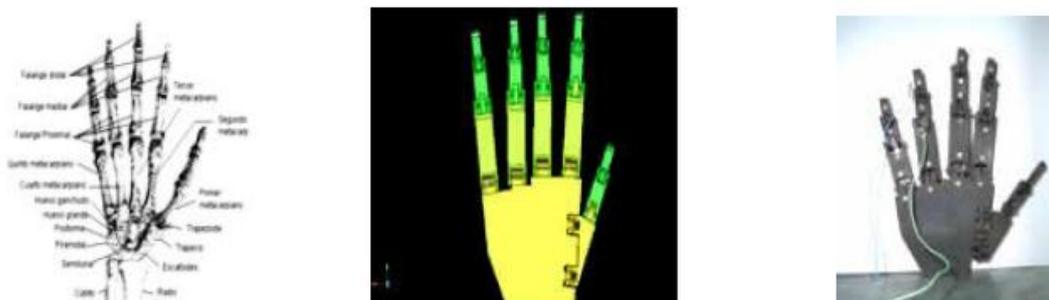


ILUSTRACIÓN24. HUESOS Y ARTICULACIONES, MODELO CAD Y MODELO FUNCIONAL

Yendo más allá del campo de aplicación de estos materiales en la robótica convencional encontramos el campo de **la telerobótica y los dispositivos hápticos**, en estos sistemas de realidad virtual o de realidad inducida la ingeniería de materiales no tiene mucha incidencia, debido a que la mayor parte de estos dispositivos se basa en los clásicos servomotores y otros mecanismos, la aplicación de las aleaciones o los

polímeros con memoria de forma puede ser una alternativa ya que como se puede prever aligerarían el peso y no restringirían los movimientos ni las sensaciones generadas por estos para conseguir así una mejor interacción hombre-máquina o una mejor inmersión en el **sistema de teleoperación o telepresencia**.

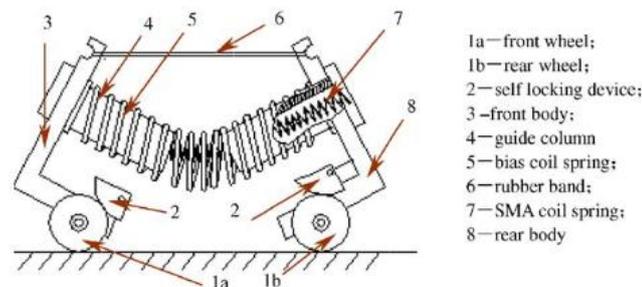


ILUSTRACIÓN25. MICRO-ROBOT ACCIONADO POR MUELLE SMA

Durante los últimos años, una parte importante de la robótica se ha orientado hacia el desarrollo de **vehículos aéreos no tripulados (UAV)**, que cuentan con una gran cantidad de aplicaciones que van desde simple entretenimiento hasta misiones de reconocimiento. Una categoría que está tomando mucha importancia dentro de esta área es la de desarrollo de robots inspirados en insectos.

Una problemática para construir estos micro drones es que no se pueden utilizar elementos comunes como sistemas de engranaje o motores de DC como se haría normalmente en un dron de tamaño normal y es por esto que actualmente se están buscando alternativas para sustituir dichos componentes; siendo una gran alternativa el uso de materiales inteligentes tales como los piezoeléctricos, que gracias a sus diversas propiedades pueden ser utilizados como sensores y actuadores al mismo tiempo.

Según investigadores de la **Cornell University en Itaca**, los materiales inteligentes pueden ser utilizados para fabricar las hélices de un dron, consiguiendo que al contacto con el agua de las mismas, estas se conviertan en helices, lo que permitiría a este equipo realizar inmersiones acuáticas sin necesidad de realizar cambios mecánicos o estructurales en el mismo.



ILUSTRACIÓN26. DRONES CON ESTRUCTURAS INTELIGENTES

Además, investigadores del **MIT** han presentado un nuevo método para impresión 3D de materiales blandos que es capaz de hacer a los robots más resistentes y precisos en sus movimientos, y que promete mejoras notables en la durabilidad de aviones no tripulados, móviles, zapatos, cascos, etc. La técnica, que han llamado “Material Viscoelástico Programable” (PVM por sus siglas en inglés), permite a los usuarios programar cada parte de un objeto combinando en su interior los niveles exactos de rigidez y elasticidad que deseen, dependiendo de la tarea para la que se requiera.

