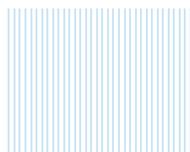


Recibido: 23.09.2017 | Aceptado: 26.10.2017

**Palabras clave:** Ciencia de materiales, ingeniería de superficies, funcionalidad química, recubrimientos y monocapas.

# Ingeniería de superficies y monocapas autoensambladas



LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL  
*carlos.ortiz@alumnos.uaslp.edu.mx*  
DOCTORADO INSTITUCIONAL EN INGENIERÍA Y CIENCIA DE MATERIALES, UASLP  
ELEAZAR SAMUEL KOLOSOVAS MACHUCA  
CIACYT, UASLP

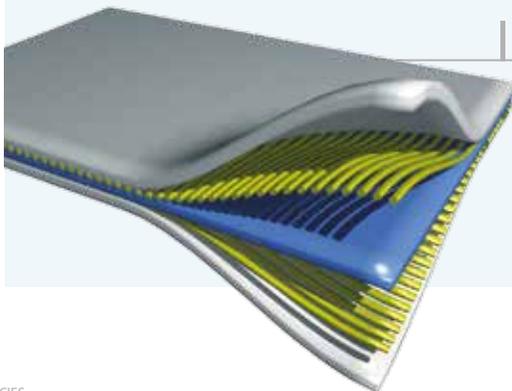
El desarrollo de materiales ha definido el progreso del hombre y le ha permitido resolver los problemas tecnológicos a los que se ha enfrentado. Prueba de ello es que las etapas de la civilización se clasifican según los materiales y adelantos que la humanidad fue desarrollando. Por ejemplo, en la edad de piedra, se utilizaron rocas para fabricar herramientas de caza, y al afilarlas obtuvo herramientas cortantes que le permitieron confeccionar abrigos, también cierto tipo de rocas producían fuego cuando chocaban. Posteriormente, descubrieron que éste las transformaba en un nuevo material, por ejemplo, cuando pusieron el mineral malaquita en el fuego, descubrieron el cobre, lo que les permitió fabricar herramientas más durables que podían afilarse y moldearse varias veces. De este mismo modo descubrieron otros metales y después observaron que al mezclar cobre con estaño se obtenía un nuevo metal, cuya dureza era mucho mayor: el bronce. Al variar la cantidad de cada metal descubrieron otras aleaciones como el peltre. Finalmente, al fundir minerales ferrosos produjeron hierro, cuyo uso se encuentra extendido hasta el día de hoy por su abundancia. En épocas recientes se han utilizado polí-

meros, semiconductores y cerámicas, aunque estos materiales no han dado nombre a un periodo, sí han acompañado la revolución tecnológica de los siglos XX y XXI, por lo que es necesario continuar desarrollando nuevos materiales que permitan afrontar y resolver los retos tecnológicos para seguir avanzando.

De forma general, las características de los materiales pueden clasificarse en dos: las que resultan de la naturaleza de su masa y las de su superficie. Algunos ejemplos de las propiedades masivas de un material son resistencia mecánica, magnetismo, densidad, e incluso el precio. Las propiedades que se deben a la superficie son biocompatibilidad, resistencia a la corrosión y, hasta cierto punto, la apariencia estética.

Con frecuencia sucede que las propiedades ideales para cierta aplicación no se encuentran en un solo material y la mejor solución es recubrir o modificar su superficie, cuyas propiedades masivas sean ideales para conjuntarse con las de otro material que aporte las propiedades superficiales deseables. La ingeniería de superficies es la rama de la ciencia de los

## Clasificación según las características de los materiales



### Naturaleza de su masa

Resistencia mecánica  
Magnetismo  
Densidad

### Naturaleza de su superficie

Biocompatibilidad  
Resistencia a la corrosión  
Apariencia estética

materiales que se encarga de resolver este tipo de problemas. En este artículo se revisan conceptos básicos de esta ciencia con el propósito de comprender cómo puede ayudar al desarrollo de nuevos materiales, modificando su superficie para hacerla funcional.

