

NUEVOS MATERIALES

Definiciones y características generales de los materiales

La importancia que los gobiernos de los países más industrializados están dando a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en el área de materiales indica que, sin lugar a dudas, éstas se encuentran entre las grandes transformaciones técnicas de nuestro tiempo, en conjunción con las tecnologías de información (con base en la microelectrónica), y la biotecnología.

Esa creciente atención que vienen mereciendo los materiales surge en buena medida del importante papel que tienen en los avances tecnológicos de otras áreas. En la práctica no existe ninguna importante nueva tecnología que no dependa del desarrollo de materiales: semiconductores para microelectrónica e informática, fibras ópticas para optoelectrónica, superconductores para transmisión y almacenamiento de energía, etcétera.

Además de esenciales para el éxito de otras tecnologías, los nuevos materiales modifican las relaciones entre los sectores que los producen y aquellos que los consumen. Estos últimos enfrentan una variedad creciente de materiales y asumen un papel más importante en la definición de lo que debe ser producido. Los consumidores de materiales, que antes se encontraban en una posición de relativa dependencia frente a los productores de materiales estandarizados y producidos en gran escala, invierten ahora esa situación solicitando materiales con características determinadas para usos bien definidos. Por lo tanto, los productores de materiales van teniendo que someterse poco a poco a las exigencias, cada vez más cualitativas y específicas, de la demanda.

Los fabricantes de materiales tradicionales y los productores de sus materias primas son también perjudicados por la aparición de los nuevos materiales debido a los procesos de sustitución que ellos inducen. Aun cuando este fenómeno se sobrestima con frecuencia, no debe ser de ninguna manera dejado de lado. Como ejemplo se puede citar la aparición de la fibra óptica para uso en telecomunicaciones y de los nuevos materiales conductores de energía que tienden a producir una disminución considerable de la importancia del cobre.

Por esas y por otras razones que discutiremos más adelante, los materiales se tornan tema de análisis cada vez más numerosos. Se

debe calificar con precisión, para no crear confusiones, la noción de que la aparición de nuevos materiales es el resultado de un conjunto de nuevas tecnologías que, para ejemplo de la informática y de la biotecnología, estarían revolucionando las bases técnicas de la economía mundial. El área de materiales tiene importantes especificidades que deben ser consideradas.

La primera de ellas surge de su posición en la cadena productiva, ya que los materiales son bienes intermedios, lo que los diferencia de los productos de la informática. Esa característica es destacada en la definición que proponemos para el término *materiales*: “materiales son los insumos intermedios de los procesos industriales obtenidos por transformaciones sucesivas de materias primas o residuos y a partir de los cuales son diseñadas y producidas las piezas, componentes y productos finales para diversas aplicaciones”.

Otra característica importante de los materiales es que ellos no sólo se destinan prácticamente a todos los sectores económicos como también se originan en diversas industrias: siderúrgica, metalúrgica de no ferrosos, química, cerámica, etc. A diferencia, de nuevo, de la informática, los productores de materiales no constituyen un sector ni un complejo industrial. Los materiales participan en industrias *diferentes*, con características estructurales *diferentes* y bases técnicas *diferentes* teniendo apenas en común el hecho de producir bienes intermedios. Por lo tanto, se torna casi imposible el tratamiento agregado de los productores de materiales así como mucho más compleja la identificación de elementos comunes que permitan hablar en forma genérica de *materiales* sin otras calificaciones. El desarrollo de la ciencia e ingeniería de los materiales, con el consecuente dominio de la estructura básica de la materia, permite tal vez identificar algunos elementos comunes a todos los materiales. Sin embargo, no son eliminadas por completo las dificultades que impiden integrar en un mismo proceso todos los cambios tecnológicos que están ocurriendo en los diversos campos de los materiales.

El uso de la expresión nuevos *materiales* también se presta a confusiones. Se puede constatar que muchas veces la novedad no está en el material como tal, sino en las tecnologías utilizadas en su producción; éstas permiten que un material conocido ya hace mucho tiempo adquiera nuevas propiedades, es decir, se torne “nuevo” por el simple hecho de adquirir un grado de pureza o de confiabilidad mayor.

La expresión *nuevos materiales* sugiere una oposición, mucho más ficticia que real, en relación con los materiales tradicionales. Sugiere también que la mudanza tecnológica en curso en el campo de los materiales se resume a un proceso de sustitución de materiales "antiguos" por "nuevos".

En un trabajo anterior (Queiroz y Mitlag, 1985) se estableció una distinción entre materiales de *uso múltiple* y materiales de *uso específico* que permite caracterizar el proceso de mudanza que se observa actualmente. Los primeros serían los materiales *commodities*, producidos en gran escala, con tecnología bastante difundida, bajo costo unitario y dedicados a varias aplicaciones: es el caso de los aceros comunes, del aluminio, de la madera, de los plásticos comunes como el polietileno o PVC, etcétera.

Los de uso específico serían materiales caros, de elevado contenido tecnológico, número limitado de aplicaciones y producidos en cantidades mucho menores, con frecuencia "a pedido". Son ejemplos, los aceros especiales, los plásticos de ingeniería, las cerámicas avanzadas, etcétera.

Observamos entonces que, si en el pasado la sustitución de un material tradicional (*commodity*) por uno nuevo era un fenómeno en extremo importante, las mudanzas actuales se caracterizan sobre todo, por un crecimiento en importancia de los materiales de *uso específico* en relación con los de *uso múltiple*. Mucho más que un proceso de sustitución, lo que se observa es la incorporación de nuevos materiales que se suman a los tradicionales, es decir se produce un aumento considerable de materiales disponibles que está en el origen del fenómeno bautizado de *hyperchoix des matériaux*.

Por lo tanto, el proceso de cambio tecnológico en el área de materiales no debe ser confundido con una disputa entre materiales tradicionales y nuevos. La expresión *nuevos materiales* tiende a confundir y sería mejor utilizar la expresión *nuevas tecnologías en materiales*, que es más totalizadora y representa mejor la situación actual. Sin embargo, como el término nuevos materiales está bastante difundido, no vamos a rechazar su uso, recordando que supone un sentido más amplio que incluye los materiales antiguos rejuvenecidos por las nuevas tecnologías.

