

LA CIENCIA DE LOS MATERIALES

F. Climent Montoliu

Académico Numerario

Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

Facultad de Química. Universidad de Barcelona.

RESUMEN

En este artículo se dan una serie de generalidades sobre la nueva Ciencia de los Materiales. No nos introducimos en los fundamentos básicos de los mismos que no corresponderían a una revista, que como ésta, tiene objetivos eminentemente médicos.

Se citan por su interés, tanto en Clínica como en investigación Biotecnológica, una serie de ideas sobre caracterización de materiales y algunos ejemplos de ellos de particular importancia en Medicina.

INTRODUCCION

Estamos asistiendo en los últimos tiempos a una drástica transformación de las relaciones entre el hombre y los materiales a los que derivaran profundas repercusiones.

Gracias a los grandes avances en la comprensión teórica de la estructura física y biológica de la materia, así como a los progresos en las técnicas experimentales de caracterización está siendo posible acotar que necesidades tenemos, para empezar a investigar, átomo por átomo, el material que las satisfaga.

El desarrollo científico-técnico en las dos últimas décadas de este siglo se apoya básicamente en tres grandes columnas, la Biotecnología, la Microelectrónica y los Nuevos Materiales.

Diferentes en cuanto al contenido científico y sus objetivos, sin embargo el progreso de las dos últimas, que están estrechamente interconectadas entre sí, será determinante en el avance de la Biotecnología y como consecuencia de la Medicina en general.

¿Cual es la definición de esta nueva Ciencia de los Materiales?

La Ciencia de los Materiales tiene como finalidad última, investigar, sintetizar y desarrollar nuevas sustancias según propiedades deseadas para finalidades y aplicaciones determinadas.

Para alcanzar este objetivo es necesario estudiar la materia a partir de su nivel de cohesión más intrínseco, es decir, el enlace químico, que como es sabido, son las fuerzas que ligan los átomos para formar las diferentes fases o estructuras materiales.

Es interesante destacar que el empleo que se se ha hecho siempre de los diferentes materiales existentes ha estado condicionado por las propiedades de los mismos. Con la Ciencia de los Materiales, las cosas ocurren a la inversa, obtenemos nuevos compuestos con propiedades muy específicas prefijadas según el uso que de ellas precisemos.

CARACTERIZACION DE MATERIALES

La Ciencia de los Materiales presenta además otra vertiente y es que constituye un elemento crucial en la resolución de problemas fundamentales planteados en la actualidad; tales como la limitación de recursos, la escasez de materiales estratégicos y también el sostenimiento del crecimiento económico.

La gran expansión en el desarrollo de nuevos materiales ha ido parejo al propio desenvolvimiento, cada vez más sofisticado, de técnicas que permiten caracterizarlos. Todas estas tecnologías a su vez se nutren de los nuevos compuestos descubiertos formando una espiral creciente de progreso.

Pongamos un sólo ejemplo, el de los nuevos "Chips" que son elementos formados por materiales semiconductores (*) entre otros de arseniuros de galio, fosfuros de indio y otras combinaciones de átomos. Estos elementos son fundamentales como mecanismos integrantes de la inteligencia artificial.

El llamado "Super-Chip" de superficie de muy pocos milímetros cuadrados y que es capaz de almacenar más de 4 millones de bits, (unidad de información), equivalente a unos 250 folios mecanografiados o a un diario de unas 20 páginas.

Es del todo evidente que es necesaria una muy alta especialización en cuanto a las técnicas de caracterización de cada componente en que está formado estos Chips. Recordemos de un modo genérico, que los chips son plaquetas de diferentes materiales de superficies muchas veces microscópicas en las que se integran cientos de miles de elementos funcionales electrónicos tales como transistores, resistencias, inductancias, condensadores, etc, en forma de circuitos integrados. Estos circuitos pueden asumir labores cibernéticas de muy elevada complejidad, que el cerebro humano no puede ni imaginarlas y que, por otro lado, hasta hace muy pocos años eran inaccesibles a la ciencia.

Caracterizar un material es conocer una serie de sus propiedades en función de la específica utilidad que se desee o la misión a que deba ser empleado.

Para ello es necesario en cada caso determinar tres características básicas del ma-

terial: la **Topografía**, la **Composición** y la **Estructura**.

El estudio topográfico de un material permite conocer los defectos de tipos físico (dislocaciones, vacantes atómicas, macas, microfisuras, etc.), químico (heterogeneidades, impurezas, etc.), morfológico (orientaciones granulares, texturizaciones, etc). Por ejemplo un parámetro muy importante a tener en cuenta es el poder de resolución de las técnicas empleadas en topografía de manera a discriminar detalles muy finos o pequeños, piénsese lo que significa "visualizar" átomos como es posible actualmente.

