

Una llamada de atención sobre un tema central en los currículos de carreras relacionadas con la Química.

Química de materiales: una necesidad curricular

María Asunción Castellanos Román*

Abstract

Materials Chemistry a must in the chemist's syllabus: justification.

Una pequeña fábula

El estadio de prácticas decorado al estilo modernista, luce majestuoso sus enormes estructuras de varilla y concreto, con diferentes motivos elaborados con cemento. El sol está muy intenso, pero a Luis parece no afectarle, sus zapatos tenis se acoplan perfectamente con la pista de tartán. Se pregunta cuándo llegará el día de usar unos tenis que midan las calorías gastadas en la distancia recorrida, al menos eso sería más útil que las chispitas de luz emitidas por los tenis de su sobrina. Pensando en esto, mientras se dirige a los vestidores para irse a su casa se quita sus lentes y nota cómo lentamente se ponen claros otra vez, cuando hace unos momentos lucían un intenso color café bajo el sol, se pregunta ¿dónde está oculto el mecanismo que los transforma una y otra vez sin fallar? Al llegar se le antojan unas palomitas de maíz de microondas —alguien le comentó que es la única forma diferente al fuego de cocinar alimentos, inventada por el hombre desde la prehistoria— esas palomitas le vendrían bien mientras se relaja viendo la tele; pero al serle negado el “poder” (control de la TV), prefiere irse a consultar sus correos electrónicos en su PC, desde la comodidad de su tablero inalámbrico, y saborear su bebida favorita en un vaso térmico —¿será cierto que las bolitas del vaso nunca se degradan y que en el mar causan la muerte por inanición de muchos peces al confundirlas con huevecillos? Al “surfear” la red localiza las noticias de los deportes, los anuncios enfatizan las ventajas de las nuevas raquetas— ¿tendrá algo que ver el grafito de la raqueta de tenis, con la que acaba de ganar su favorito, con el grafito de su lápiz o será simple nomenclatura? Luego consulta el resultado de las carreras de autos; sueña con tener un carro de éstos,

siempre más ligeros para alcanzar mayor velocidad, —¿será por eso de los motores cerámicos (aunque suena más a loza de cocina), la carrocería de fibra de vidrio y todas esas partes de polímeros que dicen sustituyen al acero con grandes ventajas? Mientras, debe conformarse con su coche común y corriente, con el famoso “convertidor catalítico” (figura 1). Éste le preocupa porque debe mantenerlo en condiciones óptimas para que pase la verificación vehicular y no tener que pagar la multa. Con la mirada en el vacío, Luis se imaginaba en Le Mans cuando sonó su radiolocalizador. Le avisan que se presente en la tienda donde trabaja, debe arreglar el dispositivo que desprende el botón de seguridad de la ropa pues los clientes no pueden llevarse su mercancía. Por el camino, entre edificios cubiertos de enormes ventanales de vidrio con película de estaño, se distrae mirando los aparadores y los diversos anuncios publicitarios. De repente, al leer fotocopiado Xerox, se acuerda que debe copiar unos apuntes. ¡Ah sí!, también debe enviar un pedido de camisas por fax y pagar después con su tarjeta de crédito. Llaman su atención los anuncios de unos cursos de actualización en un hospital pues garantizan el aprendizaje sobre técnicas de manejo del endoscopio, elaboración de prótesis e implantes con nuevos materiales (filacos de aleaciones metálicas, globos oculares) y nuevos marcapasos para el corazón con pilas de duración más prolongada; tanto que aprender en dos semanas... ¡Imposible! En fin, no tiene que preocuparse por eso, mañana será otro día en la universidad.

En todos los materiales y dispositivos mencionados anteriormente existe un común denominador: todos son materiales, ya sea tradicionales o avanzados, y en todos ellos la QUÍMICA DE MATERIALES fue y es el factor determinante para su diseño, expansión y producción. Moraleja: si Luis quiere contestar sus preguntas debe conocer esta ciencia.

Algo de historia

La Química de Materiales es la última subdisciplina de la química en emerger y consolidarse con autonomía de las demás. Finalmente se desplantó de la Ciencia de Materiales, aunque previamente, estuvo

* Facultad de Química, UNAM, México, D.F. 04510.

Correo electrónico: asumary@servidor.unam.mx

Recibido: 20 de agosto de 1998.

Aceptado: 21 de octubre de 1998.