### Ingeniería de superficies

Describe las técnicas físicas y químicas para modificar las propiedades superficiales de metales, no metales, óxidos metálicos, semiconductores, cerámicas y polímeros, entre otros. Muchos procesos para modificar las superficies son conocidos desde hace siglos, como el galvanizado o la pintura, y han evolucionado hacia técnicas más eficientes como la electrodeposición (un procedimiento electroquímico mediante el cual se cubre una pieza con una fina capa de determinado metal) y la pintura electrostática (recubrimiento electrostático que se mezcla con polvo y se carga eléctricamente). La aplicación de recubrimientos es una actividad industrial importante que enfrenta desafíos como la optimización de las propiedades masivas y las del re-



Las características de los materiales pueden clasificarse en las que resulten de la naturaleza de su masa y los de su superficie



cubrimiento superficial, es decir, los costos del material y la economía de este proceso. Otras limitaciones que se suman a estos desafíos son la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato, la velocidad del proceso, la uniformidad de la capa, la temperatura requerida durante el recubrimiento y la toxicidad de los materiales utilizados.

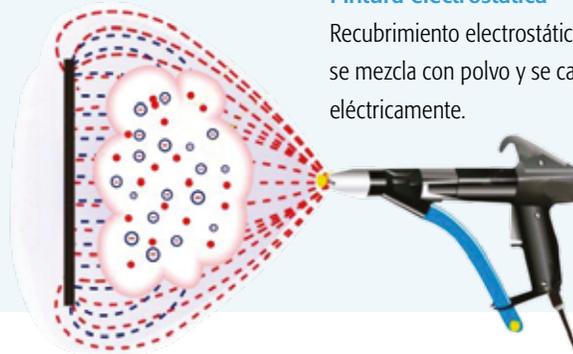
Procesos de recubrimiento como la pintura o el galvanizado son conocidos desde hace ya varios siglos. Sin embargo, el enfoque de la ciencia que mencionamos aplicado a la modificación superficial comenzó a desarrollarse a partir de la segunda mitad del siglo XX, que fue cuando las técnicas analíticas en ultraalto vacío como la espectroscopía electrónica Auger (AES), la espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS) y la difracción de electrones de baja energía (LEED) estuvieron disponibles (Vickerman y Gilmore, 2009) y permitieron la caracterización cuantitativa de recubrimientos de una sola capa molecular por primera vez. En esos primeros tiempos de la ciencia de superficies se aplicaban capas mo-

## Ejemplos de técnicas para modificar las propiedades superficiales de materiales



### Electrodeposición

Procedimiento electroquímico mediante el cual se cubre una pieza con una fina capa de determinado metal.



### Pintura electrostática

Recubrimiento electrostático que se mezcla con polvo y se carga eléctricamente.

nomoleculares de sustancias simples como oxígeno, monóxido de carbono o halógenos en cámaras de ultraalto vacío sobre sustratos previamente caracterizados (Somarja, 1994). En los últimos 60 años ha aumentado la complejidad y la aplicabilidad de estos sistemas, que han pasado desde sólo analizar superficies sólidas en vacío a interfaces entre sólidos y otras fases condensadas.

### Autoensamblaje

El término autoensamblaje, como su nombre lo indica, es la organización o arreglo de ciertas entidades sin la intervención de ningún agente externo. Es importante señalar que involucra interacciones débiles y fuertes y estructuras nanoscópicas o macroscópicas en una, dos y tres dimensiones. Pueden ser resultado de fuerzas tan débiles como las de Van der Waals (fuerzas de estabilización molecular), puentes de hidrógeno, cargas estáticas e interacciones magnéticas, entre otras. La fuerza motriz que impulsa el autoensamblaje se debe a que todos los sistemas en la naturaleza intentan alcanzar su estado de menor energía. La habilidad de un sistema de dirigirse hacia un estado bien ordenado, cuya energía sea la menor, es decir, más estable, depende de la disponibilidad de unidades de la misma forma y tamaño. Las moléculas con forma y número de átomos definidos, es decir, que tienen tamaño definido y se encuentran en su estado energético más bajo, son buenas candidatas para el autoensamblaje, ya que sus átomos se mantienen unidos por enlaces químicos, que son más fuertes que las interacciones que resultan de atracciones electrostáticas.