El saber la composición química de los diferentes elementos en que está formado un material es imprescindible para poder conocer con la máxima sensibilidad los efectos positivos de los dopantes o también los negativos de las impurezas. En la actualidad se pueden analizar niveles (llamados de ultrapureza electrónica) de un átomo impuro o dopado por ejemplo de centenares de miles de millones de átomos de la matriz base del material.

La estructura cristalina de un material tanto a corto alcance atómico —pocos Átomos— o a mayores como son las redes de átomos, permiten conocer o deducir propiedades intrínsecas del material a estudio. Monocristalinidad, Superconductividad (**), Magnetismo, etc., son sólo algunos ejemplos de propiedades estrechamente ligadas a la estructura cristalina.

Citaremos por su interés y amplia utilización algunas técnicas empleadas en caracte-

**Semiconductores son sustancias que, a temperaturas ordinarias se comportan como aislantes a la corriente eléctrica, pero que a determinadas temperaturas y bajo la acción de potenciales eléctricos se transforman en conductores como si fueran metales. Existen de dos clases, los intrínsecos que por las características de sus enlaces atómicos son conductores con tan solo aplicar una energía térmica como por ejemplo, el Silicio y el Germanio; otros que son la gran mayoría, los llamados dopados, que se obtienen introduciendo átomos estratégicos en las redes cristalinas de otros elementos base para así convertirlos, bajo acción térmica, en conductores.*

***La Superconductividad es una propiedad que tienen algunos materiales aleados que por debajo de una determinada temperatura crítica (en la actualidad pocos grados por encima del cero absoluto, es decir -273° C, aunque la investigación científica que con gran intensidad, se realiza en varios países, se dirige a conseguir temperaturas mucho más elevadas), la resistencia eléctrica del material es prácticamente cero. Dicho en otras palabras, no cumplen, en este estado, las clásicas leyes físicas del electromagnetismo. Al no existir disipaciones térmicas (efecto Joule), se podrán obtener grandes intensidades de corriente eléctrica, grandes campos magnéticos y así poder confinar plasmas iónicos para producir reacciones termonucleares controladas (reactores de fusión nuclear) y como consecuencia poseer energía prácticamente ilimitada.*



Figura 1.
Capa metálica muy fina observada con microscopía electrónica de transmisión (x40.000). Se aprecian varias dislocaciones atómicas sobre un plano cristalino.



Figura 2.
Capa metálica muy fina observada con microscopía electrónica de transmisión (x20.000). Una macla separa dos granos cristalinos conteniendo numerosos bucles de dislocaciones.

terizar materiales, muchas de las cuales son igualmente empleadas en Medicina.

- Microscopía electrónica, (de barrido o de transmisión), consiste en focalizar haces de electrones que son fuertemente acelerados mediante elevados potenciales eléctricos haciéndolos incidir sobre el material cuyas redes atómicas los difracta. El haz es seguidamente amplificado mediante bobinas magnéticas impactando a continuación sobre una pantalla fluorescente para ser vista la imagen, o ser fotografiada o bien almacenada en memoria de ordenador. Se pueden alcanzar poderes de resolución de hasta 20 Angstroms.



Figura 3.
Microscopio electrónico de alta potencia del Instituto de Ciencia de Materiales de la Universidad de Amberes.

- Microscopía de emisión, el principio en que se funda es el de arrancar, mediante unos grandes campos eléctricos, los electrones (o iones) de la superficie de la muestra a estudio y proyectarlos sobre una pantalla fluorescente para obtener imágenes consiguiendo por geometría grandes aumentos y elevados poderes de resolución se pueden alcanzar los 2 Angstroms, es decir, visualizar ordenaciones atómicas.
- La Radiografía, tan conocida desde hace años, se utiliza rayos X o gamma. Una variedad es la Autoradiografía que emplea isótopos radioactivos que al desintegrarse permiten obtener la distribución de los elementos químicos presentes.
- Técnicas de análisis con Rayos X (Difracción y Fluorescencia) que de manera no destructiva y elevada fiabilidad permiten estudiar estructuras cristalinas de compuestos y elementos químicos de materiales, la información obtenida es consecuencia de los fenómenos de difracción de los rayos X por los planos atómicos de las muestras a estudio.
- Aceleradores de partículas, son técnicas de análisis por espectrometría de gran sensibilidad. Se pueden utilizar diferentes clases de plasmas iónicos lo que permite ampliar el espectro de los elementos químicos de las probetas materiales.
- Tomografía de Rayos X (Scanner), es una variedad de Radiografía pero de muy elevada resolución y nitidez de la imagen. La radiación X de la imagen obtenida a lo largo de los planos de corte del material, dan la verdadera cartografía de las diferentes densidades de absorción a los Rayos X atravesados.
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN), es una técnica de análisis espectrométrico y también de visualización que se funda en principios físicos de magnetismo nuclear. Esta doble posibilidad de ser usado como espectrómetro y para examen tomográfico, además de la ventaja de no utilizar radiaciones ionizantes, le hacen ser una tecnología en gran expansión.
- Espectrómetro de masas, es el instrumento de mayor precisión en el análisis químico.