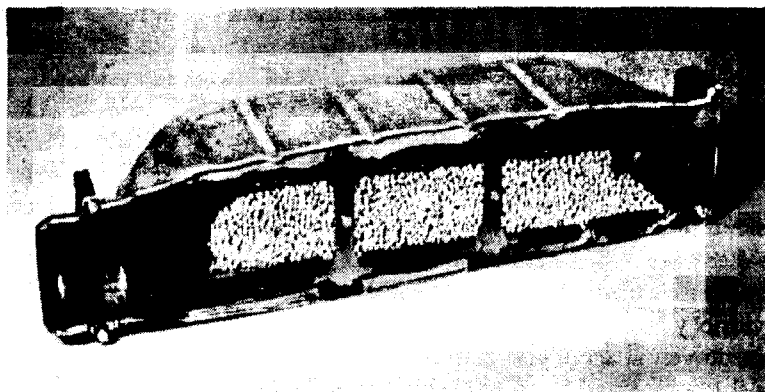


Figura 1. Convertidor catalítico de un automóvil (*MRS Bulletin*, 23, 5, 1998).

involucrada parcialmente en la Cristalografía (nombre que debiera abandonarse por irreverente pues no existe una líquidoquímica o una gasoquímica: Evans, 1966) química inorgánica estructural, química del estado sólido y otras.

Los antecedentes de la Química de Materiales se remontan a las primeras épocas de la existencia del hombre. Se puede afirmar que en los pasados 60 años la humanidad ha presenciado la introducción de tantos nuevos materiales como quizá nunca vio en todos sus aproximados 5,000 años de existencia como civilización; ya que la búsqueda de nuevos materiales con aplicaciones definidas no ha agotado el ingenio del ser humano (Allen, 1991). Es un hecho que la ciencia de la Química, nació como la Química de Materiales: es casi seguro que en las fogatas hayan observado el endurecimiento del lodo o la fusión de las arenas para presenciar las primeras reacciones químicas en estado sólido que dieron paso a las industrias de la cerámicas y el vidrio.

Las pinturas de las cuevas de Lascaux en Francia realizadas hace aproximadamente 20,000 años y la estatuilla de la Venus de Willendorf, en Austria, esculpida en roca caliza hace unos 25,000 años, son consideradas como unas de las obras de arte de mayor antigüedad (Carter, 1978). Desde entonces el hombre buscó en su entorno los materiales más accesibles, para su utilización y confort, tales como zaleas, pieles, huesos, cuernos, colmillos, conchas, troncos y ramas; es fácil imaginarse todo esto convertido en ropa, cobertizos y armas para defensa; aunque es probable que la necesidad de rebanar la carne haya sido el mayor acicate para descubrir en el pedernal el primer material que por fractura en los bordes o desportilladura les permitiera tener un cuchillo rudimentario o tal vez lo utilizaron previa-

mente como simple mazo o martillo, éste a lo mejor, luego evolucionó a una hacha. Los únicos materiales inorgánicos utilizados fueron las rocas, siendo los materiales que han prevalecido por mayor tiempo en la humanidad. La manifestación de las primeras civilizaciones en Mesopotamia hacia el año 3500 a.C. significó el fin de la Edad de Piedra —por lo menos en esta parte del mundo—, pues al cabo de 1000 años de establecidas, los sumerios comenzaron a trabajar el bronce y con ello se inicia la Edad del Bronce. No obstante, ellos elaboraron también objetos de ornamentación manufacturados en oro, plata y lapislázuli. Las casas de sus personajes eran construidas con ladrillos de barro cocidos en hornos (Carter, 1978). Una tras otra, distintas eras transcurrieron hasta llegar al siglo XIX con materiales como maderas, vidrios, porcelanas, cemento, lana, ixtle, cáñamo (considerado material estratégico en la navegación) y otros materiales tradicionales.

A partir del siglo XX, los procesos innovadores para nuevos materiales estuvieron fuertemente relacionados con la tecnología. El cambio en los últimos años, durante el cual hemos vivido y disfrutado de tantos materiales, se puede atribuir a un desarrollo coherente de la síntesis química y de los modelos de enlace químico, que en menos de 80 años se ha desarrollado tanto. En los últimos 35 años se ha añadido al conocimiento de la síntesis química un entendimiento más profundo de los mecanismos de reacción química, la determinación precisa de estructuras químicas a nivel tridimensional con modelos moleculares de llenado del espacio. Asimismo, los sistemas de modelado por computación para conjuntos de moléculas o macromoléculas ya se tienen disponibles en los últimos 25 años, no solamente para revelar la estructura de nuevos materiales sino también para juzgar la viabilidad de cualquier ruta sintética hacia estructuras hipotéticas (Allen, 1991). Con la simulación molecular, haciendo uso detallado de modelos moleculares y conjuntos de moléculas, es posible predecir propiedades químicas, físicas o mecánicas a través de computadoras; con el ahorro que esto significa al compararse con la experimentación en el laboratorio. Esto ha encontrado aplicaciones por ejemplo en arcillas y zeolitas (sólidos inorgánicos de poro controlado) ambas de enorme interés como catalizadores en la industria petroquímica.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la búsqueda de respuestas, a cuestiones prácticas importantes, impulsó la aplicación de la química en el mundo real; esto ha tenido como resultado acelerar

el interés por la Química de Materiales y en mejorar su metodología, con lo cual ha salido muy vigorizada.

