

Una ciencia joven ante un siglo naciente*



GUILLERMO AGUILAR SAHAGÚN

En la introducción de su muy interesante libro *El fin de la ciencia. Los límites del conocimiento en el declive de la era científica*, John Horgan plantea —de hecho confiesa— que él mismo se cuestiona cuáles son los límites de la ciencia, si es que hay alguno; si la ciencia es infinita o tan mortal como cualquiera de nosotros, y, en caso afirmativo, si se vislumbra su final próximo. Con estas reflexiones, por demás interesantes, Horgan y sus entrevistados se refieren a la ciencia pura: aquella que el propio autor define como

la búsqueda del conocimiento por el conocimiento mismo... la más noble y valiosa de las empresas humanas. Una lectura como ésta no puede menos de conducirnos, a quienes nos dedicamos a la investigación científica, a plantearnos las mismas o semejantes preguntas y, más aún, a revisar nuestra área a la luz de estas interrogantes. Así, me he cuestionado si la ciencia-ingeniería de materiales se aproxima a su fin o acaso está “agotándose”.

Aun para la ciencia pura, este asunto es sumamente debatido y uno puede encontrarse con opiniones de todo tipo. Así las cosas, quisiera expresar y compartir algunas reflexiones respecto a este asunto y en particular sobre la ciencia-ingeniería de materiales.

Por razones de “edad”, entre otras, la biología, la física, la matemática y la química son ciencias de las que todos hemos oído hablar y que, en mayor o menor grado, hemos estudiado. No ocurre lo mismo con lo que actual-

mente se conoce como ciencia-ingeniería de materiales. Éste es el tema de investigación científica que, hoy por hoy, se cultiva más en el mundo. La mencionada “superdisciplina”, como la denominó David Turnbull, tiene en su haber una serie de datos interesantes sobre los que quiero llamar la atención. De hecho los ubicaré cronológicamente, aunque lo haré —permítaseme la expresión— a trancos muy largos.

a) Desde la aparición misma del hombre, una de las inquietudes primigenias, tan instintivas como el comer, fue la de hallar materiales para subsistir: pieles de animales y hojas de arbustos o árboles para confeccionar vestido con que protegerse de las inclemencias del tiempo, paredes rocosas de cuevas naturales y piedras apiladas para construir viviendas, madera y guijarros afilados para cazar y defenderse, etc. En fin, es fácil imaginar lo que los hombres primitivos debieron hacer para ganar a pulso y muy justificadamente, diríamos, la denominación de *homofaber*.

b) Resulta claro, pues, que por mucho tiempo el *homofaber* acumuló un conjunto cuantioso de experiencias, herramientas y procedimientos que simple y llanamente se sabe que funcionan y resultan útiles en determinadas situaciones, y que resuelven ciertos problemas y facilitan la realización de algunas tareas. Ello se consiguió gracias a lo que en la actualidad llamamos *empirismo*. ¿Cómo funcionan tales instrumentos y procedimientos? ¿Por qué? ¿Qué principios se encuentran detrás de ellos? ¿Pueden mejorar? ¿Habrán maneras más simples de ejecutar las acciones vinculadas con ellos? ¿Más económicas tal vez?, etc. Estas preguntas requieren respuestas, pero si éstas no se obtienen en nada cambiará la utilidad de los recursos mencionados. Variará el desempeño,

* Agradezco la colaboración de Norma Angélica Olivares para preparar este artículo.

pero no la utilidad misma. Para precisar, cabe aquí una definición operacional de materiales.

Materiales: sustancias cuyas propiedades las vuelven útiles en máquinas, estructuras, dispositivos y productos en general. En otras palabras, los materiales son el subconjunto de materia del universo que el hombre utiliza para fabricar elementos que satisfagan algunas de sus necesidades.

c) Las preguntas planteadas dos párrafos atrás han sido las primeras que la humanidad como tal ha tratado de responder. Son muchas y variadas las razones para ello: si un objeto, herramienta o utensilio se mejora, su rendimiento será superior y en consecuencia brindará bienestar directo e inmediato al ser humano que se sirve de ellos; si se simplifica la manera de efectuar una tarea, resultará más cómodo y ventajoso llevarla a cabo; si los resultados de un trabajo se multiplican, la economía prosperará con ahorro de recursos, materiales y esfuerzos.