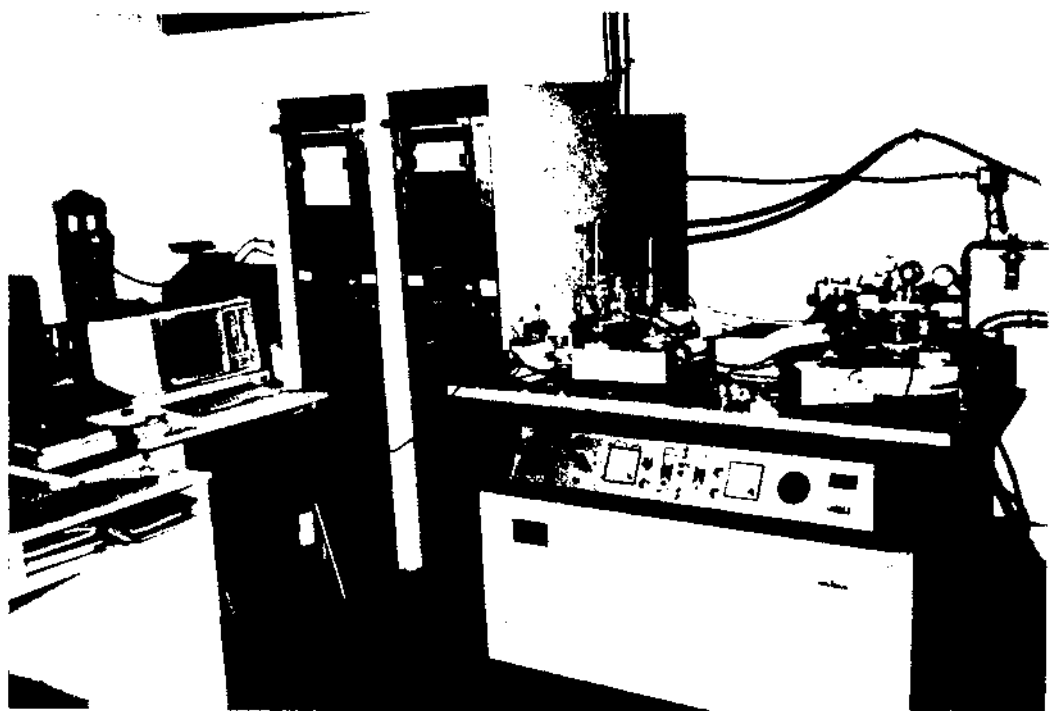


Figura 4.
 Equipo de Difracción y Fluorescencia de Rayos X de 4.8 KW de potencia. Donación de la Fundación Alexander Von Humboldt-Stiftung de la Alemania Federal al autor de este artículo. Ubicado en el departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Barcelona.

mico elemental de materiales, resulta sin duda imprescindible para definir criterios físicos de ultrapureza. Su principio se basa en la diferente desviación que experimentan los iones sujetos a la acción de un elevado campo magnético.

- Ultrasonidos, como es bien sabido son ondas elásticas de la misma naturaleza que el sonido pero de muy elevadas frecuencias. La propagación directa en el material y gracias a la electrónica, están adquiriendo un gran desarrollo, sobre todo en imágenes a tiempo real de barrido y focalización electrónica.
- Para terminar sólo citaremos algunas otras técnicas de caracterización tales como, la Microsonda Auger de Barrido con analizador tridimensional, las diferentes clases de Láser a múltiples frecuencias de haz, la Espectrometría de Fotoelectrones.

ENLACE ATOMICO

Algunos líquidos al enfriarse se hacen más y más viscosos y en algunos casos tan rígidos como un trozo de vidrio. Puesto que la distribución al azar de los átomos, características del estado líquido todavía subsiste, dichos líquidos subenfriados se conocen como sustancias amorfas.

Los verdaderos sólidos son aquellos cuyos átomos están dispuestos según redes regulares tridimensionales que forman la llamada estructura cristalina.