Sobre las definiciones

Durante esta década se comienzan a escribir varias definiciones para la Química de Materiales:

- La química relacionada con la síntesis, procesado y análisis de materiales.
- La química relacionada con la síntesis, estructura, propiedades y aplicaciones de los materiales.
- Química de Materiales es una visión amplia, químicamente orientada hacia los sólidos cómo son preparados, sus características físicas, químicas y sus propiedades.
- *Grosso modo*, la región de traslape entre la frontera macroscópica de la química (la ciencia molecular) y la frontera microscópica de los materiales reales (una ciencia microscópica).

En todas ellas se destaca la orientación hacia el estudio de los materiales sólidos. Al considerar cualquiera de las definiciones anteriores, es obvio que Química de Materiales siempre ha sido una parte de la Química. De hecho, se estima que un tercio de los químicos trabajan en esa área (química de polímeros, pigmentos, química de superficies, química del cemento,...). También se enfatizan la síntesis y la caracterización de materiales, que a primera vista parecerían ser lo mismo que en la química; pero paralelo a ella, existe el desarrollo de nuevos conceptos, nuevos métodos de síntesis para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de caracterización originales exclusivos para sólidos (Interrante *et al.*, 1995).

¿Cuáles materiales sólidos?

Los materiales sólidos comprenden, de manera general, a los sólidos inorgánicos, orgánicos, metales, minerales, polímeros y para mencionar algunos como: materiales biomoleculares —sustancias naturales o sintéticas, con propiedades de materiales novedosos que utilizan o mimetizan fenómenos biológicos—, materiales estructurales —nuevas aleaciones, polímeros, cerámicos—, materiales electrónicos y fotónicos —que utilizan fotones en vez de electrones para transmitir y procesar señales— (figura 2), materiales magnéticos —imanes duros, suaves, magnetoópticos, como medios de almacenamiento de datos, ferritas—, materiales superconductores —orgánicos e inorgánicos, superconductores magnéticos— ya sean amorfos o cristalinos.

Es tan diversa la variedad de estructuras complejas que exhiben las sustancias inorgánicas, como sus correspondientes materiales. Los silicatos están constituidos por tetraedros. Dependiendo del número y de la forma en que se compartan los vértices, es posible generar aniones gigantescos ya sea en forma lineal o fibrosa, de láminas, estructuras tridimensionales o en completo desorden. En todos ellos y según sean los átomos metálicos que intercalen, darán como resultados distintos materiales sólidos (Allen, 1991).

Con el desarrollo de nuevos tipos de compuestos orgánicos con nuevas propiedades electrónicas está surgiendo el área de materiales de electrónica molecular en la cual los nanotubos de carbón son la moda del 98 (figura 3). Sin olvidar los fullerenos, los sólidos celulares... La lista es muy extensa.

Acerca de las síntesis y los procesos

Si como se dice, estamos viviendo en la Era de los Materiales, esto se debe sin duda alguna a la verdadera explosión en la diversidad y riqueza de las nuevas técnicas de síntesis química, muchas de las cuales se aplican en la industria, verbigracia para la deposición y crecimiento de películas, estructuras laminares o en capas, fibras y monocristales; síntesis a bajas temperaturas vía precursores, rutas de sol-gel, *chemie douce*. Nuevos procesos como el Proceso Lanxide utilizado en la producción de un material compuesto de aluminio metálico y óxido de aluminio para producir fibras con propiedades mecánicas óptimas. El proceso de Czochralski para la producción de cristales de silicio de varias pulgadas en diámetro y varios pies de largo, del cual se tajan discos de silicio (wafers) para hacer los chips microelectrónicos. La técnica de epitaxia de haz molecular (*molecular beam epitaxy*, MBE) para crecimiento de sólidos con base en capas atómicas individuales.

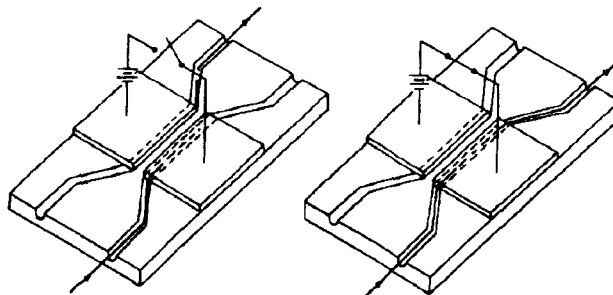


Figura 2. Interruptor electroóptico de LiNbO_3 . La intensidad de la luz se utiliza por sí misma para transferir la radiación entre las trayectorias. (L. Smart & E. Moore, *Química del Estado Sólido*, Addison-Wesley Iberoamericana, 1995).

