



Materiales y materias primas

Los materiales y la humanidad

Capítulo 1

Guía didáctica

Autor | José Galvele

Autoridades

Presidente de la Nación

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Ministro de Educación

Dr. Alberto E. Sileoni

Secretaría de Educación

Prof. María Inés Abrile de Vollmer

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica

Lic. María Rosa Almandoz

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional

Ing. Roberto Díaz

Ministerio de Educación.

Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Saavedra 789. C1229ACE.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

República Argentina.

2011

Director de la Colección:

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinadora general de la Colección:

Claudia Crowe

Diseño didáctico y corrección de estilo:

Lic. María Inés Narvaja

Ing. Alejandra Santos

Coordinación y producción gráfica:

Augusto Bastons

Diseño gráfico:

María Victoria Bardini

Augusto Bastons

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Ilustraciones:

Diego Gonzalo Ferreyro

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Administración:

Cristina Caratozzolo

Néstor Hergenrether

Colaboración:

Jorgelina Lemmi

Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez

Dra. Stella Maris Quiroga

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición. Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto.

Colección Materiales y materias primas

Serie producida por el Canal Encuentro junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). A lo largo de catorce capítulos* el ciclo desarrolla el origen, las propiedades, el contexto de descubrimiento y la utilización de diferentes materiales y materias primas, y el impacto que causaron en la vida de la humanidad durante su historia.

Aire, aluminio, hierro, azufre, polímeros, madera, cerámicos son algunos de los protagonistas de esta colección.

DVD 1

Capítulo 1
Los Materiales y la humanidad

Capítulo 2
Aire

Capítulo 3
Madera

DVD 2

Capítulo 4
Azufre

Capítulo 5
Minerales de hierro

Capítulo 6
Cerámicos

Capítulo 7
Aluminio

DVD 3

Capítulo 8
Biomateriales

Capítulo 9
Polímeros

Capítulo 10
Materiales compuestos

DVD 4

Capítulo 11
Silicio

Capítulo 12
Nanomateriales

* La versión impresa de la colección **Materiales y materias primas** está constituida por doce capítulos. La parte 1 y 2 de las series **Los materiales y la humanidad** y **Nanomateriales** fueron unificadas respectivamente.

Índice | Los materiales y la humanidad

Presentación

Red conceptual

1.1. Los materiales, la tecnología y la humanidad

1.2. Edad de piedra

1.3. Edad de cobre

1.4. Edad de hierro

- ◆ ¿por qué se tardó tanto en pasar de la edad del bronce a la edad del hierro?
- ◆ ¿Cuáles son las ventajas del hierro respecto al bronce?