Las diferentes simetrías conocidas son consecuencia de específicas fuerzas que mantienen unidos los átomos de cada sólido, estas fuerzas de interacción constituyen el llamado enlace atómico también conocido por enlace químico. De manera esquemáticamente mostramos en la figura 7 las cinco clases de enlace

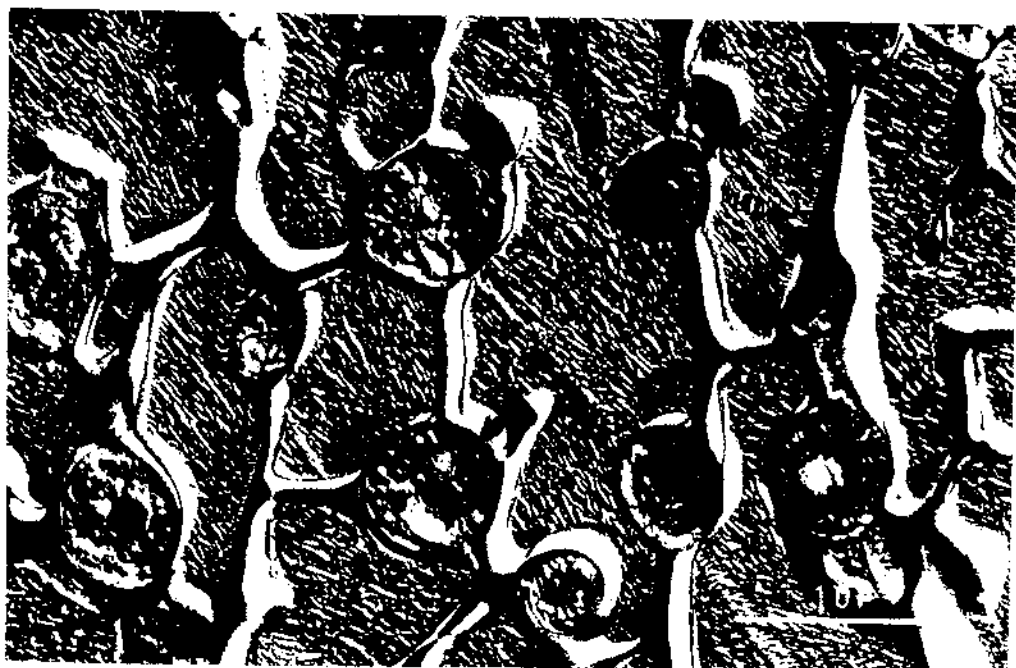


Figura 5.
Micrografía electrónica a bajos aumentos (x2.600), mostrando varias células de levadura.

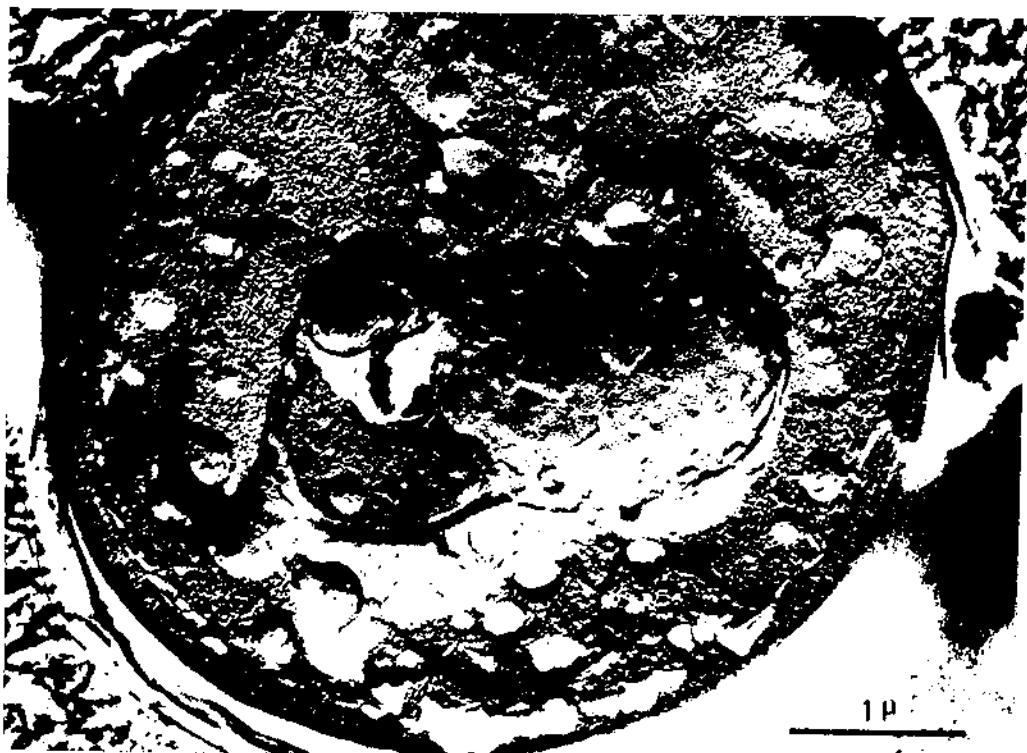


Figura 6.
Micrografía electrónica (x21.000). Vista completa de membrana citoplasmática, gránulos de lípidos y vacuolas.

en la que se pueden encontrar los sólidos cristalinos. No obstante debemos decir que en la mayoría de los materiales se dan alguna combinación de estos enlaces.