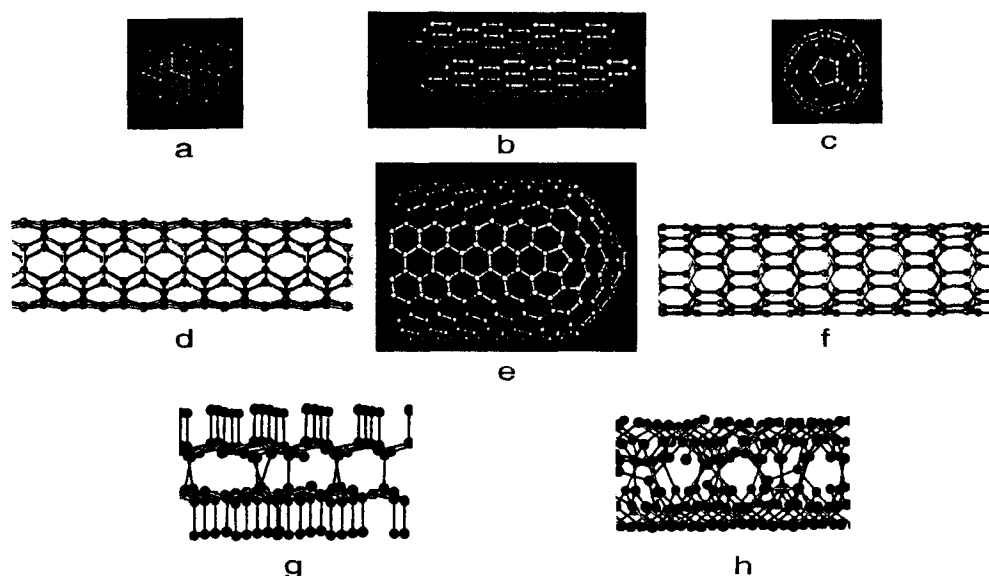


Figura 3. Formas alotrópicas del carbono: a) diamante; b) grafito; c) fullereno; d) nanotubo conductor; e) nanotubo cerrado en un extremo; f) nanotubo semiconductor; g) y h) planos (111) y (100) de una película de diamante (Modificado de *Science*, 281, 5379, 1998 y *MRS Bulletin*, 23, 9, 1998).

Los polímeros han sido muy beneficiados con los adelantos en la química: la capacidad actual de sintetizar se aplica ventajosamente en el diseño racional de moléculas para conseguir las propiedades deseables; por ejemplo, controlar la longitud de las cadenas y su composición, permite en materiales muy bien definidos mimetizar patrones de sistemas biológicos. De especial interés es el Kevlar, polímeros compuestos, también adhesivos, absorbentes y membranas. Se espera que para el año 2000 el plástico reemplace la mitad del acero en varios de sus usos (Rao, 1993).

Las propiedades deseables en un material son dependientes además de la estequiometría, de factores como defectos a escala atómica y de la microestructura —arreglo de átomos a la escala de micrómetros, 10^{-6} m—, y éstos son influenciados por el tipo de procesado. Así, partes por millón de átomos como ‘impurezas’ debidamente dosificadas, o sea el dopado, en los semiconductores alteran drásticamente su conductividad eléctrica y según el tipo de dopamiento podrán destinarse para su uso como transistores, chips de silicio, termistores o por su manejabilidad, como el selenio, el fotoconductor que se utiliza en las fotocopiadoras (figura 4); la variación en la concentración de las vacantes de oxígeno controla las propiedades electromagnéticas (superconductividad en los compuestos tipo perovskita). Es aquí donde la

Química de Materiales realmente se fortalece, al ofrecer medios de control en el arreglo de los átomos desde la nanoescala hasta la macroescala. Sin embargo, no se debe restar importancia al método cerámico tradicional, de reacción química entre sólidos a muy altas temperaturas, pues a nivel industrial se utiliza continuamente para refractarios —sin los cuales no habría aceros, cementos o vidrios.

Las técnicas de síntesis en fase gaseosa —Deposición Química de Vapores es la más favorecida— se aplican en la producción de una gran cantidad de materiales tecnológicamente importantes, como las fibras ópticas indispensables en las comunicaciones y que en muchos casos están reemplazando a los cables metálicos. La información se transmite a través de las fibras de SiO_2 , casi siempre de un diámetro promedio de $60 \mu\text{m}$ por donde viaja la luz láser. La aplicación industrial de las películas de diamante se debe a que el diamante posee una dureza excepcional, alta conducción térmica, baja conductividad eléctrica, es químicamente inerte y tiene alta transparencia óptica, propiedades que lo hacen el material ideal en aplicaciones como el endurecimiento de herramientas cerámicas de corte y mejorar la resistencia a las rayaduras en lentes. Los diodos emisores de luz (*light-emitting diodes*, LED) LED's como luces indicadoras, se utilizan en miles de utensilios y dispositivos y son componentes esenciales en los equi-

pos para tocar discos compactos, relojes digitales, impresoras lasers, sensores de color, de oxígeno, de humo (Ellis *et al.*, 1993). En los países desarrollados, la síntesis de materiales, la tecnología del procesado en materiales avanzados como materiales cerámicos, materiales compuestos y metales de alto desempeño, son de las más altas prioridades. Allí, además es un hecho que la industria ha reconocido la necesidad de producir materiales nuevos y tradicionales más económicos, con mayor reproducibilidad y calidad que con la que cotidianamente los obtienen.