¿Qué debemos entender, entonces, por *nuevos materiales*? ¿Los materiales que resultan del empleo de nuevas tecnologías? ¿Los materiales que se destinan a aplicaciones de alta tecnología? La tecnología

es en verdad un aspecto importante pero no es el único. Un trabajo del Industrial Bank of Japan (IBJ, 1986) agrupa las características principales de los nuevos materiales por producto, demanda y producción, resumidas en el esquema 2.

Como se puede observar en dicho esquema, la elevada intensidad tecnológica es apenas una entre las varias características de los nuevos materiales (los materiales de uso específico poseen prácticamente las mismas propiedades).

Cabría aún incluir un criterio económico simple, que incorpore con justeza la idea de la creciente importancia de los nuevos materiales. En un trabajo realizado para el proyecto FAST de la CEE (Cohendet *et al.*, 1987), los nuevos materiales son definidos como aquellos cuya tasa de crecimiento prevista para el decenio de los noventa sobrepasa la tasa de crecimiento medio de las economías occidentales, de alrededor de 3% anual.

ESQUEMA 2. NUEVOS MATERIALES/MATERIALES TRADICIONALES; CARACTERÍSTICAS

		<i>Nuevos mat.</i>	<i>Mat. tradic.</i>
Características del producto	Tipo	muchos	pocos
	Valor agregado	alto	bajo
Características de la demanda	Tamaño del mercado	pequeño	grande
	Ciclo de vida	corto	largo
	Uso	específico	multipropósito
Características de la producción	Método de prod.	variado, pequeñas cantidades	único, en gran cantidad
	Grado de intensidad tecnológica	alto	bajo
	Escala de producción	pequeña	grande

FUENTE: IBJ, 1986.

Por otro lado, los materiales tradicionales serían aquellos cuya tasa de crecimiento prevista es inferior a la tasa de crecimiento medio, esto es, cuya intensidad de uso en relación con el producto, tiende a disminuir. Ése es el caso de los materiales *commodities*, que denominamos con anterioridad como de uso múltiple. El cuadro 4 ilustra ese proceso para el caso del Japón.

Cohendet clasifica los nuevos materiales, según sus niveles de desa-

rollo, en las siguientes categorías: 1] materiales en fase de industrialización reciente; 2] materiales en fase de preindustrialización; 3] materiales en fase de desarrollo y 4] materiales en fase de investigación. A cada fase corresponde naturalmente una tasa de crecimiento.

Se debe observar que el criterio de la tasa de crecimiento en relación con el producto para caracterizar los nuevos materiales, introduce la dificultad de que las características de los países en desarrollo y desarrollados no son las mismas. Por ejemplo, no hay duda de que los aceros comunes son materiales tradicionales. No obstante, su tasa de crecimiento en relación con el PIB puede ser alta en ciertos países latinoamericanos donde el consumo per cápita aún es bajo y las condiciones de producción para el mercado internacional son favorables. Apenas por ese criterio, un material tradicional en los países desarrollados podría ser considerado en otro lugar como un "nuevo material" en fase de industrialización reciente o de preindustrialización.

CUADRO 4. CONSUMO DE LOS MATERIALES BÁSICOS MÁS IMPORTANTES POR UNIDAD DE PNB EN JAPÓN

	1970	1975	1980	1985
Textiles	1.75	1.32	1.22	1.11
Maderas	87.31	65.27	57.41	44.21
Papel	10.65	8.84	9.45	8.56
Etileno	2.63	2.30	2.20	1.76
Cloruro de vinilo	1.11	0.83	0.83	0.64
Fertilizantes	—	1.38	0.97	0.90
Hierro	60.48	46.10	41.63	34.09
Aluminio	0.75	0.79	0.86	0.80
Cobre	0.70	0.56	0.70	0.65
Cemento	46.60	42.81	43.43	35.83
Unidad: ton/100 millones yens; m ³ /100 millones yens para madera				

FUENTE: IBJ, (1986).

Tales consideraciones sugieren que los países de América Latina deben tener una mayor preocupación con los materiales en su conjunto, teniendo en cuenta que muchos materiales tradicionales pueden tener aún un futuro promisorio.

En cuanto a la clasificación de los materiales, la más usual los divide en las siguientes clases relacionadas con su estructura mole-

cular: metales y sus aleaciones, cerámicos y vidrios, polímeros (plásticos, elastómeros) y materiales compuestos (metal/cerámica, polímero/cerámica, etcétera).

Mientras tanto, debido a la creciente multiplicación de los materiales y de sus usos, resulta cada vez más atrayente la clasificación por función: materiales estructurales, materiales biológicos, materiales electrónicos, materiales ópticos, etc. Esto se debe a que la definición del tipo de material no es suficiente para identificar de manera adecuada las características y propiedades, de las cuales resulta su función. Además, la función determina las posibles aplicaciones del material, uniendo, de esta manera, sus características y propiedades a sus usos industriales. Se pueden también combinar ambas clasificaciones, de forma que indiquen al mismo tiempo la clase y la función del material, por ejemplo, cerámicos para usos estructurales, polímeros con funciones biológicas, etcétera.

Mudanzas asociadas a las tecnologías emergentes en materiales

Detrás de los recientes avances tecnológicos de los materiales existen procesos de cambio que los están facilitando e incluso induciendo. Discutiremos a continuación algunos de estos procesos, elegidos por su importancia y por la amplitud de sus efectos, porque afectan un conjunto amplio de materiales y no apenas aquellos de un cierto tipo.

El papel de la ciencia e ingeniería de los materiales (CIM)

Una característica fundamental del proceso que se observa hoy en día en el campo de los materiales es la inversión de la lógica del sistema de producción: si antes los materiales eran ofrecidos para los fabricantes de los productos que los utilizaban, ahora pasan a ser *creados* con propiedades específicas para esos consumidores. En consecuencia, el productor pierde parte de su autonomía en relación con un mercado que antes era impersonal y estandarizado, subordinándose con más intensidad a las exigencias del comprador.