Debido al empeño de encontrar respuestas para las interrogantes referidas, la humanidad hubo de avanzar enormidades en el diseño y la construcción de herramientas que le facilitarían día a día su quehacer. Fue así como se inició el mejoramiento y la automatización de procedimientos con el consecuente ahorro de esfuerzo y la simplificación de tareas para los individuos, y como se produjeron descubrimientos tan importantes como los de la rueda, el fuego, el arado, la pólvora, el hierro, el acero y muchos otros más. No en vano se habla de las eras evolutivas de la humanidad en función de ciertos materiales: edad de piedra, bronce, etc. En resumen, se puede decir que el *ingenio* del hombre va encontrando la manera de sacar provecho de las cosas, de volverlas útiles.

Ingeniería de materiales: es el estudio, organización y desarrollo de las transformaciones de los materiales con un fin específico y a partir de conocimientos de diversas áreas.

d) Las "ciencias duras" no le son ajenas y de hecho sus fronteras con la química y con la física son, en la práctica, imposibles de definir. Las preguntas de párrafos atrás relativas a la naturaleza de las cosas son las típicas cuestiones que se plantean en la física o en la química. El instrumental y, sobre todo, la metodología son comunes a tales disciplinas y a la ingeniería de materiales. Por ello se llamó a ésta *ciencia de materiales*.

Ciencia de materiales: es el estudio de las relaciones entre la estructura y las propiedades de los materiales, y los métodos para obtenerlos.

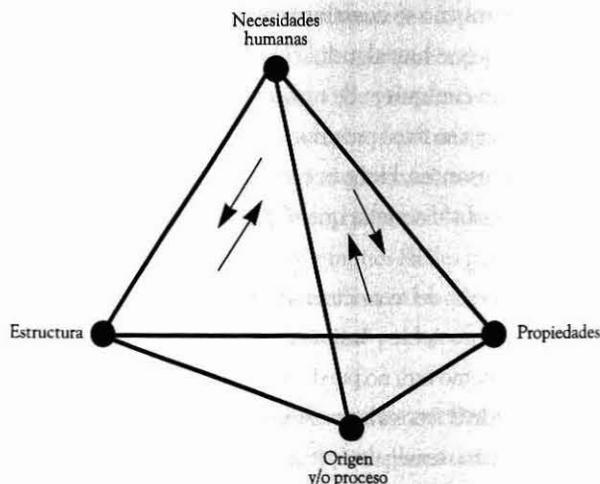
e) El estudio sistemático de los materiales data apenas de la segunda guerra mundial y surge a consecuencia de la

química formal y de la aplicación de la mecánica cuántica al estado sólido, que se traduce en información precisa de las relaciones entre las propiedades y la estructura de los materiales.

f) Fue en 1975 cuando, como resultado de un estudio realizado por iniciativa del Comité sobre Ciencia y Tecnología de Materiales del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos de América, se acuñó la expresión ciencia-ingeniería de materiales.

¿Por qué ciencia-ingeniería de materiales?

Una definición operacional: la ciencia-ingeniería de materiales tiene que ver con la generación y aplicación del conocimiento que relaciona la composición, la estructura y el procesado de los materiales con las propiedades de sus usos y su desempeño.



El meollo intelectual y la definición de este campo del conocimiento se relaciona con algo común a todos los materiales: siempre que se crea, desarrolla o produce uno menos, las propiedades que manifieste son fundamentales. La experiencia demuestra que los rasgos de un material y los fenómenos asociados a él se hallan íntimamente relacionados con su composición y su estructura en todos los niveles, incluidos sus átomos y la forma en que se encuentran acomodados en él. La estructura es el resultado de la síntesis y el procesamiento. Además, el material final deberá realizar una tarea determinada y habrá de hacerlo de manera económica y socialmente aceptable.

Lo que define el campo de la ciencia-ingeniería de materiales son entonces las interrelaciones entre propie-

dades, estructura, composición, síntesis, procesamiento y desempeño de un material. El tetraedro de la figura 1 pretende ilustrarlo. Adicionalmente, el campo de la ciencia-ingeniería de materiales tiene relaciones muy estrechas tanto con disciplinas académicas como con laboratorios de investigación y desarrollo y los llamados "pisos" de las fábricas. Tiene que ver con áreas tan diversas como la mecánica cuántica, por un lado, y la manufactura y las necesidades sociales, por otro. (Véase gráfica.)