Los conceptos

Conceptos que son naturales y particulares en el estado sólido, como los defectos puntuales, laminares, dislocaciones, etcétera, no existen en otros estados de agregación de la materia y casi siempre se debe a ellos la presencia de propiedades de interés tecnológico en un material (West, 1984). Por ejemplo el monocristal de yoduro de sodio dopado con talio se convierte en el fósforo de un detector de centelleo para rayos X. La respuesta a la pregunta sobre la transparencia del vidrio, basada en la Teoría de Bandas, mereció el Premio Nobel de 1977. La Teoría de Bandas (una banda se considera como una colección de orbitales, deslocalizada a través del sólido, con los orbitales tan cercanamente juntos en energía que casi forman un continuo) proporciona explicaciones acerca de estructuras, propiedades y enlace de un muchos sólidos inorgánicos. La factibilidad de sintetizar compuestos químicos con anchos de banda prohibida (la energía de separación entre la banda de valencia y la banda de conducción) diseñados expreso se ha hecho realidad en la fabricación de diodos láser multicapas y diodos emisores de luz. En especial, las soluciones sólidas (sólido puro homogéneo en el cual un tipo de ion \rightarrow átomo—sustituye al azar a un ion \rightarrow átomo—de la estructura cristalina) que exhiben la estructura de la blenda (ZnS) ofrecen la posibilidad de modular las longitudes de onda a valores fijos. Se menciona ya la existencia de una ingeniería de la banda prohibida. Nuevos conceptos para explicar efectos novedosos de los nuevos materiales, son esenciales para un sinnúmero de aplicaciones.

Técnicas de caracterización

A medida que los materiales se sintetizan en forma más pura y son controlados cada vez más microscópicamente, los requisitos para su caracterización se tornan aún más exigentes. El estudio de la cantidad,

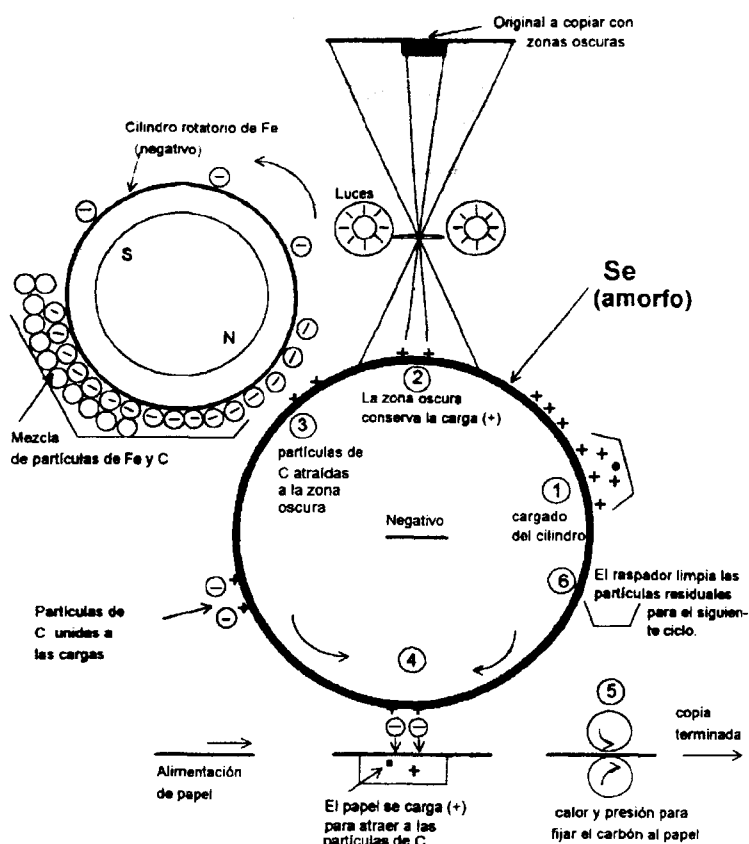


Figura 4. Diagrama de una fotocopiadora Xerox (modificado de *MRS Bulletin*, 23,[5], 1998).

localización, identificación de cada constituyente atómico *in situ* en el tiempo real y a veces durante el proceso de fabricación, requieren ahondar constantemente en la investigación acerca del estudio y la caracterización de sólidos (National, 1989).