Esa capacidad de crear y manufacturar un material con propiedades ya determinadas se hizo posible gracias al avance significativo

de la CIM en los cuatro últimos decenios. Se establece así un dominio creciente de las relaciones entre propiedades, estructura y procesamiento, posibilitando la producción de materiales "a pedido" y ampliando casi sin límites la gama de productos ofrecidos. Los investigadores e ingenieros de materiales poseen hoy los conocimientos fundamentales sobre la estructura atómica y molecular para concretar avances tecnológicos de gran impacto en un horizonte de tiempo definido.

Para el avance de la CIM contribuyó en forma decisiva el propio desarrollo tecnológico. La capacidad de análisis y caracterización de materiales creció una enormidad gracias a instrumentos cada vez más poderosos: microscopios ópticos, después electrónicos, rayos X, sistemas computarizados, etc. La posibilidad de solucionar millares de ecuaciones de mecánica cuántica, esenciales, por ejemplo, para la concepción de circuitos integrados cada vez más miniaturizados, sólo fue posible con la aparición de los supercomputadores. Por otro lado, la posibilidad de manufacturar materiales con propiedades previstas, exigió el desarrollo de varias tecnologías subsidiarias.

El dinamismo tecnológico en el área de materiales está, por lo tanto, condicionado por una fuerte interacción entre ciencia y tecnología, que es característica de la CIM. Nuevas tecnologías impulsaron la ciencia de materiales, lo que a su vez ha permitido el desarrollo de nuevos materiales que contribuirán a la generación de nuevas tecnologías y así en lo sucesivo. Se establece entonces, una realimentación positiva que puede ser ejemplificada por la interacción entre materiales y microelectrónica: la informática contribuyó enormemente para el avance de la CIM, lo que permitió la viabilidad de materiales para microelectrónica sin los cuales no existiría la informática.

En resumen, el avance de la ciencia de los materiales, así como de las tecnologías a las cuales ella contribuye, desempeña un papel fundamental en el desarrollo de los nuevos materiales y, aun cuando no esté determinando en realidad las mudanzas tecnológicas hoy observadas, es condición esencial para que ellas ocurran.

La continuación de este proceso, al no estar limitado por la necesidad de adquirir conocimientos básicos, pasa a depender en particular de los esfuerzos en investigación aplicada y desarrollo tecnológico de los materiales que, por otra parte, son crecientes.

La integración de los materiales en la concepción del producto final

A partir del momento en que aparece la posibilidad de “construir” un material con características predefinidas para cumplir determinada función, se alteran los procedimientos técnicos que orientan los diseños y la producción de bienes finales. El material deja de ser para su consumidor una barrera impuesta desde el exterior, es decir, cambia de parámetro a variable.

Ese proceso de adecuación de los materiales a los requerimientos de los productos que los incorporan conduce a una creciente especialización de los materiales, que tienden, entonces, a cumplir funciones altamente complejas. En consecuencia se acelera la diversificación de los materiales, enfrentando sus consumidores una creciente variedad de oferta. En este contexto, la sustitución de materiales tradicionales por nuevos, si bien no deja de ocurrir, no tiene la importancia que tuvo en el pasado. La incorporación de los nuevos materiales es el hecho más significativo y relativamente independiente del desplazamiento de los materiales más antiguos.

La integración de los materiales al proceso productivo de los bienes finales responde a una necesidad de simplificación. Si bien la complejidad técnica de los materiales tiende a crecer, su utilización permite reducir el número de componentes y/o etapas del proceso de producción de los bienes finales. Para cumplir una determinada función, que antes exigía una combinación de varios materiales estandarizados, se produce ahora un único material, especializado y con técnica más compleja.

Los materiales compuestos presentan ejemplos impresionantes de esa capacidad de reunir combinaciones especialísimas con propiedades imposibles de ser logradas con los materiales tradicionales, y que permiten producir modelos más simplificados. A partir del uso de materiales compuestos, por ejemplo, el núcleo del rotor principal de un helicóptero, producido por la Aeroespatale, redujo el número de piezas de 293 a sólo 92.

El efecto simplificador de la integración también se obtiene con nuevas técnicas para procesamiento de los materiales. La metalurgia en polvo y la fundición de precisión son ejemplos de procesos que permiten la conformación de piezas que ahorran etapas posteriores de maquinado, además de reducir al mínimo el desperdicio del metal utilizado.

Por último, las nuevas tecnologías en materiales, procesos o productos responden a la lógica de integración que conduce a una simplificación global, empero acompañada de una mayor complejidad de los materiales. Al asumirlos como variables, los proyectistas de los productos finales pueden reducir el número de etapas productivas, el número de componentes utilizados y el tiempo usado en la producción, transfiriendo a los productores de los materiales la responsabilidad de generar productos con especificaciones imposibles de ser atendidas por los materiales tradicionales. El mayor costo de esos insumos acaba siendo más que compensado por la reducción de otros costos que éstos proporcionan.

Una consecuencia importante de este proceso, es el estrechamiento de los lazos entre productores y consumidores de materiales. Se observa además, una inversión en la lógica de subordinación: en el caso de los materiales *commodities* el productor se colocaba en una posición de dominación en relación con el consumidor. Para los nuevos materiales sucede lo contrario, los consumidores tienden a subordinar a los productores. Este hecho puede traer una serie de implicaciones económicas importantes en términos de tendencias de verticalización, compras y fusiones de empresas, acuerdos de comercialización, etcétera.

El nuevo modelo de consumo de materiales

Como ya se comentó, una de las características de los materiales tradicionales es su baja tasa de crecimiento. Naturalmente, la desaceleración del crecimiento económico mundial a partir de mediados de los setenta afectó de modo significativo la demanda de materiales como el acero, el aluminio, los plásticos *commodities*, etc. No obstante, ésta no es la única explicación, en la medida en que la intensidad de uso de estos materiales, o sea, su consumo por unidad de producto, también se redujo, como se puede constatar en el cuadro 4.

Las alteraciones en la composición del producto son una de las explicaciones sugeridas para esas mudanzas en el consumo de materiales tradicionales. En los países desarrollados, el sector servicios viene ampliando en forma sistemática su participación en el producto en detrimento de los sectores agrícola e industrial. La composición interna de este último también se va modificando en

el sentido de aumentar la participación de los bienes con bajo contenido relativo de materiales.