1.5. Época contemporánea

- ◆ 1.5.1. Aluminio
- ◆ 1.5.2. Titanio

1.6. Materiales no metálicos

- ◆ 1.6.1. Porcelana
- ◆ 1.6.2. Válvulas
- ◆ 1.6.3. Polímeros

Actividades

Respuestas tentativas

Referencias

Lecturas recomendadas

Sobre el autor

Los materiales y la humanidad

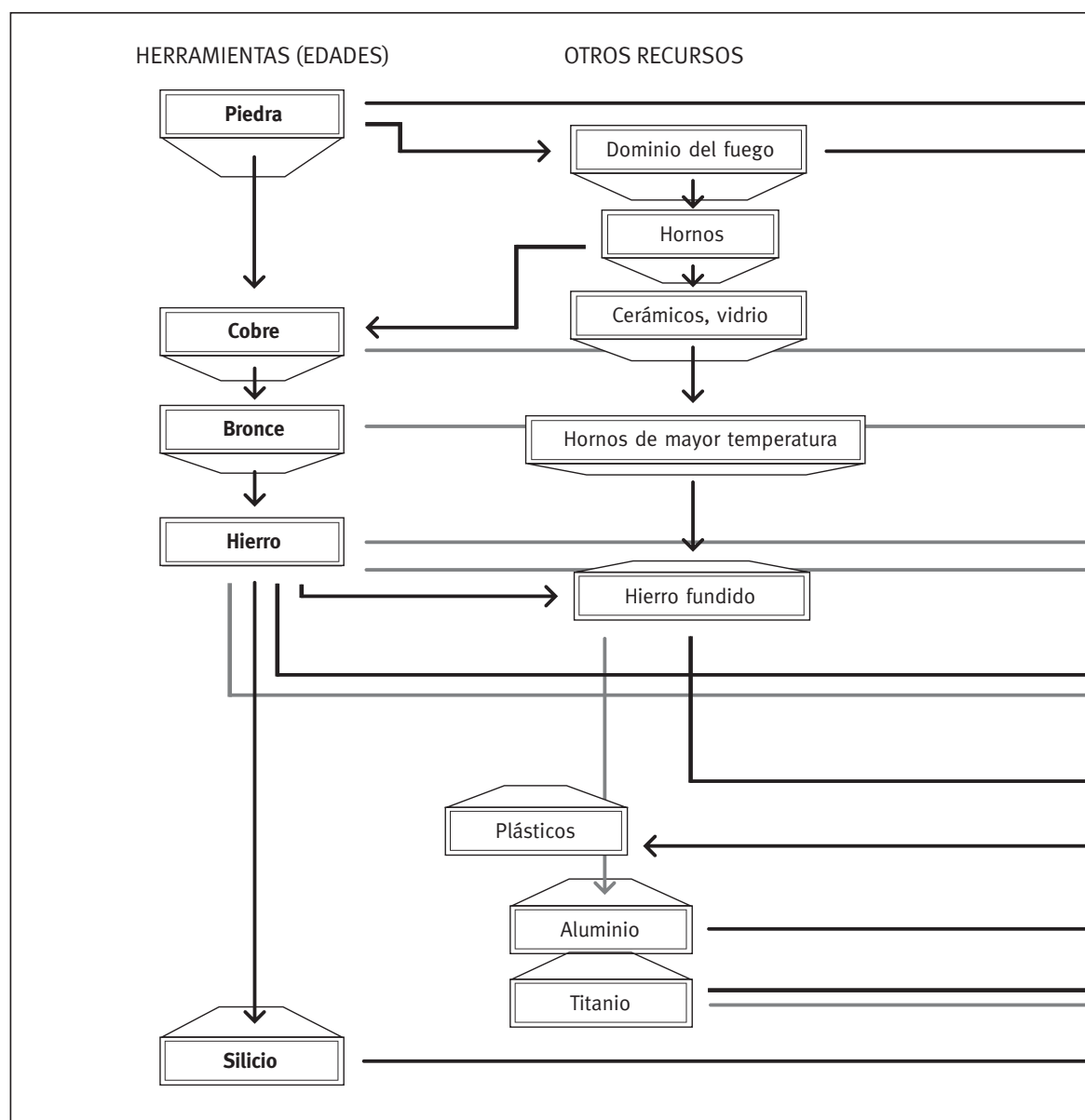
Dr. José R. Galvele

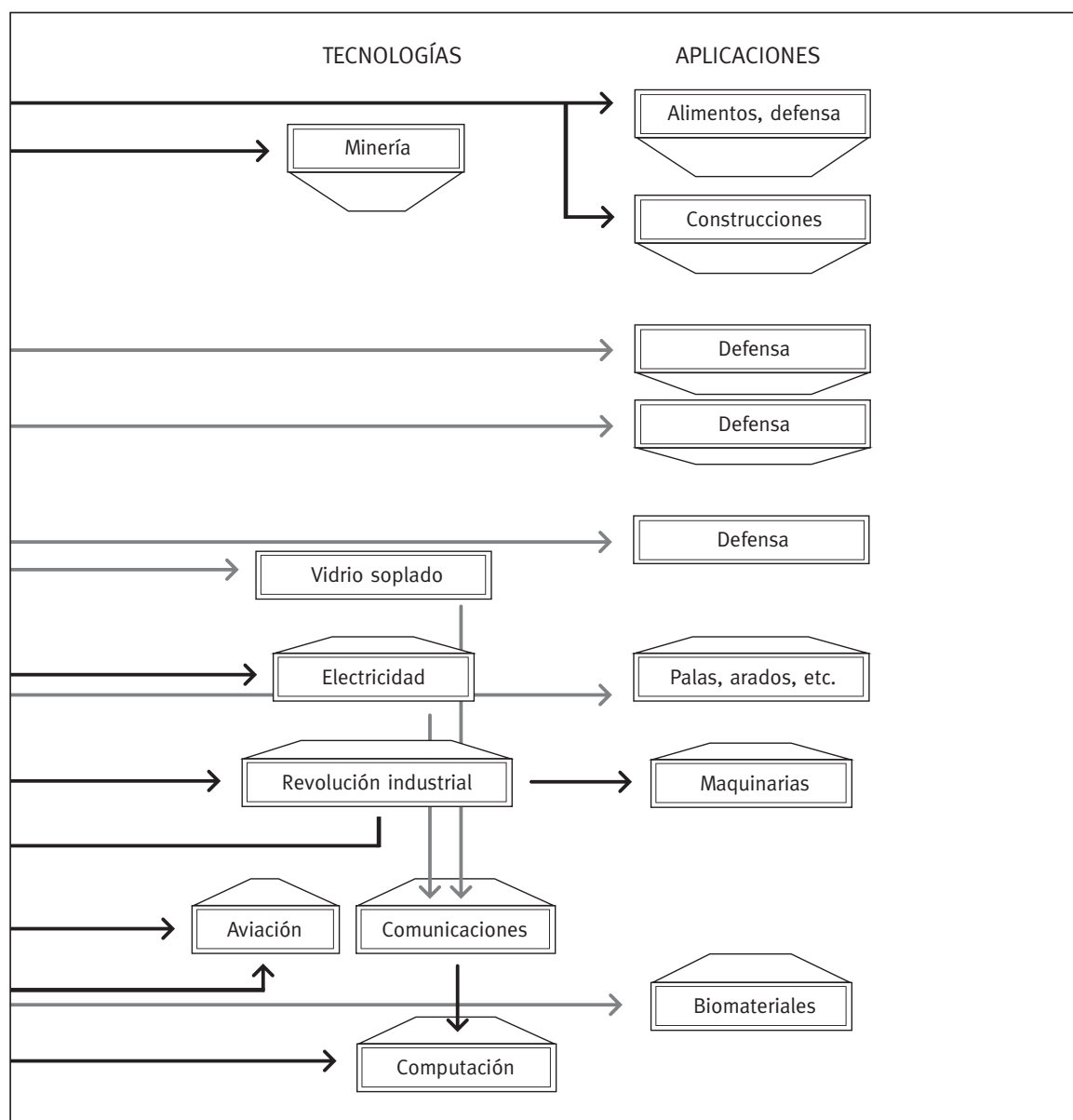
Presentación

El presente texto es una rápida revisión del impacto que tuvieron los materiales en la vida del hombre e intenta ser una introducción al estudio de los materiales.

El autor espera que los lectores se interesen en el tema de los materiales que a pesar de ser un área fundamental para el progreso de nuestro país, su interés y sus posibilidades de desarrollo suelen pasar inadvertidos.

Red conceptual





1.1. Los materiales, la tecnología y la humanidad

Nos pasa muy frecuentemente que miramos sin ver, distraídos por algún problema cotidiano (el colectivo que se retrasó, el desayuno que estaba frío, la tarea que no completamos, el resultado adverso del último partido de fútbol, las opiniones de un político que nos resulta antipático, etc.). Me pregunto cuántos se habrán detenido a pensar alguna vez que pasaría si, por arte de magia, en un instante desaparecieran todos los materiales desarrollados por la humanidad durante más de dos millones de años.

Si esto ocurriera nos encontraríamos:

- Totalmente desnudos.
- Caminando descalzos por el pasto.
- Comunicándonos, sólo, presencialmente.

Las facilidades, comodidades o el confort que disfrutamos diariamente desaparecerían en este mismo instante: viviendas, transporte, vestimenta, calzado, medios de comunicación, entre otros. Gracias a una tarea que comenzó hace más de dos millones de años y que continúa en la actualidad a un ritmo cada día más acelerado, se han desarrollado infinidad de materiales que

nos permiten, mal o bien, vivir en la forma en que lo hacemos.