El **enlace iónico** se establece entre iones, átomos cargados positiva o negativamente; los iones con cargas opuestas sufren una fuerza de atracción mutua. En el **enlace covalente**, cada pareja de átomos comparte sus electrones externos para llenar la última capa electrónica. En un **metal** los electrones de las capas exteriores que permanecen semi-libres son compartidos por todos los átomos, moviéndose a través de la red cristalina; constituyen los llamados electrones de conducción. El **enlace de Van der Waals** es una fuerza de atracción débil

entre moléculas o átomos neutros y cercanos. El débil **enlace por puentes de hidrógeno** está mediado por un átomo de hidrógeno que es compartido por dos moléculas.

NUEVOS MATERIALES

Destacaremos algunos materiales y ramas de aplicación que serán decisivas para el futuro de la humanidad.

- Como es sabido estamos en la era de la **comunicación**, el drástico incremento de la potencia de los sistemas que procesan y transmiten información desde los clásicos tubos de vacío hasta los circuitos integrados y las fibras ópticas, está siendo posible gracias al avance de la ciencia de los materiales para la información y la comunicación.
- Los objetivos en el sector de los materia-

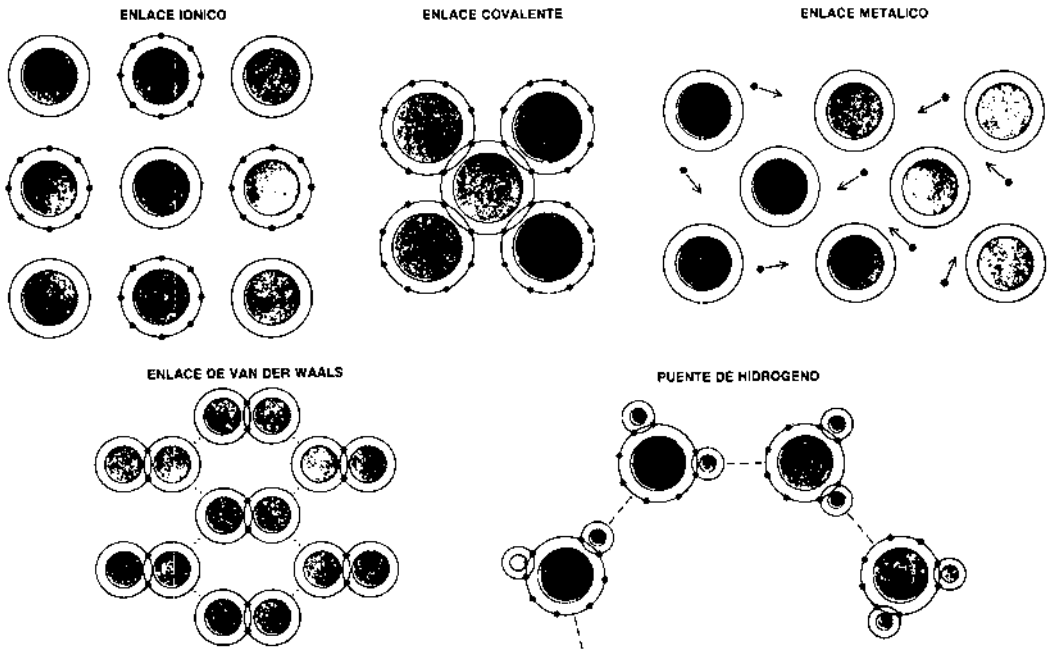


Figura 7.
Clases de Enlaces Químicos.

les para la **navegación aerospacial** relativa a los vuelos subsónico, supersónico e hipersónico, así como a la exploración espacial, pasan por el uso de aleaciones y materiales híbridos de notable ligereza y resistencia mecánica y térmica.

- Materiales para el **transporte terrestre** explica el consumo de cantidades ingentes de compuestos de alta especificidad como son por ejemplo, los duraluminios, los plásticos y los aceros de alta resistencia. La rapidez y seguridad son factores determinantes en la investigación tecnológica de estos materiales.
- Materiales para el aprovechamiento de las **fuentes energéticas**, como es conocido el bienestar económico de una sociedad moderna requiere la captación de energía, su transformación en diversas presentaciones y su consumo de miles de maneras distintas. En todas estas etapas se requieren materiales especiales que cumplan determinadas funciones.
- El enorme desarrollo de los materiales **electrónicos y magnéticos**, entre los que destacaremos los anteriormente citados chips de diferentes clases y finalidades y

los superconductores, entre otros.

- Los materiales **fotónicos**, que han surgido gracias a las ventajas que presenta la transmisión de señales luminosas y así, se están fabricando vidrios ultrapuros, aleaciones de semiconductores con espesores de pocos átomos, etc.
- Con propiedades de extraordinaria resistencia a la tracción, el calor y la corrosión se están investigando nuevas aleaciones **metálicas**.