Sin duda este fenómeno está ocurriendo. Sin embargo, algunos autores llaman la atención sobre el hecho de que el producto también es afectado por las mudanzas de la estructura del comercio internacional. Muchas naciones desarrolladas se están convirtiendo en importadoras netas de bienes intensivos en materiales fabricados en países en desarrollo. Este tipo de mudanzas en la división internacional del trabajo precisa ser tomado en cuenta cuando se evalúa la reducción de intensidad de uso de materiales tradicionales que, en términos globales, puede ser menor de lo que aparenta.

Otro tipo de explicación para la reducción de la intensidad de uso de materiales surge del aumento de eficiencia de los procesos industriales. La cantidad de acero que un automóvil consume hoy es significativamente menor que la que consumía 10 años atrás y eso no se debe sólo a la sustitución por otros materiales, sino también a las mejoras técnicas que reducen el desperdicio. Un mayor conocimiento del comportamiento de una estructura dada permite que se economicen materiales sin ningún efecto negativo en términos de seguridad.

El efecto de la sustitución (materiales tradicionales por nuevos) también ocurre, pero en escala reducida, y es incapaz de explicar la menor intensidad de uso de los materiales tradicionales en la misma medida que los factores indicados con anterioridad. El ejemplo del automóvil mostró que la disminución de uso del acero común está acompañada de un aumento en la participación tanto de nuevos materiales cerámicos y plásticos cuanto de nuevas aleaciones metálicas. Un ejemplo aún más significativo es la ya citada sustitución de cobre por fibras ópticas en el campo de las telecomunicaciones. Sin embargo, sería engañoso suponer que el rápido crecimiento de los nuevos materiales y el menor uso de los materiales tradicionales pueda ser explicado sólo por el efecto sustitución. La demanda por los diferentes grupos de materiales difiere en lo cualitativo como cuantitativo. Los nuevos materiales representan hoy una pequeña parcela, si bien creciente, de la producción global de materiales, además de ser utilizados primordialmente en nuevos productos para los cuales la idea de sustitución no se aplica por fuerza.

En resumen, el nuevo patrón de consumo de materiales estaría caracterizado, por lo tanto, por un desplazamiento de los materia-

les tradicionales por los nuevos, no de forma directa como sustitución, sino debido a la tendencia hacia la reducción de la intensidad de uso de los tradicionales y al carácter dinámico de los nuevos materiales.

En respuesta a esta demanda se multiplican los materiales ofrecidos, junto con una creciente especialización y complejidad tecnológica. El énfasis pasa de la cantidad a la calidad y de los materiales normalizados y consumidos en gran escala a los especializados y de pequeño consumo. La saturación de los mercados que caracterizaron la llamada “era de los materiales” no impide el dinamismo de nuevos mercados, basados en productos poco intensivos en materiales, y muy intensivos en tecnología: los mercados de la “era de la información”.

Nuevos materiales y energía

El cambio en la base energética es uno de los aspectos más evidentes de la crisis económica mundial —explicándose la crisis actual muchas veces como una “crisis de energía”— y, por lo tanto, su repercusión sobre los materiales no podría dejar de ser significativa.

Los procesos de sustitución de materiales y de introducción de otros nuevos están siendo altamente condicionados por el consumo de energía, dado el aumento de su precio a partir de los setenta y de la preocupación por la posibilidad de agotamiento de sus fuentes naturales.

Los esfuerzos de desarrollo tecnológico en al área de materiales parecen estar orientados hacia dos grandes objetivos. El primero pretende producir nuevas tecnologías para el sector energético que permitan un aumento en la eficiencia de almacenamiento, transmisión y generación de energía (polímeros conductores, células combustibles, superconductores, células fotovoltaicas, etc.). El segundo pretende reducir el consumo de energía a lo largo del ciclo de producción y utilización de materiales mejorando, por lo tanto, el balance energético.

La relación entre los materiales y el balance energético total del producto final resume las interrelaciones entre materiales y energía y condiciona, en esencia con base en consideraciones sobre eficiencia y precio, la selección de un material para una función dada o para la producción de un objetivo determinado. Así, para cada producto se

puede definir un balance global que incluya la energía consumida en cada etapa del proceso de producción y consumo.

El balance energético considera el ciclo completo desde la obtención de materias primas hasta la destrucción o reciclaje del producto final. Resumiendo, tal balance incluye:

- La energía incorporada en las materias primas naturales o sintéticas (extracción, producción, transporte, etcétera).
- La energía consumida en el proceso de producción industrial del material (economía de energía por procesos alternativos de fabricación).
- La energía asociada a diferentes proyectos de piezas y componentes (maquinado y conformación).
- La energía asociada al montaje de piezas y componentes (soldadura) y a la obtención de un producto final (montaje de automóviles).
- La economía de energía asociada a la utilización de una pieza o componente y a la eficiencia del objeto constituido por un material dado (eficiencia de los motores diesel con partes cerámicas).
- La energía consumida en el transporte del material y del producto.
- El tiempo de vida del material y del producto (desgaste, abrasión y corrosión).
- El ahorro de energía por producción secundaria.
- El gasto energético debido a la destrucción de objetos cuyos materiales incorporados son nocivos al medio ambiente y no pueden ser reciclados (ejemplo, plásticos y materiales compuestos).

Es importante resaltar que muchos de los materiales que surgen para solucionar esos problemas son más intensivos en energía. Esto es en particular evidente en el caso de los materiales de baja densidad, que reducen de modo significativo el consumo de energía en la utilización de los productos que los incorporan. Por lo tanto, a pesar de los esfuerzos permanentes para reducir el elevado consumo de energía en la producción de los materiales (del orden del 15% a 25% de la energía primaria consumida en las economías industrializadas), es bastante probable que estos números registren un crecimiento, como paradoja, con la crisis energética. Sin embargo, el aumento en la eficiencia, propiciado por el empleo de materiales más intensivos en energía, puede resultar en un balance final favorable.

En relación con el mencionado primer objetivo de producir nuevas tecnologías para el sector energético, podemos citar un ejemplo de aumento en la eficiencia de almacenamiento, transmisión y generación de energía con nuevos materiales: los materiales superconductores.