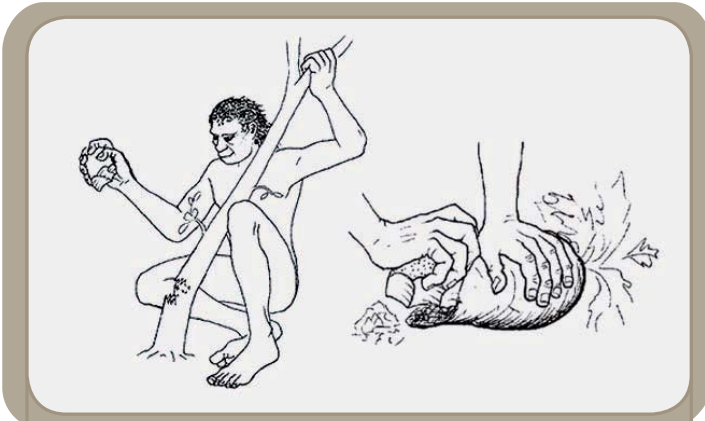


Figura 1 & 2. Izq: Las piedras filosas le permitieron cortar árboles y usar la madera en infinidad de aplicaciones. Der: También con las piedras filosas pudo cortar fácilmente sus alimentos, tanto de origen vegetal como animal

Sí, todo comenzó hace unos 2,6 millones de años,⁽¹⁾ cuando un antecesor nuestro, El Homo habilis o algún contemporáneo suyo, en algún lugar de África oriental, se entretenía golpeando dos piedras entre sí. Al hacerlo, una de ellas se fracturó exponiendo bordes muy filosos. Así fue como comprobó que, con esa piedra filosa, podía cortar fácilmente ramas de árboles (Fig. 1) Comprobó, también, que con ese tipo de piedras fracturadas podían cortar alimentos, (Fig. 2), cazar más fácilmente los animales de los que se alimentaban y defenderse de aquéllos que les resultaban peligrosos. Alguno de estos antecesores nuestros habrá descubierto, con inmensa satisfacción, que, armado con una de estas piedras filosas, pudo hacer frente con éxito y ahuyentar al grandote de una cueva vecina que constantemente venía a robarle alimentos.

Quienes hicieron este descubrimiento de cómo fabricar piedras filosas fueron desarrollando con el tiempo hachas, flechas, lanzas, cuchillos (Fig. 3) y numerosas otras herramientas que facilitaron sus actividades diarias.



Figura 3. Ejemplos de artefactos de piedra mucho más elaborados que la simple piedra partida

Había nacido la edad de piedra y había nacido también la tecnología. Tal como nos decía el Prof. Jorge Sabato, "*... la tecnología nace de la siguiente necesidad: ¿cómo hago para dominar la naturaleza, ante la cual soy débil y tengo muchas deficiencias... ?*"

Los especialistas que estudiaron la prehistoria de la humanidad (o sea lo que ocurrió antes de los documentos escritos) encontraron adecuado dividirla en tres edades:

1.- edad de piedra,

2.- **edad del bronce** y

3.- **edad del hierro**,

Según los materiales utilizados por el hombre para la fabricación de herramientas. A continuación de estas edades, dichos especialistas ubican la historia escrita. Por otro lado, en los textos que se dedican a la historia de los materiales,⁽²⁾ encontramos que se mantiene esta división en edades hasta la actualidad y que la edad de hierro continúa hasta nuestros días. De acuerdo con algunos autores, desde hace pocas décadas habríamos entrado en la **edad del silicio o de los materiales electrónicos**.

1.2. Edad de piedra

A medida que la especie Homo fue evolucionando,¹ las técnicas de elaboración de herramientas de piedra se volvieron más complejas (Fig. 4).

Las herramientas de piedra le permitieron al hombre el trabajado del cuero, el hueso, la madera, etc. con lo que pudo mejorar, sustancialmente, su calidad de vida.⁽⁴⁾

Luego de la tecnología de la piedra, otro avance tecnológico que realizó el hombre, hace unos 200.000 años fue el **encendido del fuego**.⁽⁴⁾ Esto le permitió ahuyentar animales salvajes, iluminarse en la oscuridad prolongando, así, su tiempo de trabajo diario o trabajar en túneles o cuevas, cocinar alimentos, enfrentar climas fríos, entre otras ventajas.

El trabajo en túneles lo hacía para buscar piedras de mejor calidad para el tallado. También para encontrar minerales de diferentes colores que utilizaba para pintarse, para pintar dentro de las cavernas, para adorno personal y para adornar artefactos que comenzó a producir años después.

Si prestamos un poco de atención a lo que estamos diciendo, esto de alumbrarse en túneles excavados es ni más ni menos que el nacimiento de la **minería**.