¿Tiende a extinguirse la ciencia-ingeniería de materiales?

Una pregunta equivalente sería si la humanidad está por renunciar a considerar necesarios materiales biodegradables y fuentes de energía menos contaminantes y más eficientes, mejores transportes, comunicaciones de mayor alcance, equipos que auxilien a la medicina, etc. Todo esto puede requerir no sólo mejoras y desarrollos cada vez más complejos, sino también —¿cómo saberlo?— una o varias "grandes ideas", además de exigir *La Respuesta a La Pregunta*, según el lenguaje de Penrose.

En busca de la respuesta más objetiva para la pregunta planteada, referiré a continuación algunos hechos que sitúan la ciencia-ingeniería de materiales en el final del siglo XX.

El carácter y la importancia del campo han quedado claros cuando, por tres años consecutivos —1985, 1986 y 1987—, el Premio Nobel se adjudicó a los responsables de tres grandes avances de la ciencia-ingeniería de materiales:

1. En 1980, en el curso de estudios fundamentales del movimiento de los electrones en la superficie de semiconductores, se descubrió un hecho enteramente nuevo e insospechado: el efecto Hall cuántico. Esta investigación fue motivada en gran parte por el enorme interés técnico respecto al comportamiento de los electrones en las cercanías de la superficie de los semiconductores. Los experimentos fueron posibles gracias a que muy recientemente se habían descubierto métodos para preparar superficies con propiedades en extremo controladas. De hecho, en la actualidad aún se investiga la dinámica de los electrones superficiales, fenómeno donde el efecto Hall reviste gran importancia.

2. A principios de la década de los ochentas, se desarrolló un nuevo tipo de microscopio: el de tunelaje. La base de este instrumento es un efecto de la mecánica cuántica consistente en que los electrones que inciden por un lado

sobre una barrera, en vez de ser rebotados, como ocurriría en la mecánica de Newton, de pronto aparecen del otro lado de la barrera, es decir que la han atravesado. Esta técnica proporciona información impresionantemente precisa acerca de las posiciones de los átomos individuales sobre una superficie. Con este microscopio se tiene la capacidad de detectar desplazamientos del orden de 1 por ciento de la distancia interatómica. Las aplicaciones de este instrumento se han extendido a la física, la electroquímica y la biología.

3. El fenómeno de superconductividad consiste en lo fundamental en que un determinado material pierde su resistencia eléctrica a una temperatura determinada. Se descubrió en 1911 en el elemento mercurio, por cierto el único metal que a temperatura ambiente es líquido. La superconductividad se manifiesta cuando la temperatura es de 4.3K (268.7°C por debajo de la temperatura de congelación del agua), es decir a una temperatura sumamente baja: tan sólo 4° por encima del cero absoluto. Obviamente, observar tal fenómeno a temperaturas mayores ha sido uno de los sueños del mundo científico-tecnológico. Las temperaturas a que se había examinado la superconductividad eran, hasta 1986, menores a 24K (249°C por debajo de la temperatura de congelación del agua), lo cual representaba enormes dificultades tanto para observarlo como para utilizarlo en aplicaciones prácticas a costos razonables, ya que sólo se alcanzan tan bajas temperaturas mediante helio líquido y se requiere alta tecnología tanto para obtenerlo como para manejarlo. Así pues, aunque las posibles aplicaciones de la superconductividad se advirtieron desde el descubrimiento mismo del fenómeno, concretarlas parecía muy remoto y se planteó como un gran reto para la ciencia-ingeniería de materiales y como gran demanda de la humanidad el hallazgo de materiales superconductores a temperatura lo más alta posible, incluso a la del ambiente. En su intento por responder a tal expectativa, la ciencia-ingeniería de materiales obtuvo en 64 años materiales superconductores a 23.4K, es decir tan sólo alrededor de 20K por encima de la llamada temperatura crítica del mercurio. De pronto, después de trece años, se consiguió un material que registra superconductividad a 39K; en menos de un año, de abril de 1986 a febrero de 1987, se obtuvieron materiales con temperatura crítica de 105K, y en la actualidad se cuenta con materiales con temperatura crítica de hasta 125K.