Las aplicaciones de la superconductividad surgen, en lo fundamental, de la posibilidad de eliminar la resistencia eléctrica de ciertos materiales cuando son sometidos a bajas temperaturas. En consecuencia, se eliminan las pérdidas de transmisión de energía eléctrica debidas a la disipación en forma de energía térmica. La eliminación de la resistencia permite la elevación de la densidad de corriente permitida y, por lo tanto, la obtención de campos magnéticos de alta intensidad.

Los resultados obtenidos en los últimos años con los nuevos materiales superconductores a base de óxidos cerámicos han permitido que crezcan las expectativas existentes desde comienzos de siglo de obtener materiales que alcancen o transmitan la superconductividad a temperaturas viables en lo comercial. De los -250°C establecidos hace 15 años con la superconductividad metálica, se han establecido recientemente temperaturas del orden de -170°C y aún mayores.

Entre las aplicaciones más prometedoras de la superconductividad están las asociadas a la generación y reducción del consumo de energía en diversas actividades y procesos. Las previsiones actuales indican que los usos más probables a corto plazo de los superconductores metálicos y cerámicos, serán en el área de informática (disminución del tamaño de los equipos informatizados y aumento de la velocidad de procesamiento de señales).

Otros usos ligados a la generación y almacenamiento de energía se refieren a la disminución de tamaño y/o aumento de potencia de generadores eléctricos: magnetos de pequeño tamaño para utilización en equipamientos de generación de imágenes por resonancia magnética para uso en medicina; generación de campos intensivos magnéticos en bobinas que permite alcanzar mayor eficiencia en el almacenamiento de energía; aumento de velocidad y eficiencia en los medios de transporte.

Los impactos económicos de los nuevos materiales en América Latina

Los impactos de los nuevos materiales pueden ser divididos en directos e indirectos. Los primeros afectan los sectores productores de materiales y de materias primas, en tanto que los segundos están relacionados con los sectores consumidores de materiales.

Respecto a los impactos indirectos, cabe señalar que, siendo los materiales bienes intermedios, participan de la cadena de producción de otros insumos o bienes finales. A medida que van siendo perfeccionados, amplían las posibilidades de los productos que los incorporan, generando así, efectos importantes sobre los mercados finales. El abaratamiento y la consecuente expansión del mercado de muchos nuevos productos, en especial en los sectores electro-electrónico y de transporte, dependerá en un futuro próximo de que se logren, por ejemplo, producir comercialmente superconductores a altas temperaturas.

Sin embargo, el ejemplo de los superconductores no puede generalizarse, pues la mayor parte de las veces el avance tecnológico de los materiales no se da de manera independiente de las industrias consumidoras. Éstas, como ya fue mencionado, tienden a subordinar cada vez más las industrias productoras de materiales que, en consecuencia, se colocan más en la posición de recibir que de generar impactos. El avance de la microelectrónica induce el avance de los materiales para microelectrónica, de la misma manera que el avance de la industria aeroespacial estimula el crecimiento de los materiales para uso aeroespacial, y así sucesivamente. Debido a las condiciones anteriores, el análisis de los impactos indirectos procura establecer en cuáles sectores los nuevos materiales se están difundiendo, sin dejar de considerar que no son el motor del proceso y que, con frecuencia, tienen su desarrollo determinado por los productos que los van incorporando.

En relación con los impactos directos que afectan el crecimiento de los productores de nuevos materiales, es preciso considerar que la dimensión absoluta del mercado de nuevos materiales es todavía en extremo reducida. Las ventas mundiales de cerámicas avanzadas fueron, en 1985, de 5.2 mil millones de dólares, según Sen (1986), o de 4.2 mil millones de dólares según datos de Jetro, Japón (1986). Comparando esos valores con la facturación mundial de la industria siderúrgica resulta evidente la insignificancia de los impactos

directos de los nuevos materiales. En la actualidad, en términos relativos, éstos no llegan a representar un 5% de la producción total de materiales. Suponiendo que su producción crezca a una tasa media mundial de 10% y los materiales tradicionales crezcan apenas un 1%, aun así llevará 21 años para que la parcela de los nuevos materiales represente un cuarto de la producción total.

Esa disparidad refuerza un aspecto ya bastante resaltado, o sea, que la relación entre el crecimiento de los sectores productores de nuevos materiales y la declinación de los productores de materiales tradicionales no es directa (vía sustitución). Ese decrecimiento (relativo) de los materiales tradicionales no puede ser explicado sólo por la aparición de nuevos materiales, que en los países en desarrollo, por otro lado, es bastante improbable que ocurra.

En América Latina los impactos directos tienden también a ser pequeños. A pesar de que países como Brasil ya han comenzado a producir algunos nuevos materiales (p.ej. fibras ópticas, cerámicas avanzadas, aleaciones especiales), su demanda debe permanecer en proporción menor que la de los países avanzados. La industria brasileña, la más avanzada de América Latina, consume muy poco en términos de nuevos materiales, con excepción de los sectores que producen para el mercado externo y que siguen las tendencias internacionales. Los automóviles exportados por Brasil, por ejemplo, incorporan detectores de gases para el control de emisión de contaminantes producidos con materiales cerámicos avanzados; en cambio los fabricados para el mercado interno, donde la legislación es mucho menos restrictiva, no incorporan esos dispositivos.

Entre los nuevos materiales, tanto los cerámicos como los polímeros (además de los compuestos que utilizan ese tipo de materiales), se destacan en relación con los metales. Éstos representan en la actualidad alrededor del 80% del consumo total de materiales. Los metales, de un modo general, combinan ciertas propiedades de gran versatilidad de uso. Los cerámicos y polímeros, sin embargo, aun siendo superiores a los metales en varias de sus propiedades, presentan deficiencias muy importantes, lo que provoca que sus aplicaciones sean bastante limitadas. El desarrollo tecnológico ayuda a contornear algunos de esos problemas, como en el caso de la elevada fragilidad de los cerámicos o el bajo punto de fusión de la mayoría de los polímeros, permitiendo prever una mayor participación de esos materiales en aplicaciones que hasta ahora permanecían exclusivas de los metales.