Entre los métodos de caracterización específica y cotidiana para sólidos están: FTIR, UV, RMN, DTA. Otros métodos desarrollados para el estudio de materiales sólidos como difracción de neutrones, retrodispersión de Rutherford, EDAX, espectrometría Auger, siguen incrementándose continuamente (Cheetham & Day, 1987). No obstante, la técnica de DRX, originada con el experimento de Bragg en 1913 y con la cual fue posible determinar la estructura del NaCl, la seda, estudiar la hélice alfa, la vitamina B, los silicatos, la penicilina, etcétera, etcétera, es la que hoy por hoy y en cualquiera de sus modalidades sigue predominando (Castellanos, 1993). Sin embargo, la llegada del microscopio de barrido por efecto

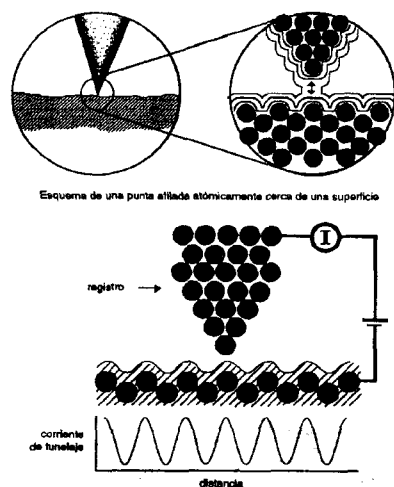


Figura 5. Esquema del registro en el STM. Para mover un átomo, la punta se coloca sobre el átomo y se mueve a través de la superficie a una velocidad de $4\text{Å}/\text{seg}$ (adaptada de Ellis *et al.*, 1993).



Figura 6. La escultura Esperanza-Desesperanza de Olivier Deschamps, muestra a una mujer arrodillada con un niño en el piso (aleación NiTi en su fase de martensita). Después de asolearse la escultura se transforma (NiTi ahora se encuentra en la fase de austenita) en la mujer que eleva a su niño al cielo (Ellis *et al.*, 1993).

túnel (Scanning tunneling microscope, STM) ha revolucionado el estudio de la materia porque no sólo hace realidad el observar imágenes individuales de los átomos superficiales sino también literalmente mover átomo por átomo; como lo hicieron los investigadores de una compañía para escribir las siglas de su nombre con átomos de Xe sobre una superficie de níquel. Hay una tendencia hacia la miniaturización ya sea en laptops, celulares o radiolocalizadores y los equipos para análisis instrumental no quedan afuera, se han propuesto sensores de pH y cromatógrafos de gas para introducirlos al torrente sanguíneo y ejercer un monitoreo dinámico. De hecho con el STM (figura 5) se fabricó una “nanobatería” de $1200 \times 1200\text{Å}$ (aproximadamente el tamaño del virus del

resfriado) capaz de generar 0.02V (Ellis *et al.*, 1993).

Es obvio que una caracterización adecuada de materiales sólidos exige un esquema estratégico basado en el nivel de detalle requerido, la teoría del estado sólido y la práctica para la utilización de los instrumentos de análisis de la composición, de la pureza y de la estructura.

Diseño de materiales

La IUPAC, en 1993, reconoce el papel de los químicos en el diseño, síntesis y desarrollo de materiales avanzados, donde la contribución de los químicos se orienta fundamentalmente a la síntesis, estructuras, propiedades y reactividad; en proporción menor hacia las aplicaciones, se deja el estudio del procesado a los investigadores en ciencia de materiales (Rao, 1993).

El diseño de materiales en la estructura deseada y con las propiedades preconcebidas es una de las más importantes facetas de la química avanzada de materiales. ¿Quién no miraría embelesado la estatua de Deschamps “Esperanza-Desesperación” que gracias al metal con memoria –aleación NiTi– cambia de forma según la temperatura del día? (figura 6) Estos materiales “inteligentes” capaces de responder a estímulos externos, ya sea mecánicos o térmicos son muy apreciados en la construcción de naves espaciales y marítimas, asombrosos edificios “inteligentes” y tal vez en un no muy lejano futuro hospitales y hasta plataformas petroleras.

Desde esta perspectiva hay dos formas diferentes de abordar materiales: 1) estudiar síntesis de estructuras orgánicas, inorgánicas o estructuras bioquímicas que ofrezcan características novedosas de acuerdo con un diseño y 2) investigar la tecnología avanzada donde habiendo caracterizado el material, se estudien las propiedades y se investigue el procesado para llegar al dispositivo final (National, 1989).