También debe destacarse como avance tecnológico muy importante el desarrollo de la **alfarería**. Esta tecnología le permitió fabricar recipientes para conservar alimentos y protegerlos de la acción de insectos o roedores, fabricar ladrillos, tejas, etc. Es, precisamente, para adornar algunos de estos productos de alfarería que usaban algunos de los minerales a los que hicimos referencia anteriormente.

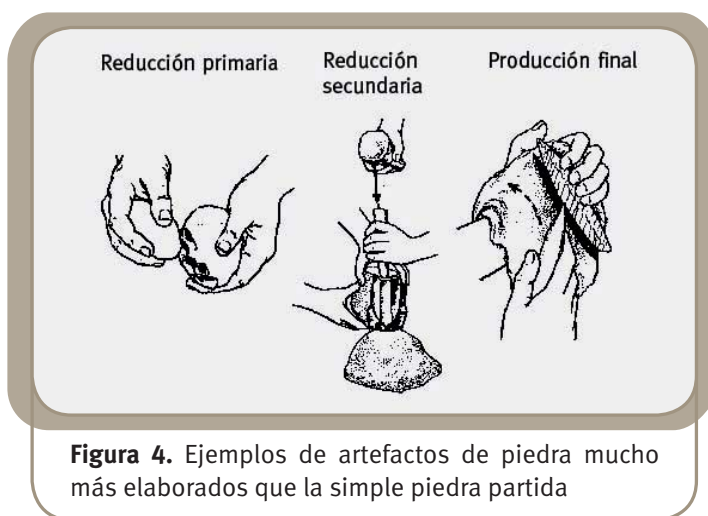


Figura 4. Ejemplos de artefactos de piedra mucho más elaborados que la simple piedra partida

¹ Si desean obtener más información sobre estas técnicas la pueden encontrar en el programa SARC (Stone Age Reference Collection), desarrollado por el Instituto de Arqueología de la Universidad de Oslo, Noruega.⁽³⁾

Además, y éste es un punto muy importante para el tema que estamos tratando, los hornos de alfarero fueron la base de los posteriores hornos de metales, es decir, de la **metalurgia**.^(2,4) Una constante que observamos en todos los tiempos es que el desarrollo tecnológico en un área suele contribuir al avance en otras áreas, en una magnitud que, hasta ese momento, era imprevisible.

Volviendo al hombre prehistórico, quienes hicieron estudios de ADN sugieren que hace unos 50.000 años el *homo sapiens*, partiendo del África, se lanza a la conquista del planeta, (Fig. 5),⁽⁵⁾ llevando consigo las tecnologías de la piedra, el fuego, la alfarería y demás conocimientos que había acumulado. Los desarrollos tecnológicos posteriores en los diferentes continentes, tal como lo muestra la Fig. 6, se producen en épocas diferentes. En este desarrollo desigual jugó un papel fundamental la posibilidad de comunicación y de intercambio entre las diferentes regiones del planeta. La edad del cobre, o calcolítica, se desarrolla en América del Sur en forma totalmente independiente de Europa y Asia. En tanto que la edad del hierro llega a América tras el descubrimiento de este continente por parte de los europeos. El nombre de edad calcolítica lo prefieren algunos autores para indicar que es una etapa de transición entre la edad de piedra y la edad del bronce. En la edad calcolítica conviven, simultáneamente, las herramientas de piedra con las de cobre.

Si tomamos en cuenta los períodos de tiempo que abarca cada edad (Fig. 6) vemos que la edad de piedra abarca un período muy extenso de la historia de la humanidad, ¡nada menos que el 99,7% de la misma!

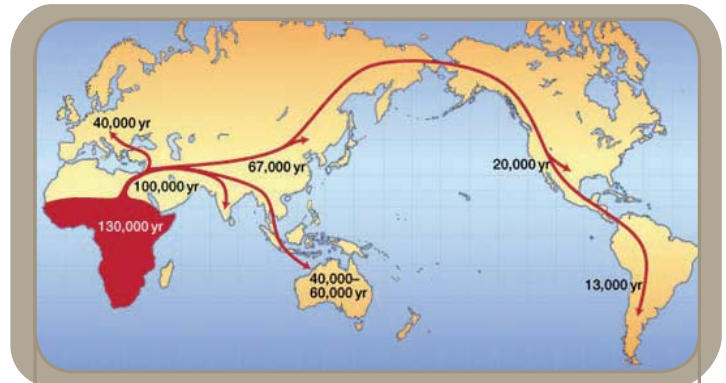


Figura 5. Mapa de migraciones del *H. sapiens sapiens*, basado en estudios de ADN. (yr indica años)