Aun así, no se puede anticipar un desplazamiento intenso de los metales por polímeros y cerámicos. En primer lugar, para las aplicaciones más específicas —características de los nuevos materiales— la ausencia de una u otra propiedad no siempre es relevante, lo que los torna más competitivos con los metales. Sin embargo, por las razones ya señaladas, una distribución más equilibrada del universo de los nuevos materiales no es suficiente, dado el enorme peso de los materiales tradicionales, donde los metales continuarán reinando por un largo periodo.

En segundo lugar, el desarrollo tecnológico no excluye los metales. Por el contrario, la tecnología de metales nunca produjo tantos avances en nuevas aleaciones y nuevos procesos como en la actualidad. Es posible, incluso, que materiales amenazados de sustitución consigan mejoras tecnológicas sustanciales y se vuelvan de nuevo competitivos. Esta revalorización de los metales ocurrirá con seguridad —y ya está ocurriendo— en muchos casos.

El cuadro que se presenta es, por lo tanto, el de la multiplicación de las alternativas ofrecidas en término de materiales, una competencia más intensa entre diversos tipos de materiales, un *hyperchoix* de materiales, en la expresión de T. Gaudin.

Una consecuencia importante de la idea de *hyperchoix* es la revisión del concepto de materiales estratégicos que incluye. A medida que se multiplican las mejoras técnicas en nuevos materiales y nuevos procesos, se diluye el carácter estratégico que algunos materiales puedan tener y en consecuencia disminuyen los riesgos asociados a su dependencia.

Por lo tanto, los nuevos materiales tienden a desvalorizar doblemente las materias primas. En primer lugar, reducen la parte de costo que les corresponde en el producto final, en la medida en que la tecnología de proceso tiene un peso cada vez mayor. Es la tecnología y no la materia prima el factor preponderante en los costos. En segundo lugar, los nuevos materiales eliminan de las materias primas su eventual carácter estratégico. Un propietario de determinado recurso que esté, por ejemplo, en condiciones privilegiadas de monopolio, puede no conseguir sobrevalorizar ese recurso, esto es, apropiarse de su valor estratégico, ya que la tecnología está en condiciones de desarrollar sustitutos que volverían inútil su monopolio.

Para los países de América Latina que cuentan con una amplia base de recursos naturales, debe considerarse ese impacto de los

nuevos materiales. La reducción de la dependencia de los países desarrollados respecto a la importación de materias primas, algunas de las cuales son exportadas por la región, tiende a afectar en forma negativa su balanza comercial. Sin embargo, no se deben sobrestimar los efectos de ese proceso, como si la introducción de nuevos materiales significase *ipso facto* el desplazamiento de materiales tradicionales y de sus materias primas, lo que como ya vimos no ocurrirá. Cabe observar también que la desvalorización de las materias primas debido a los nuevos materiales, repercute de forma desigual sobre América Latina, afectando de forma más intensa a los que dependen de las exportaciones mineras, como Chile y Bolivia.

Retomemos aquí el análisis de los impactos indirectos de los nuevos materiales, examinando por clase de material las principales industrias consumidoras afectadas.

En el esquema 3 se presentan los sectores consumidores potenciales de los diferentes materiales cerámicos avanzados.

ESQUEMA 3

sectores consumidores potenciales funciones de las cerámicas										
	electrónico	eléctricos	telecomunicaciones	mecánico (máq. herr.)	metalúrgico	automotriz	aero-espacial	energético	químico-petroquímico petrolif.	médico-hospitalario
electro-electrónicas										
aislantes eléctricos	X	X								
ferroeléctricos	X	X								
semiconductores	X									
piezoeléctricos	X	X								
conductores iónicos									X	
magnéticas	X	X								
ópticas	X	X	X							
mecánica y termo-mecánica										
herramientas para cortar				X						
resistentes al desgaste y fractura					X	X	X			
resistentes al calor					X	X	X			
compuestos				X		X	X			
químicas					X	X			X	
térmicas	X	X			X					
biológicas										X
nucleares								X		

La investigación y desarrollo, así como el mercado actual y potencial, en el mundo, de las cerámicas avanzadas están concentrados en las áreas relacionadas con usos estructurales y electrónicos. En la actualidad, 80% del mercado es dominado por las cerámicas electrónicas y magnéticas, pero las previsiones indican que ese porcentaje deberá caer hasta 60% o 40% debido a una mayor utilización de las cerámicas estructurales, en especial para aplicaciones en motores donde se espera un avance significativo a partir de 1990.

Las cerámicas estructurales son las que poseen propiedades mecánicas y termomecánicas superiores como alta resistencia a la fractura, abrasión, desgaste y corrosión, en condiciones de temperatura elevada. Ejemplos de estos materiales son los óxidos de aluminio, titanio y circonio, los carburos de aluminio, silicio y titanio y los nitratos de aluminio, titanio y silicio. Su mayor impacto en la industria deberá ocurrir en los sectores metal-mecánico (fundamentalmente en herramientas de corte) y en el sector automovilístico y aeronáutico para uso en motores y turbinas produciendo una mayor eficiencia en el consumo de combustible.

En el sector electro-electrónico, las cerámicas ya están siendo utilizadas en sustratos y recubrimientos para dispositivos microelectrónicos, en especial a través del desarrollo de diferentes tipos de alúmina. Las aplicaciones previstas de mayor importancia serían en condensadores (titanatos de bario y estroncio) y en dispositivos que aprovechan las propiedades magnéticas de los óxidos combinados de hierro (ferritas).

Cabe mencionar que una difusión mayor de esos materiales está condicionada por algunos problemas técnicos difíciles de resolver, que impiden la producción de piezas y componentes en gran escala y, por lo tanto, elevan los precios. Esos inconvenientes incluyen la fragilidad y baja resistencia al choque térmico características de esos materiales y la dificultad de maquinado, conformación y producción de piezas y componentes en condiciones razonables de reproductividad y confiabilidad.

Para el caso de los materiales poliméricos, los sectores consumidores potenciales se presentan en el esquema 4.