Así, Química de Materiales constituye el factor común entre los diversos grupos de investigación: película delgada, nanopartículas, catalizadores, semiconductores, medios magnéticos... En la medida que sus productos manifiesten propiedades físicas interesantes.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el impulso que ha recibido la investigación en materiales avanzados, se debe fundamentalmente a la carrera armamentista, los viajes espaciales y las crecientes necesidades planteadas por la sociedad moderna. Se predice que para el siguiente siglo, el control de las propiedades de la luz invadirá muchos aspectos de

la vida, habrá una revolución óptica en las comunicaciones, la medicina, energía, manufactura, etcétera (*MRS Bulletins*, 1998)

A manera de ejemplo

Muy familiar para nosotros es el automóvil, que constituye la muestra más cercana a los consumidores y la más representativa de una máquina económica (comparada con los Apolo!) de alta tecnología, que incorpora gran cantidad de materiales avanzados en aplicaciones cotidianas. Estas máquinas deben funcionar en condiciones climatológicas extremas y resistir diferentes conductas de manejo. La investigación en este campo se orienta a diseñar vehículos con alto rendimiento en el consumo de combustible paralelo con un mínimo de emisiones, esto a través de la reducción global de su peso. La meta, según patrones americanos, es de 82.5 millas por galón. Esto demanda mayor investigación en Química de Materiales para, entre otras cosas, mejorar los componentes de cerámica estructural como SiC, Si₃N₄, AlN en los motores de combustión interna; plásticos de fibra reforzada para tanques de combustible, defensas, acabados de interiores, lámparas, ventiladores, etcétera. (Narula *et al.*, 1996) Los resultados de estas investigaciones son patentes año con año, en la presentación de los nuevos modelos de cada compañía. En el 97, ya se exhibió el primer carro comercial con motor de baterías de estado sólido y para la próxima década se predice la aparición de los "automóviles inteligentes" que evitarán los choques, indicarán condiciones climáticas, entre otras cosas.

En qué niveles impartir química de materiales?

Por la rica diversidad de ejemplos tan cotidianos y cercanos a los niños y jóvenes, la Química de Materiales es excelente para promover el gusto por la Química desde muy temprana edad, con los modelos apropiados; existen caricaturas extranjeras explicando el fenómeno de la fractura a nivel atómico para un vidrio y un cristal. Familiarizarlos con el vocabulario específico para sólidos, por ejemplo hablar de fricción cuando se enciende un cerillo o su influencia en la velocidad cuando resbala una canica o una pelota de goma sería muy conveniente.

Lo ideal sería impulsar su enseñanza desde primaria pero es indispensable contar con algo formal en la Enseñanza Media Superior, 30% siquiera del curso de Química General. Al relacionar las cosas con las que convive y utiliza a diario el joven desarrollará mayor interés por la Química acorde a su época.

Por su relevancia, en todos los aspectos, debería formar parte del tronco común de todas las carreras de Química, especialmente donde se haya establecido el sistema de Laboratorios Integrales (cada experimento involucra tres o más asignaturas). Los experimentos de Química de Materiales, por ser tan interdisciplinaria, son ideales para ello. En su aplicación, se tiende a olvidar de las divisiones tradicionales de la Química como orgánica, inorgánica o fisicoquímica.

Muchos conceptos relacionados con estructuras, enlace y propiedades son comunes a materiales compuestos de redes inorgánicas, moléculas orgánicas o cadenas de polímeros por lo que ofrecer una perspectiva global, más integrada, puede contribuir a un aprendizaje que permita derivar en aplicaciones inmediatas de sus conocimientos. Los egresados tendrán nociones claras acerca de las síntesis y procesamiento de materiales en la industria.

¿Por qué incluir química de materiales en los planes de estudio?

La Química de Materiales es la subdisciplina con el crecimiento más dinámico de mayor importancia académica y enorme proyección económica de todas las subdisciplinas de la Química. Como lo demuestra el que, por ejemplo, las revistas relacionadas con este campo están proliferando: *Journal of Materials Chemistry*, *Advanced Materials*, *Chemistry of Materials*, *New Materials International*,... Los trabajos y el número de suscripciones van en aumento. En general el número de publicaciones en el área de Química de Materiales o relacionada, ha tenido una significativa tasa de crecimiento, mayor que el total en todas las áreas de la Química durante los pasados 28 años (Interrante *et al.*, 1995; National, 1993).

El análisis químico es una contribución única y desde el punto de vista de Química de Materiales, se cuenta ya con la capacidad para realizar análisis a un nivel sin precedentes de resolución. Esto se debe incluir en los programas de Química, esta enorme capacidad de análisis no puede pasar desapercibida. Siempre es posible realizar convenios para la utilización comunitaria de instrumentos tan caros.

La síntesis es el corazón de la Química de Materiales. Todos podrán medir propiedades de los materiales pero sólo la Química los sintetiza.

En los países industrializados, se realizaron diversas acciones para diagnosticar el alcance y la importancia de los materiales en el marco del panorama nacional e internacional. Estos resultados die-

ron origen a una serie de programas de envergadura gigantesca para impulsar el diseño y la fabricación de nuevos materiales; con la recomendación especial de promover la investigación de nuevos métodos de síntesis química y caracterización de materiales. Confían en que en la medida en que la Química de Materiales se valore y reconozca en las universidades, como un factor de desarrollo de tecnologías críticas, se irá creando la necesidad urgente de una vinculación firme y real del trío gobierno-industria-universidad (National, 1993; Kodama, 1991).