Igualmente, podríamos extendernos en los nuevos **cerámicos** a los **polímeros** con cualidades sin precedentes gracias a los recientes conocimientos adquiridos sobre la relación entre microestructura y propiedades; a los materiales **híbridos** cuya composición y estructura interior pueden modificarse a voluntad con el fin de adaptar sus prestaciones a las exigencias de su uso, etc.

MATERIALES PARA LA MEDICINA

La Medicina, altamente interdisciplinaria absorbe todos los avances científicos y tecnológicos que le son útiles para su desenvolvimiento.

	MATERIALES ELÉCTRICOS	CERAMICAS	NUEVOS POLÍMEROS	MATERIALES HÍBRIDOS	NUEVOS METALES
ENERGIA NUCLEAR	ELECTRÓNICA RESISTENTE A LA RADIACIÓN	INMOVILIZADORES DE RESIDUOS RADIATIVOS; AISLADORES DE PLASMA			CONTENEDORES PARA RESIDUOS RADIATIVOS; ALEACIONES RESISTENTES A LA RADIACIÓN Y A LAS ALTAS TEMPERATURAS
GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA	SUPERCONDUCTORES	COMPONENTES DE TURBINAS	AISLANTES		HELICES DE TURBINAS COMPONENTES DE SISTEMAS DE VAPOR
ENERGÍA SOLAR	CELULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DE BAJO COSTE	ABSORBENTES SELECTIVOS DE LA LUZ	ENCAPSULACIÓN DE CELULAS SOLARES		
COMBUSTIÓN DE RESIDUOS					METALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN
ENERGÍA GEOTÉRMICA	ELECTRÓNICA DE ALTAS TEMPERATURAS				METALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	IMANES EFICACES SISTEMAS DE CONTROL DE LA ENERGÍA	COMPONENTES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	COMPONENTES DE BAJO PESO PARA VEHÍCULOS	COMPONENTES DE BAJO PESO PARA VEHÍCULOS	ALEACIONES DE ALTAS TEMPERATURAS RECICLADO

Tabla 1: Requisitos de los nuevos materiales que vienen impuestos por las diferentes clases de materiales, (línea superior), y por los distintos sistemas de energía, (columna izquierda); las necesidades están dictadas por las tensiones mecánicas, las temperaturas, las presiones y los entornos químicos en los cuales deben operar.

La aportación de los nuevos materiales en aplicaciones de técnicas e instrumentación médica ha sido espectacular en los últimos tiempos. Por otro lado, una gran parte de los métodos de caracterización de materiales a los que nos hemos referido anteriormente son utilizados con gran profusión en la actualidad, tanto en clínica como en investigación médica.

Sin embargo queremos referirnos a otra vertiente menos espectacular y sofisticada pero de gran interés práctico como son algunos de los nuevos materiales que se utilizan para fabricar sustitutos innovadores y cada vez más biocompatibles con los tejidos humanos que presentan alguna patología o lesión.

Sabemos que cuando se plantea la necesidad de reemplazar una parte defectuosa del cuerpo humano, muchos médicos desearían la utilización de un sustituto artificial en favor del trasplante de un tejido compatible de donante humano. Después de todo, los tejidos y órganos naturales contienen la proporción justa de materiales necesaria para satisfacer las funciones del organismo. Sin embargo, la realización de un trasplante no se cuenta siempre entre las opciones posibles.

Para paliar en parte la necesidad de injertos vivos, muchos investigadores están empeñados en el desarrollo de órganos y tejidos artificiales, esfuerzo que ha resultado particularmente fructífero en las últimas décadas. Entre los factores que han contribuido al éxito citemos el gran impulso en la investigación sobre biomateriales, sustancias no farmacológicas apropiadas para su inclusión en sistemas que potencia o sustituyen las funciones de los órganos y tejidos corporales.

Los biomateriales actuales se prestan a múltiples aplicaciones, desde la sustitución de lentes intraoculares hasta corazones artificiales. Tan importante ha sido el progreso, que no habrá lugar aquí para describir la mayoría de los muy prometedores sistemas y materiales que ya existen en el mercado, o que se encuentran en fase de investigación. Nos limitaremos, por tanto, a algunos ejemplos en los que se han beneficiado del desarrollo de los nuevos materia-

les originariamente destinados para usos ajenos a la medicina.

En un principio, los investigadores se centraron en el desarrollo de materiales de baja reactividad con los tejidos y que provocaban una reacción mínima. El comportamiento inerte constituye aún un objetivo para muchos propósitos, pero no hay nada totalmente inerte en el cuerpo. Más aún, los científicos admiten que no todas las reacciones entre los materiales extraños y el organismo son necesariamente perjudiciales. En cambio, se valora cada vez más algunos materiales muy interactivos. Por ejemplo, varios materiales de implantación forman enlaces químicos con el tejido circundante, lo que estabiliza el implante. Otros materiales los resorbe, (es decir, se descomponen y se absorben), gradualmente el organismo cuando dejan de cumplir su finalidad inicial.