Los tres sectores industriales con mayor potencial de utilización de nuevos polímeros de ingeniería son los sectores de transportes, electro-electrónico y la industria química.

Los plásticos de ingeniería, los polímeros avanzados y los políme-

ros combinados (compuestos, plásticos reforzados, aleaciones poliméricas) son solicitados por sus funciones mecánicas y térmicas superiores (alta resistencia al desgaste, resistencia a la degradación térmica, estabilidad frente a agentes oxidantes y químicos). Esas características permiten su utilización en condiciones extremas de temperatura e impacto, típicas de componentes estructurales de aviones y automóviles y de la industria espacial. Los materiales más importantes son las polisulfonas, poliamidas aromáticas, poliamidas, poliamidaimidas, policarbonatos y poliésteres.

ESQUEMA 4

sectores consumidores potenciales funciones de los polímeros	electrónico	eléctrico	telecomunicaciones	mecánico	metalúrgico	automotriz	aero espacial	energético	químico-petroquímico petrolífero	médico-hospitalario
Mecánicas*										
resistencia a fractura, deformación y desgaste				X		X	X			
adhesividad				X		X	X		X	
Térmicas*										
resistencia al calor						X	X			
aislamiento	X									
Electro-electrónicas										
conductividad	X							X		
aislamiento	X	X								
Ópticas										
transmisión de luz	X		X							
reacciones a través de luz	X									
dispositivos de <i>display</i>	X									
Biológicas										
compatibilidad biológica										X
Químicas										
separación iónica									X	
separación líquidos y gases									X	
separación biológica										X
corrosión y resistencia química									X	

* simples o como polímeros combinados

FUENTE: NPCT/UNICAMP, 1987.

Los usos más relevantes en el área de microelectrónica son para litografía y *packaging* de dispositivos microelectrónicos y circuitos integrados.

Los procesos de separación y concentración de gases y líquidos

consumen cerca de 80% de la energía utilizada en la industria química. El uso de membranas poliméricas (poliamidas y poliésteres) que aceptan grandes flujos y mantienen estabilidad química y térmica, permitirá una apreciable reducción del consumo de energía en los procesos que utilizan grandes volúmenes.

Las membranas poliméricas pueden ser usadas también para la producción de reactivos de alta pureza para la industria microelectrónica (ultra filtración), filtración y concentración de jugos en la industria alimentaria, desalinización del agua del mar (por ósmosis inversa) y en operaciones de recuperación secundaria de petróleo (separación de gases). Además de esos usos más específicos, los materiales poliméricos, especialmente los de uso más extensivo, se diversifican y se difunden en los sectores de bienes de consumo.

Para el caso de los metales, como ya fue mencionado, hoy existe una gran revalorización y tienen importantes aplicaciones en casi todos los sectores industriales, como se muestra en el esquema 5.

Las nuevas aleaciones metálicas obtenidas fundamentalmente con innovaciones de proceso en aleaciones ya existentes, permiten adecuar mejor las características a los usos específicos, controlar la calidad y la reproducción, así como conseguir una reducción considerable en los costos. Como ejemplo, podemos citar, las aleaciones especiales de titanio, níquel y superaleaciones y los aceros microaleados (en especial con niobio), que tienen aplicaciones importantes en las industrias automovilística, bélica, aeroespacial, siderúrgica, eléctrica y petrolífera.

Para la industria electro-electrónica se destacan los materiales metálicos de grado electrónico (semiconductores y aleaciones súper puras) utilizados en particular en dispositivos microelectrónicos.

Elementos para una política regional para los nuevos materiales

Como fue observado, los países de América Latina deben tener una mayor preocupación con los materiales en su conjunto, ya que los materiales tradicionales todavía disfrutaban de un potencial considerable de expansión en la región y el fenómeno de sustitución por nuevos materiales no debe ser sobrestimado (incluso en el nivel mundial). Considerando, además, las enormes deficiencias cualitativas de la producción local de materiales tradicionales, es recomendable un gran esfuerzo de capacitación tecnológica dirigido hacia

ESQUEMA 5

sectores consumidores potenciales							
metales, aleaciones y semiconductores	<i>electro-electrónico</i>	<i>automotriz</i>	<i>aero-espacial</i>	<i>bélico e armamentos</i>	<i>energético</i>	<i>químico-petroquímico</i>	<i>médico-hospitalar</i> <i>embalaje</i> <i>almacenamiento</i>
No-ferrosos leves							
aleaciones de aluminio	X	X	X	X	X		X
aleaciones de magnesio		X	X				
aleaciones de cinc	X	X					
No-ferrosos densos							
aleaciones de cobre	X		X		X		
aleaciones de plomo	X				X		
Aleaciones especiales							
aleaciones de titanio			X		X	X	X
aleaciones de níquel			X			X	
super aleaciones		X	X			X	
aleaciones y metales refract.	X		X			X	X
Aceros especiales							
aceros revestidos	X	X					X
aceros microaleados		X		X			
aceros inoxidables				X		X	
aceros ultrarresistentes		X	X				
Aleaciones raras							
efecto memoria			X				X
superconductoras	X				X		
compuestos metálicos		X	X				
aleaciones amorfas	X					X	
tierras raras	X		X				
Materiales grado electrónico							
semiconductores	X			X	X		
aleaciones super puras	X						

la producción de esos materiales a un costo y calidad compatibles con los de los países desarrollados. Para conseguir ese objetivo se debería poder contar con algunas tecnologías extranjeras que ya están maduras en el mercado internacional, con asociaciones con productores extranjeros y con otras formas de integración con los países desarrollados. No obstante, no se deberán en ningún caso despreciar los esfuerzos internos de capacitación, necesarios para

mantener actualizada la tecnología, y para garantizar la autonomía de la estrategia de desarrollo industrial de los países de la región.