El caso de la superconductividad no es, ni con mucho, el único ejemplo de fenómenos que han permanecido "empantanados" por largo tiempo, hasta el punto de que han

sido prácticamente olvidados. De pronto, surge la “gran idea o experimento”, “el punto de quiebre”, el *breakthrough*, y se convierte en el tema de moda, el descubrimiento en que todos creen. También en la ciencia se produce el fenómeno tan mexicano de “la cargada”. Y así ocurrió en 1996-1997: todos los grupos ligados de alguna manera a la ciencia-ingeniería de materiales investigaban la superconductividad, aunque nunca antes se hubieran preocupado siquiera por su existencia, “ya que se trataba de un tema acabado”.

La ciencia-ingeniería de materiales en el inicio del siglo XXI (tres ejemplos interesantes)

Magnetismo con base molecular

Un fenómeno que ha llamado poderosamente la atención desde siempre y que, día con día, lejos de dejar de interesar atrae más, es el magnetismo: desde las piedras “mágicas” denominadas inicialmente imanes, hasta nuestros días, en que el *spin* de los electrones da cuenta de esta magia.

La humanidad se ha beneficiado inmensamente con el descubrimiento y la dilucidación formal del magnetismo y los imanes. La importancia de éstos se incrementará indudablemente de manera muy creciente en los inicios del siglo XXI. Los imanes son esenciales para un gran número de dispositivos. Unas cuantas líneas bastarán para demostrarlo. De manera esquemática, se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. El de los imanes permanentes o “duros”, que producen un campo magnético externo, el cual a su vez ejerce una fuerza sobre otros imanes o sobre una corriente eléctrica.
2. El de los imanes no permanentes o “suaves”, que guían o deflectan campos magnéticos y que tienen momentos magnéticos de gran fuerza en respuesta a corrientes eléctricas pequeñas.

Según el tipo de imán de que se trate, se empleará en distintas aplicaciones, por ejemplo en dispositivos magneto-mecánicos (baleros sin fricción, implantes médicos y separadores magnéticos), acústicos (bocinas, micrófonos y audífonos), y de información y telecomunicación (sensores, máquinas de fax, equipos médicos de resonancia, discos magnéticos y magneto-ópticos), así como en motores y generadores eléctricos, y en blindaje magnético.

Estos productos revisten gran importancia en todos los sectores de la economía del mundo actual. Simplemente por dar un ejemplo, vale la pena señalar que un

automóvil moderno utiliza alrededor de 20 imanes. Al inicio del nuevo milenio, las aplicaciones de los campos magnéticos y el uso directo de los imanes tienden a ampliarse considerablemente. Por ello, el estudio del magnetismo será crucial para el desarrollo de los llamados “materiales y sistemas inteligentes”, y en consecuencia es de esperarse el surgimiento de centros de investigación dedicados a mejorar materiales magnéticos o crear otros nuevos.

Una de las rutas que hoy por hoy se exploran con mayor intensidad en cuanto a los nuevos imanes es la que se vincula con los llamados imanes *de base molecular*, los cuales poseen muchos atributos hasta ahora no disponibles en los imanes convencionales. Recientemente, mediante metodologías de síntesis orgánica muy similares a las empleadas para crear productos farmacéuticos, se han descubierto varias familias de imanes *de base molecular*. Esas técnicas han venido a sustituir a los métodos metalúrgicos de alta temperatura usados habitualmente en la fabricación de imanes.

PRINCIPALES ATRIBUTOS DE LOS IMANES BASADOS EN MOLÉCULAS

Baja densidad	Flexibilidad mecánica
Procesabilidad a baja temperatura	Biocompatibilidad
Contaminación ambiental baja	Compatibilidad con polímeros para “composites”
Alta resistencia	Solubilidad
Control de propiedades mediante química orgánica	Susceptibilidad magnética alta
Magnetización alta	Magnetización remanente alta
Anisotropía magnética baja	Transparencia

Imitando a la naturaleza

La necesidad de mejorar el procesamiento de materiales es una inquietud constante en la ciencia-ingeniería de materiales y algunos grupos —escasos, por cierto— de científicos de materiales se han empeñado en la tarea de analizar los materiales naturales y sus métodos de producción, hasta dar origen a lo que se conoce como *estrategias biomiméticas*, puestas en práctica para procesar materiales, conseguir bajas temperaturas, efectuar la síntesis acuosa de óxidos, sulfitos, sulfates y otras cerámicas, adaptar los principios biológicos para controlar la producción de la

biocerámica y llevar a cabo el diseño microestructural y el procesamiento del composite (material cuyos componentes mayoritarios son de un tipo, que incorpora de manera íntima otro u otros componentes que son de otro tipo). Muchos organismos construyen composites de cerámicas estructurales (biominerales) a partir de materiales del ambiente que los rodea. Con un proceso de tipo celular, controlan tanto la nucleación como el crecimiento del mineral y desarrollan una microarquitectura del composite. Ciertos sistemas vivos fabrican biocomposites así:

1. Confinan la biomineralización dentro de compartimientos específicos.
2. Producen un mineral específico de tamaño y orientación de cristal definidos.
3. Empaquetan muchas unidades incrementales juntas en un proceso de movimiento del frente para formar estructuras macroscópicas altamente densificadas.

Adaptando y adoptando principios biológicos, los científicos de materiales intentan generar nuevos productos. Hasta ahora no ha sido posible, mediante algún proceso no biológico, duplicar ni la elegancia del mecanismo de ensamblaje biomineral ni la intrincada microarquitectura del composite. Sin embargo, se han alcanzado progresos importantes para entender cómo ocurre la biomineralización y se han dado los primeros pasos para explotar los principios básicos concernidos.

Las plantas y los animales han desarrollado una vasta diversidad de estructuras conforme a estrategias muy a menudo distintas de las usadas por los científicos-ingenieros de materiales. Estas biocerámicas fabricadas naturalmente son siempre composites y se ensamblan fácilmente a partir de materiales disponibles, por lo común en medio acuoso, en condiciones ambientales y en forma de red. Con frecuencia, las biocerámicas exhiben una microestructura sin porosidad u otros defectos, y con morfologías y hábitos cristalinos poco usuales. Materiales como el nácar (madreperla), que proviene de las conchas de los moluscos, se caracterizan por una decoración estética, un acabado superficial muy suave, alta resistencia y, por tanto, gran durabilidad y escaso riesgo de fractura. Las biocerámicas se producen por lo general muy lentamente y presentan una variedad limitada de composiciones, aunque predominan el carbonato de calcio, el fosfato de calcio, la sílica y el óxido de hierro. En la actualidad se conocen más de 60 biominerales y se descubren muchos más con una rapidez sorprendente.

Materiales autoensamblables

De la moderna investigación en ciencia-ingeniería de materiales, surgen los materiales *autoensamblables*. Se trata de átomos o moléculas que se agregan y se ubican o colocan por sí mismos para formar entidades más complejas. Un proceso de autoensamblaje se desarrolla sin la intervención humana. De hecho, este concepto se inspira en la naturaleza, donde entidades tan simples como una gota de agua o tan complejas como una célula surgen de principios físicos o de condiciones que el mismo sistema impone a sus componentes.

El ejemplo más conocido —por el éxito que ha alcanzado— de materiales autoensamblables lo constituyen los llamados *liposomas*, cápsulas esféricas microscópicas que transportan medicamentos en el organismo. Están hechos de fosfolípidos, moléculas que poseen un extremo al que atrae el agua y por otro repelente a ella. Al colocar los fosfolípidos en un medio acuoso, forman una capa doble (bicapa) en que los extremos hidrofílicos permanecen en contacto con el agua y los hidrofóbicos se unen uno con otro. Si hay suficientes moléculas, la bicapa crece y se llega a formar una esfera en cuyo interior hay espacio para albergar moléculas de algún medicamento. La esfera se inocula en el cuerpo humano y libera su carga cuando hay rupturas o fugas.

Quedan en el tintero muchos ejemplos de desarrollos de la ciencia-ingeniería de materiales que dejan constancia de que, muy lejos de ser una ciencia que se aproxima a su fin, es una disciplina pujante con más problemas que resolver que profesionales para estudiarlos. Pese a ser una ciencia muy joven, ha mostrado en los hechos que la investigación en nuestros días ha de realizarse mediante colaboraciones de especialistas de las áreas muy diversas, a partir del hecho de que la naturaleza presenta enigmas complejos y completos, ¡jamás departamentalizados! ♦

Referencias

- John Horgan, *The End of Science. Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, Estados Unidos, Addison-Wesley Publishing, 1996.
- Science*, núm. 255, 28 de febrero de 1992, p. 1078.
- Guillermo Aguilar S., *El hombre y los materiales*, México, FCE (Colección La ciencia desde México, 69).
- John Horgan, *El fin de la ciencia. Los límites del conocimiento en el declive de la era científica*.