Un campo que se ha beneficiado notablemente de los avances de la ciencia de los materiales es en el desarrollo de elementos reemplazables para el sistema cardiovascular.

Las prótesis valvulares cardíacas han experimentado muchos cambios de diseño poniendo a prueba la biocompatibilidad y la duración de muchos materiales nuevos. Las primeras válvulas mecánicas se fabricaban con acero inoxidable y caucho de silicón; su duración era razonable, pero requerían un tratamiento anticoagulante para prevenir la formación de coágulos de sangre. Hacia los años 70 se introdujo un nuevo modelo: tejidos animales modificados químicamente. Recientemente se han fabricado válvulas con carbono pirolítico, para conferirles una sólida resistencia mecánica y mayor compatibilidad con la sangre.

Por otro lado, en lo que respecta al sistema circulatorio sanguíneo, ya son numerosos los pacientes con obturaciones arteriales que se les ha aplicado un nuevo tipo de prótesis interna de manera a mantener abierta de forma duradera una arteria que se ha vuelto a abrir. Se trata de una especie de tubo pequeño de acero especial que mediante un catéter es llevado a la posición deseada. La prótesis queda finalmen-

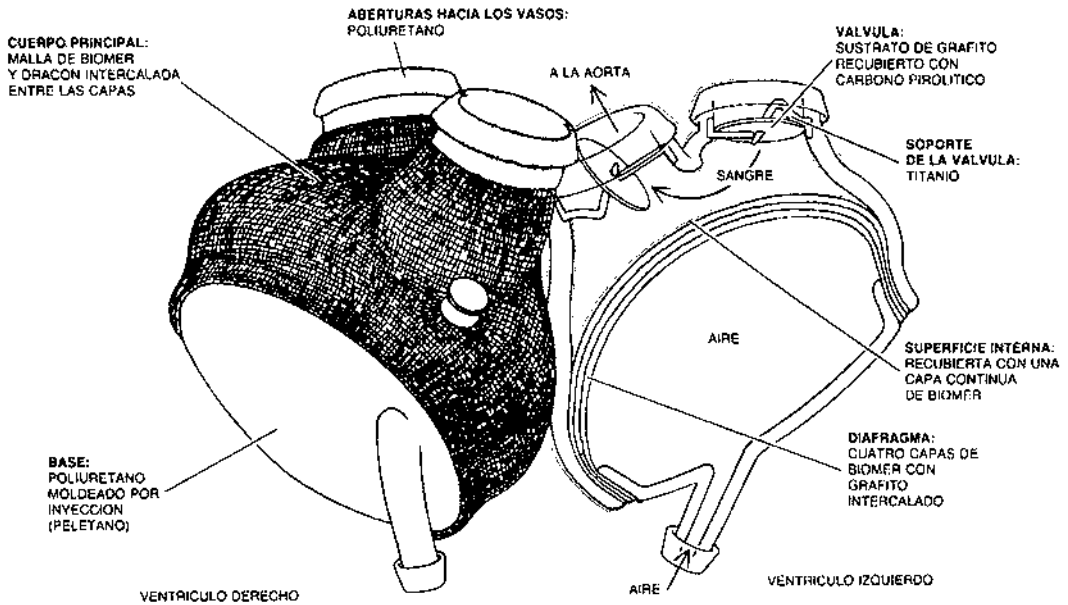


Figura 8. Corazón artificial Jarvik-7, que se ha beneficiado de los avances en el desarrollo de polímeros. Entre los materiales no poliméricos que contiene se utilizan el grafito, el carbono pirrolítico y el titanio.

te recubierta por la pared del vaso sanguíneo; la especial composición del material hace que no se hayan presentado reacciones de rechazo.

Mientras que la mayoría de materiales para el sistema cardiovascular deben ser elásticos y compatibles con la sangre, los materiales utilizados para los implantes óseos tiene que ser rígidos y resistentes a la carga mecánica. Además, es deseable que los implantes óseos residan en el hueso, sin obstruir el proceso de remineralización ósea, mecanismo éste mediante el cual el cuerpo repone el hueso.

Las prótesis metálicas constituyen, desde hace tiempo, el pilar principal de ortopedas y dentistas. Hoy mismo, muchos de los implantes dentales, de articulaciones y de huesos largos contienen titanio o aleaciones de cromo y cobalto.