La invención de las monocapas autoensambladas (SAM, por sus siglas en inglés) representó un importante paso hacia la fabricación de capas monomoleculares, ya que permitió que una superficie estuviera modificada químicamente de forma reproducible con una monocapa sin la necesidad de utilizar una cámara de ultraalto vacío (Kulkarni, 2015).

Las monocapas autoensambladas son una técnica muy útil para cubrir una superficie con una capa de cierta funcionalidad química. En muchos casos, una contaminación moderada de la superficie es desplazada por la reacción de formación de la monocapa; esto quiere decir que la modificación química de una superficie con alto grado de eficiencia puede alcanzarse en condiciones ambientales.

Es posible adsorber (atraer o retener) más de un tipo de molécula formadora de monocapas a una superficie, es decir, adsorber moléculas con diferentes grupos principales con el fin de tener más control sobre la funcionalidad expuesta. La densidad de los grupos funcionales principales puede ajustarse al mezclar el precursor que contiene el grupo principal deseado con otro cuyo grupo principal sea inerte, es decir, que no tenga función para la aplicación en la que se usa el grupo principal del otro adsorbato. Estas diluciones también pueden hacer variaciones espaciales produciendo gradientes de concentración en la funcionalidad.

Las monocapas autoensambladas también pueden ser impresas en patrones sobre el sustrato, como en la

impresión por microcontacto, en la cual se utiliza una estampa de elastómero para imprimir moléculas formadoras de monocapas o impresión inkjet, donde las moléculas del precursor se utilizan como tinta en una impresora tradicional. Se ha reportado una gran cantidad de aplicaciones de las monocapas autoensambladas, como biosensores y lubricantes para dispositivos microelectromecánicos y han sido cruciales para el desarrollo de nuevas áreas de investigación, desde nanopartículas hasta nanoalambres. Un ejemplo muy interesante es la modificación de la superficie de las prótesis de titanio con monocapas de gruposilano para hacerlas biocompatibles, estas monocapas permiten la unión estable con moléculas biocativas como proteínas, evitando el desarrollo de infecciones y rechazo del material por el organismo (Rezvanian, 2016).

### Modificación superficial

La modificación de una superficie puede lograrse mediante procesos físicos o químicos. Los primeros son aquellos que no cambian la composición de un material, mientras que los segundos sí. Un ejemplo de modificación física es grabar pequeñas hendiduras en la superficie para aumentar o disminuir la hidrofobicidad, que es cuánto se moja o no un material. Otros ejemplos son las técnicas como el crecimiento epitaxial por haces moleculares, que consiste en depositar un sistema cristalino sobre otro; depósito de capas atómicas o pulverización catódica para depositar capas muy delgadas de

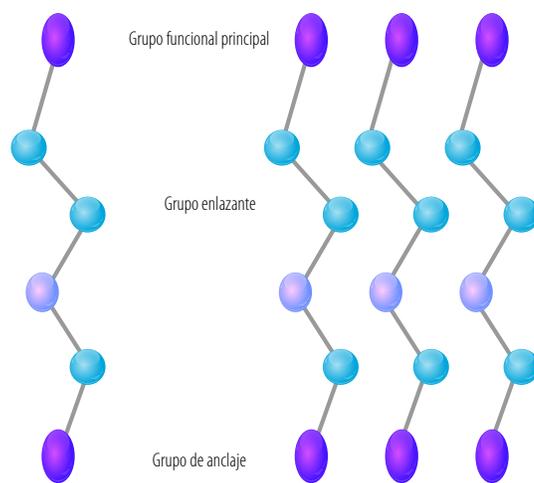
ciertos materiales semiconductores, óxidos metálicos o metales para la fabricación de celdas solares, transistores, diodos láser o diodos emisores de luz (led).

Para modificar una superficie mediante un proceso químico, es necesario colocarle grupos funcionales, los cuales pueden reaccionar con determinadas sustancias, según de cuáles grupos se trate. Este proceso ha dado origen al muy extendido término funcionalizar, que hace referencia a poner grupos funcionales, pero esta palabra no existe en español y es un anglicismo de *functionalization*. La manera correcta es modificación química de superficies.