El interés por los materiales tradicionales no excluye por supuesto los esfuerzos de desarrollo y producción de los nuevos materiales. Esos esfuerzos deben estar caracterizados por una gran selectividad considerando que los lazos entre productores y consumidores de materiales tienden a estrecharse, incluso con una mayor subordinación de los primeros a los segundos. Sugérimos que la definición de qué nuevos materiales deben ser desarrollados y producidos en la región, debe estar siempre vinculada a la decisión sobre cuáles son los sectores consumidores prioritarios. Esto es, una política para los nuevos materiales presupone su articulación con una política industrial global que defina, seleccionando, cuáles son los sectores industriales que los países y la región pretenden desarrollar. Naturalmente, no es fácil elaborar una política industrial global para América Latina cuando se conocen las dificultades de establecer políticas industriales en cada país. Por esta razón, destacamos, dentro de las características de la política industrial, la selectividad como elemento que facilita la especialización y su coordinación regional.

Como parte de los esfuerzos de capacitación, y una vez definidos los sectores consumidores prioritarios, pueden ser elaborados programas de investigación y desarrollo específicos de nuevos materiales. La selectividad no se restringe a la definición de qué hacer, sino también a la de quién puede hacerlo. Por lo tanto, la responsabilidad principal de la ejecución de esos programas debe ser atribuida a las entidades (universidades, instituciones de investigación y empresas) que ya hayan demostrado, sin lugar a dudas, un alto potencial y capacitación en el área. Los llamados "grupos emergentes" deben ser objeto de programas suplementarios de apoyo para que, en plazos determinados, adquieran las condiciones necesarias para participar junto a los demás.

Los esfuerzos de capacitación, si son coordinados en la región, no reforzarán tan sólo la especialización establecida en cada país latinoamericano, sino también definirán las iniciativas conjuntas que incluyan dos o más países. Para muchas actividades de capacitación tecnológica en nuevos materiales será deseable una mayor concentración de personas calificadas para la investigación y/o la enseñanza. Así mismo, la instalación de laboratorios complejos y la

formación de recursos humanos de alto nivel, dada la magnitud de las inversiones necesarias, debería realizarse en algunos cuantos centros de tipo regional y no nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Microelectrónica

- Bessant, J.R., *Microelectronics monitor*, Viena, Unido, 1983.
- Ernst, D., *Restructuring world industry in a period of crisis: the role of innovation analysis of second development in the semiconductor industry*, Viena, Unido, 1981.
- Erber F., "O complexo eletrônico: estrutura, evolução histórica e padrão de competição", IEI/UFRJ, Río de Janeiro, *Textos p/Discussão*, núm. 19, 1983.
- Humbert, M., *Estudio global sobre la electrónica mundial*, Rennes, Gerdic, 1989.
- Nochteff, H. y Lahera, E., "La microelectrónica y el desarrollo latinoamericano", en *Revista de la CEPAL*, abril, Santiago, pp. 169-183, 1983.
- OCDE, *Grande programmes de R&D pour les technologies de l'information*, París, 1989.
- Rada, J., *Structure and behaviour of the semiconductor industry*, UNTAC, Ginebra, 1982.
- Soifer, R.J., "Informática: políticas y experiencias nacionales", en *Progreso económico y social de América Latina*, informe 1988, BIRD, Santiago, pp. 111-205, 1990.
- Suzigan, W., *A nova articulação da economia mundial e as opções para o Brasil: estratégia industrial e modernização tecnológica*, Campinas, 1988.
- Tapia, J.R.B., Tendencias em C&T: microeletrónica, Campinas, cadernos p/discussão, núm. 5, NPCT/Unicamp, Campinas, 1985.
- Tigre, P.B. Perspectivas da industria Brasileira de Computadores na 2a. metade dos anos 80, en IEI/UFRJ, Río de Janeiro, *Textos p/discussão*, núm. 89, 1986.
- "Como a América Latina se enquadra na alta tecnologia?", en *Ensaio FEE*, núm. 2, Porto Alegre, pp. 212-224, 1989.
- Wad, A. *Limitations and opportunities for developing countries of emerging microelectronics technologies in new frontiers in technologies application*, UNESCO, pp. 94-105, París, 1982.

Biotechnología

- Aigle, M. "Quels micro-organismes recombines en fermentation?", *Biofutur*, (80), junio, 1989.

- Baccon-Gibody, J., "Colloque dangers: De in vitro à la production de plantes et à l'amélioration génétique". *Biofutur*, enero, 1988.
- Biofutur*, "Les pas de geant d'Unilever", (64), enero, 1988.
- , "Bioctualité" (82), septiembre, 1989.
- , "Vie des sociétés", (83), octubre, 1989.
- , "Instantanés", (85), diciembre, 1989.
- , "Bioctualité", (86), enero, 1990.
- Dosi, G., *Technical change and industrial transformation*, Londres, The McMillan Press, 1984.
- Ducos, C. y Joly, P.B., *Les biotechnologies*, Ed. La Découverte, 128p., París, 1988.
- Fauler, C., E. Lachkovics, P. Mooney y H. Shand, "The laws of life - Another development and the new biotechnologies", *Development Dialogue* (1-2), 1988.
- GBM, "Genetic engineering and biotechnology monitor", *Unido* (24), 1988.
- Klopengurg, J.R., D.L. Kleinman y G. Otero, "La biotecnología en Estados Unidos y el Tercer Mundo", *Revista Mexicana de Sociología*, 2(1), 1988.

Nuevos materiales

1. Bever, M.B. y Nasar, S., *Materials, technological change and productivity*, Materials and Society, vol. 6, núm. 4, 1982.
2. Cohndet *et al* (1987), *Les matériaux nouveaux*, Économica, 1987.
3. Industrial Bank of Japan (1986), *Light and Shadow: The Two Aspects of the New Materials Business*, IBJ, 1986.
4. Jetro, "The development of structural fine ceramics in Japan", Jetro, *The Japan Industrial and Technology Bulletin*, núm. especial, 15, 1983.
5. Quiroz, S. y Mitlag, H., *Tendências em novos materiais*, Textos para Discussão, núm. 3, Núcleo de Política Científica y Tecnológica — UNICAMP, octubre, 1985.
6. NPCT/UNICAMP: *Novos materiais: subsídios para uma estratégia de desenvolvimento científico e tecnológico*, Relatório ao Ministério de Ciencia e Tecnologia, Núcleo de Política Científica e Tecnológica — UNICAMP, 1987.
7. Sen, J.P., "How to enter the advanced ceramic business", *Ceramics Industry*, abril de 1986.