Si en un país es imposible la producción de materiales avanzados seguramente habrá materiales tradicionales; pero de cualquier forma es vital, indispensable e inaplazable promover la cultura y la educación en la Química de Materiales, aun dentro de la comunidad misma de los químicos y en la sociedad en general. Su ritmo de crecimiento es vertiginoso.

Se debe estudiar Química de Materiales porque vivimos y nos desenvolvemos en un mundo de materiales sólidos, si esto no fuera suficiente, otras razones serían las siguientes:

- En beneficio de la salud humana (Biomateriales, desechos radiactivos)
- Para compensar por el hecho de que en el pasado, se ha ignorado flagrantemente en muchos programas de Química.
- Por seguridad nacional (materiales estratégicos, estructurales, etcétera.)
- Para destacar el papel de la Química en la Ciencia e Ingeniería de Materiales.
- Porque más del 90% de los elementos químicos son sólidos a temperatura ambiente.
- Porque muchos compuestos químicos existen sólo como sólidos, por ejemplo los compuestos no-estequiométricos (fase sólida estable en un intervalo de composición) en los cuales se presentan muchas propiedades de interés tecnológico; óxidos y haluros, simples y complejos, compuestos en diversos grados de hidratación.
- Todos los polimorfos —compuestos con diferentes formas cristalinas para una misma fórmula química— son sólidos. El rutilo (TiO_2) se utiliza abundantemente en pinturas, pero la anatasa (TiO_2) es indeseable.

Hay muchos cationes de interés químico e industrial que sólo existen en estado sólido: Cr^{4+} , Cr^{5+} , Cu^{3+} , Ni^{3+} , Fe^{4+} , Pb^{4+} , Au^{1+} , Au^{3+} .

La determinación de la estructura cristalina es la única que permite la medición de los ángulos y las

distancias de enlace interatómicas, que fundamentan los estudios teóricos del enlace con relación a las propiedades físicas (Adams, 1974; Wells, 1975; Hannay, 1974).

Es tan vasto el reino de los materiales sólidos y los químicos están tan involucrados en sus síntesis, modificación, sustituciones, reactividad, purificación, caracterización de la arquitectura molecular ya sea en una, dos o tres dimensiones para conocer a fondo la estructura de los compuestos y poder jugarla mejor con la medición de sus propiedades físicas y tecnológicas, diseño y producción de bienes de uso, que la Química de Materiales seguirá siendo un factor decisivo en el diseño y producción de nuevos materiales y nuevos procesos.

Cualquier esfuerzo para incorporar en el currículum del área química, la Química de Materiales ¡la química del mañana! será ampliamente recompensado. ▣

Bibliografía

- Adams, D.M., *Inorganic Solids*, John Wiley & Sons, Chichester, 1974.
- Allen, Sir G. J. *Mater. Chem.*, 1991, 1(1), 1-3.
- Carter, R., *The Coming of Civilization*, Macdonald Educational Ltd., London, 1978.
- Castellanos Román, M. A., *Importancia de la Difracción de Rayos X en la Química*, 4(4), 208-217, 1993.
- Cheetham, A.K., Day, P., *Solid State Chemistry Techniques*, Clarendon Press, Oxford, 1987.
- Ellis, A.B., Geselbracht, M.J., Johnson, B.J., Lisensky, G.C., and Robinson, W.R., *Teaching General Chemistry. A Materials Science Companion*, American Chemical Society, Washington, D.C., 1993.
- Evans, R.C., *An Introduction to Crystal Chemistry*, 2nd Ed., Cambridge at the University Press, 1966.
- Hannay, B., Ed.; *Treatise on Solid State Chemistry: The Chemical Structure of Solids*, vol. I, Plenum Press, New York, 1974.
- Interrante, L.V., Caspar, L.A., Ellis, A.B., Ed., *Materials Chemistry. An Emerging Discipline*, Advances in Chemistry Series No. 245, American Chemical Society, Washington, D.C., 1995.
- Kodama, F., *Analyzing Japanese High Technologies: The Techno Paradigm Shift*, Pinter Pub., London, 1991.
- Materials Research Bulletins*
- Narula, C.K., Allison, J.E., Bauer, D.R. and Gandhi, H.S., *Materials Chemistry Issues Related to Advanced Materials Applications in the Automotive Industry*, *Chem. Mater.*, 8, 984-1003, 1996.
- National Research Council (USA), Committee on Materials Science and Engineering et al., *Materials Science and Engineering for the 1990s. Maintaining Competitiveness in the Age of Materials*, National Academy Press, Washington, D.C., 1989.
- Rao, C.N.R., Ed., *Chemistry of Advanced Materials. A 'Chemistry for the 21st Century' monograph, IUPAC, Blackwell Scientific Pub., Oxford, 1993.*
- Wells, A.F., *Structural Inorganic Chemistry*, Clarendon Press, Oxford, 1975.
- West, A.R., *Solid State Chemistry and its Applications*, John Wiley & Sons, Chichester, 1984.