Las moléculas con los grupos funcionales se acomodan en capas sobre la superficie sin que sea necesaria la intervención de una fuerza externa, como si cada uno de sus componentes fueran bloques de construcción

Figura 1.

### Componentes de una monocapa.



Sustrato

de juguete. Los componentes esenciales de estas capas de moléculas son los grupos de anclaje, funcional principal y enlazante. El de anclaje une las moléculas con la superficie, el principal define el estado de funcionalización de la nueva superficie externa después de la modificación y el enlazante, mediante interacciones electrostáticas de los átomos que forman la estructura de la molécula, provee una fuerza adicional para la reacción de adsorción y puede crear un cierto grado de ordenamiento en el sistema. También en este grupo, mediante la adición de un enlazante pueden ocurrir reacciones de reticulación similares a las que se utilizan en procesos de sistemas poliméricos (figura 1).

Se han reportado muchos tipos de moléculas como alcoholes, ácidos orgánicos y moléculas nitrogenadas (Ortiz Dosal *et al*, 2017). Cada una de ellas puede utilizarse en una aplicación diferente. Algunos ejemplos son la modificación química de un circuito para colocarle moléculas que puedan inmovilizar una proteína y detectar, mediante un cambio en las características del circuito, una reacción inmunológica (antígeno/anticuerpo), la presencia de un cierto patógeno u otra sustancia de interés. Estos dispositivos son conocidos como biosensores biomoleculares.

También es posible crear nuevos materiales compuestos con propiedades magnéticas inéditas al mezclar nanopartículas magnéticas modificadas con otro tipo de nanopartículas también modificadas, las cuales se unen por medio de reacción entre los gru-

pos funcionales. De la misma manera, es posible pegar nanopartículas como si fueran recubrimientos industriales, modificando su superficie y la del material al cual se las quiera adherir.

### Conclusiones

Es posible modificar la superficie de un material mediante procesos físicos y químicos. El uso de monocapas autoensambladas permite el desarrollo de nuevas aplicaciones y materiales con propiedades superficiales sorprendentes. Es importante mencionar que la Universidad Autónoma de San Luis Potosí cuenta con la infraestructura y aparatos adecuados, como microscopios electrónicos, equipo para el crecimiento de cristales como epitaxia por haces moleculares y depósito de capas atómicas, así como sistemas de nanolitografía y litografía que modifican de forma física las superficies. Esto permite el desarrollo de esta área del conocimiento en un alto nivel. **UP**

### Referencias bibliográficas:

- Vickerman, J. C. y Gilmore, I. (2009). *Surface analysis: the principal techniques*. (2ª ed.). Nueva Jersey, John Wiley & Sons.
- Somorja, G. A. (1994). *Introduction to surface chemistry and catalysis*. Nueva Jersey, John Wiley & Sons.
- Kulkarni, S. K. (2015). *Nanotechnology: Principles and practices* (3ª ed.). Berlín, Springer.
- Ortiz Dosal L. C., Kolosovas Machuca, E. S., Rodríguez Aranda, M. C., López Luna, E., Hernández Arriaga, H. y Vera Reveles, G. (2017). Bioanalysis by immobilization of hafnium (IV) oxide using 3-aminopropyltriethoxysilane. *Analytical Letters*, 50(18), pp. 2937-2943.
- Rezvanian, P., Arroyo-Hernandez, M., Ramos, M., Daza, R., Elices, M., Guinea, G. V., Perez-Rigueiro, J. (2016). Development of a versatile procedure for the biofunctionalization of Ti-6Al-4V implants. *Applied Surface Science*, 387, pp. 652-660.



### LUIS CARLOS ORTIZ DOSAL

Maestro en Ciencias Aplicadas por la Facultad de Ciencias de la UASLP. Estudia el Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de Materiales en el Instituto de Física de la UASLP y desarrolla el proyecto "Uso de procesos de autoensamblaje para modificación de metales, óxidos metálicos y nanoestructuras".