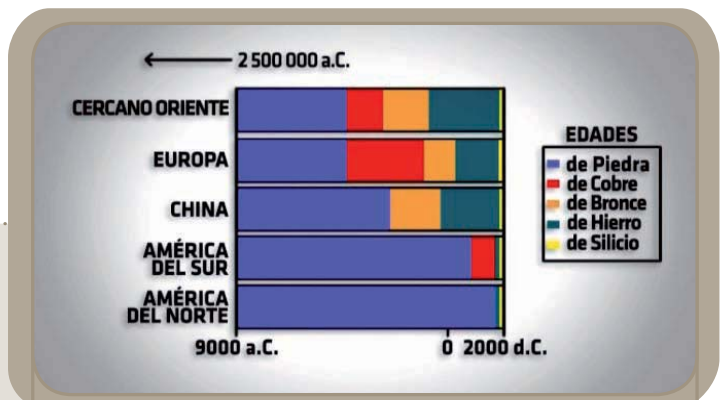


Figura 6. Ejemplos de artefactos de piedra mucho más elaborados que la simple piedra partida

1.3. Edad de cobre

Veamos ahora cómo surge la edad siguiente a la de piedra.

Volviendo a los hornos de alfarería, es una observación muy común que si se sopla una brasa encendida, el brillo de la misma aumenta y, también, aumenta su temperatura. El hombre primitivo observó que, asegurando una corriente forzada de aire sobre carbón encendido, podía aumentar la temperatura de sus hornos de alfarería. Si alguna de las piedras coloreadas

que usaba para decorar la alfarería era un mineral de cobre en contacto con el carbón incandescente, el mineral se reduciría a cobre metálico y se fundiría. Al apagar el horno, quien lo estaba usando se habrá encontrado con la gran sorpresa de ver, entre las cenizas del fondo del horno, glóbulos metálicos rojizos. Había descubierto una forma de producir un nuevo material que muy raramente encontraba en la naturaleza y que, ahora, lo podía producir a voluntad. Era cobre metálico. Comprobó que este material se podía deformar golpeándolo con una piedra y que con el mismo se podían fabricar diferentes objetos. Aprendió también que si se reunían muchos de esos glóbulos metálicos y se los fundía juntos se podían fabricar piezas de mayor tamaño, tales como hachas, espadas, puntas de flecha, etc.

No eran tan filosas como las de piedra, pero tenían la ventaja de ser mucho menos frágiles y se las podía fabricar de mayor tamaño que las de piedra, dar muchas formas diferentes que con el material conocido no podía. Los que adquirieron esta tecnología pronto se encontraron en gran ventaja respecto a aquéllos que no la poseían.

Entre los primeros indicios de producción de cobre⁽⁶⁾ se encuentran los de la Civilización del Valle del Indo, actualmente Pakistán, y datan de unos 4300 años a.C. Hay observaciones similares que corresponden a la misma época, en el sur de Turkmenistán y el norte de Irán, lo que sugiere un importante intercambio de productos e información en toda esa zona.

Para producir el cobre metálico los hornos debían contar con una corriente de aire forzada. La misma se conseguía a pulmón, soplando con tubos cerámicos o construyendo los hornos en condiciones de fuerte corriente de aire o usando fuelles para soplar aire en los hornos. Una forma posible de horno⁽²⁾ puede verse en la Fig. 7. Por lo que sabemos,⁽⁷⁾ cuando se trabajó con cobre en el Perú no se usaron fuelles sino que se ubicaban los hornos en las laderas de las montañas para asegurar una corriente de aire. En tanto la edad del cobre aparece en Asia 4300 años a.C., en el Perú este desarrollo se produce recién 1000 años d.C.