En las pruebas realizadas se han empleado cubiertas impresas con dicho material, logrando que el robot aterrice con casi cuatro veces más precisión. Una de las primeras aplicaciones que sugiere esta mejora sería, por ejemplo, **imprimir amortiguadores similares para ayudar a prolongar la vida útil de drones de reparto** como los que están siendo desarrollados por negocios rentables como Amazon y Google.

3.2 PROVEEDORES DE NANOTECNOLOGÍA

AlphaSIP

Experiencia en sensorización (especialmente en la detección de bacterias)

Avanzare

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales aislantes de flujo de calor, nuevos materiales conductores de calor, nuevos recubrimientos y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

Estanda Fundiciones

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales refractarios al flujo de calor: recubrimientos de aceros.

Nanogap

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor, nuevos recubrimientos, nuevos filtros para acondicionamiento de aire, sensorización, sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

NanoInnova

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor (derivados del grafeno), nuevos recubrimientos (derivados del grafeno) y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos (derivados del grafeno)

NanoMyp

Experiencia en sensorización (Tiss-Biocide)

Sgenia

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales refractarios al flujo de calor: herramientas de simulación para materiales irradiados con campos electromagnéticos; Sensorización: dispositivos de nariz electrónica para la detección de moléculas en aire, ambientes críticos y líquidos. Y sensores de gases, como sensores de H₂, y trabaja activamente con una amplia gama de sensores como sensores de metal-óxido, sensores de nanotubos, SAW; Sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos: han trabajado con polímeros nanoaditivados para aplicaciones principalmente de sensórica.

También han desarrollado un software de simulación para materiales con nanotecnología.

Tecnan

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales aislantes de flujo de calor, nuevos materiales refractarios al flujo de calor y nuevos recubrimientos: nano-óxidos cerámicos.

42TEK

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales aislantes de flujo de calor, nuevos refrigerantes, nuevos recubrimientos, nuevos filtros para acondicionamiento de aire y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

Advanced Nanotechnologies S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

Graphenano S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor: cobre recubierto de grafeno.

Industria Química del Nalón

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor, nuevos recubrimientos y sensorización. Sintetizan cualquier tipo de nanopartícula.

Innovatec Sensorización y Com, S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable.

Interquímica

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales aislantes de flujo de calor: ladrillos con propiedades alteradas con nanotecnología; Nuevos materiales refractarios al flujo de calor, nuevos materiales conductores de calor, nuevos recubrimientos y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

Nanotecnología España S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: nuevos materiales aislantes de flujo de calor y nuevos recubrimientos.

Nanozar S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: ☒ Nuevos materiales conductores de calor: nanotubos de carbono y grafeno con polímeros, nuevos recubrimientos y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos

Sensia S.L.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Sensorización: nanocapas metálicas y monocapas de grafeno.

Tolsa S.A.

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos.

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos: Pinturas anticorrosivas con nanopartículas (desarrolladas para sector aeronáutico, automoción); Sensorización: Microcromatografía de gases in situ. Preparación de mezclas artificiales para la caracterización y calibración de sensores.

Instituto de ciencia y tecnología de polímeros (ICTP)

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor: espumas poliméricas conductoras.

Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (ITEFI)-CSIC

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: ☒ Sensorización: Caracterización de sensores para detección de gases. Preparación de materiales nanoestructurados integrados en microsensores.

AITIIP

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos: Materiales para aguantar condiciones extremas, Sensorización: determinación de contaminantes biológicos fundamentales y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos: nanoplásticos.

CNBSS

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos: tienen una spin-off de tecnología de recubrimiento de cristales que se oscurecen con la luz (en fase de comercialización) y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos: utilizando grafeno.

GAIKER

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales conductores de calor: en el ámbito de los materiales poliméricos, nuevos recubrimientos: recubrimientos de poliuretano con elevadas prestaciones al rayado y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos: formulaciones de polímeros (epoxi, vinilester) reforzados con fibra.

ITMA

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales aislantes de flujo de calor, nuevos materiales refractarios al flujo de calor, nanomateriales de carbono, nuevos recubrimientos, Sensorización y sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.

LEITAT

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos materiales refractarios al flujo de calor: materiales poliméricos y nuevos recubrimientos: pintura refractaria.

TECNALIA

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos: Nanorecubrimientos fotocatalíticos y Sensorización.

TECNIKER

Áreas con productos, servicios o experiencia aplicable: Nuevos recubrimientos, Sensorización Y Sustitución de materiales metálicos por polímeros reforzados con nanoaditivos.