Actualmente se están utilizando polímeros reforzados con fibras fuertes de grafito; este tipo de implante parece transferir la carga al hueso inmediato, evitando una pérdida excesiva de tejido óseo. Se están

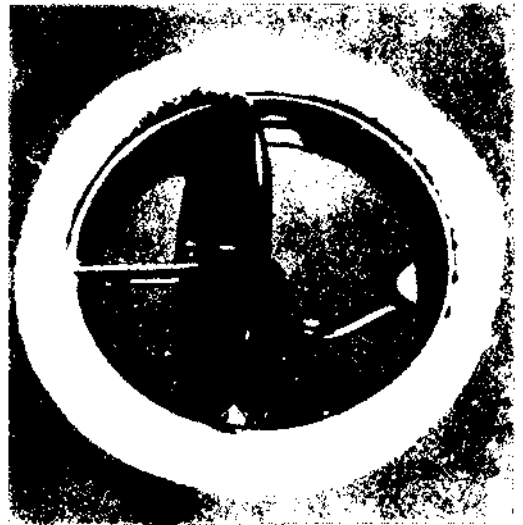


Figura 9. Válvula Medtronic Hall del corazón artificial Jarvik-7, cuyas superficies son lo bastante suaves para impedir la formación de coágulos sanguíneos.

desarrollando también distintos materiales cerámicos, vítreos y vitro-cerámicos, todos ellos "bioactivos", (interactivos), que forman enlaces químicos entre su superficie y el hueso adyacente que estimulan la formación de hueso nuevo. En el futuro, los materiales cerámicos de fosfato de calcio quizá constituyan los sistemas sintéticos más biocompatibles para la sustitución del tejido duro. Se ha comprobado que esos materiales cerámicos no provocan respuesta inflamatoria ni de rechazo por parte del organismo, se unen firmemente al hueso, al parecer mediante mecanismos de cementado normal, y no dificultan la deposición natural de minerales en el hueso circundante.

Las porciones no óseas del sistema musculoesquelético se han beneficiado también de los avances registrados en tecnología de los biomateriales. En particular, los nuevos biomateriales mejoran la reparación de ligamentos y tendones: fibras elásticas y resistentes que unen respectivamente, el hueso al hueso y el músculo al hueso o al músculo.

Una transformación física, tan alejada en principio de la medicina como son las reacciones en estado sólido van a tener una gran importancia clínica. Nos referimos a las aleaciones con memoria (cambios de fase cristalina como consecuencia de variaciones de ordenación atómica del material en función de la temperatura).

Una aplicación actual está en el campo de la prótesis que permite suplir complicadas grapas y aparatos dentales por ejemplo, que se tienen que implantar para reparar roturas, introduciendo la pieza construida con el material de características adecuadas de memoria, para contraerse al adaptarse a la temperatura del cuerpo.

También para la piel humana vienen bus-

cando los investigadores desde hace tiempo sustitutos sintéticos, que revisten especial importancia en el caso de personas que han sufrido quemaduras graves y de gran extensión.

Durante muchos años, los científicos han experimentado con sustitutos poliméricos de piel normal. Hasta hace poco, esos sustitutos no podían impedir la aparición de infecciones y estaban sujetos a reacciones de rechazo. Sin embargo, en los últimos años, varios laboratorios han producido nuevos materiales con resultados muy positivos en la sustitución de la piel, muchos de los cuales se encuentran ya en una avanzada fase de prueba.

Las técnicas utilizadas en la producción de sustitutos de la piel pueden servir de modelo para sintetizar otros tejidos. A este propósito se ha fabricado, además de la piel, una glándula tiroidea sintética.

Se espera también sintetizar un modelo de tejido pancreático cultivando células beta del páncreas (las células que sintetizan la insulina). Por su parte, el páncreas endocrino artificial se encuentra en una fase de desarrollo mucho más avanzada.

Terminaremos diciendo que la obtención de materiales apropiados para los sistemas médicos está siendo producto de una colaboración interdisciplinaria entre investigadores en ciencia de los materiales, bioingeniería, medicina clínica y diversas disciplinas básicas. Este esfuerzo continuado ha dado ya sus frutos, no sólo en los sistemas diseñados para subsanar el fallo de órganos vitales, sino también para afrontar alteraciones menos graves. El trabajo se dirige también hacia el desarrollo de implantaciones y otros dispositivos que posibiliten la resolución de problemas médicos de índole crónica o incapacitadora.

BIBLIOGRAFIA

- Clark. G.L., Applied X-Rays. Mc. Graw-Hill. Co. (1961).
- Climont Montoliu F. Aspectos positivos y negativos de la radiación. disc. recep. Real Academia de Medicina (1984).
- Chawla K.K. Composite Materials Springer-Verlag. (1987).
- Gimen R. H. Deutscher forschung dienst Vol. XX n.º 7 (1988).
- Habraten L. - De Brouwer J. L. Grundlagen der Metallographie, Pres. Acad. Europ. (1968).
- Investigación y Ciencia (ed. de Scientific American) Prensa Científica S.A. N.º 123, (1986).
- Jeol News, Vol. 8 N.º 3 (1970).