Sabríamos muy poco sobre el hombre de la edad del cobre si no fuese que el 19 de setiembre de 1991, dos turistas alemanes encontraron un cuerpo humano en un glaciar, en el límite entre Austria e Italia. Al principio las autoridades austríacas supusieron que se trataba de un escalador que habría



Figura 7. Probable forma de los primeros hornos de producción de cobre



Figura 8. "Tumi" cuchillo peruano, de la edad de cobre⁽⁷⁾

sufrido un accidente fatal. Luego se descubrió que la fecha de la defunción era **¡3300 años a.C.!** **¡El cuerpo pertenecía a un hombre de la edad del cobre!**⁽⁸⁾ Inmediatamente los italianos, que hasta ese momento no habían prestado mucha atención al hallazgo, se dieron cuenta de que el cuerpo había sido hallado 92,56 m dentro de su territorio y lo reclamaron como propio. Desde 1998 el cuerpo, conocido vulgarmente como **“Ötzi the Iceman”** se encuentra preservado en una heladera especial, en el Museo Arqueológico de Bolzano, en Italia. El nombre con el que se lo bautizó deriva del lugar en el que fue hallado: Alpes Ötztal.

¿POR QUÉ ES TAN INTERESANTE ESTE DESCUBRIMIENTO?

Porque las condiciones del glaciar preservaron inalterado el cuerpo por 5300 años. Se pudo recuperar además parte de la vestimenta, del calzado y de los variados accesorios que llevaba consigo Ötzi en el momento de su muerte. Con esta información se pudo reconstruir su apariencia (Fig. 9). Al producirse su deceso,⁽⁸⁾ Ötzi medía, aproximadamente, 1,65 m de altura y se calcula que tenía entre 40 y 50 años. El análisis del contenido intestinal permitió saber que unas ocho horas antes de morir había comido carne de gamuza y, también, carne roja de ciervo. Ambas comidas con algún grano de un salvado, probablemente, en forma de pan. Por el tipo de granos de polen hallados en este análisis se dedujo que el deceso ocurrió en primavera.

El cabello de Ötzi contenía partículas de cobre y de arsénico, lo que hace suponer que había participado en tareas de producción y fundición de cobre. Entre sus pertenencias se encontró un hacha de cobre con mango de tejo (Fig. 10). Tenía además una aljaba llena de flechas con puntas de pedernal, un arco y un cuchillo de pedernal con mango de madera de fresno. Entre sus posesiones había dos especies de hongos. Uno de estos se sabe que tiene propiedades bactericidas y lo llevaba como producto medicinal en tanto que, el otro, junto con una pieza de pedernal y otra de pirita, formaban parte de un kit para encender fuego.

La vestimenta de Ötzi incluía un gorro de cuero de oso, una capa de hierba tejida, un chaleco y zapatos de cuero. No tenía ropa tejida con fibras animales, como lana o fibras vegetales como lino



Figura 9. Apariencia probable de Ötzi, el hombre de la edad del cobre



Figura 10. Hacha con punta de cobre y mango de madera, de Ötzi



Figura 11. Réplica del calzado de Ötzi

o algodón. Este tipo de tejidos sólo aparecerán en la historia del hombre muchos años después. En cambio, lo que llamó la atención fue lo elaborado que era el calzado que tenía. Estaba hecho con piel de oso para las plantas del pie, piel de ciervo en la parte superior, y una red hecha de corteza de árbol. Una hierba suave circundaba el pie actuando como medias aislantes y cálidas. El cuero estaba impermeabilizado con grasa animal.

Un profesor checo hizo una reproducción de los mismos (Fig. 11) y se los hizo probar a varios escaladores de montaña, quienes los encontraron muy confortables y seguros. Según una noticia publicada el 18 de julio de 2005 un fabricante de calzado estaba analizando la posibilidad de comercializarlos.⁽⁸⁾

Dejemos ahora a Ötzi y la edad del cobre para volver a la zona del Valle del Indo. Los habitantes del lugar después de, aproximadamente 1000 años de usar el cobre, mejoraron sus propiedades agregándole otro metal, el estaño. Al principio, en varios lugares se usó la adición de arsénico pero terminó descartándose al observar que afectaba seriamente la salud de los fundidores. En general, se prefirió la adición de estaño con lo que se obtenía lo que ahora conocemos como bronce.

Si consultamos algún libro de metalurgia hay dos cosas importantes que encontraremos y que se aplican al tema que estamos considerando:

- 1.- La primera es que siempre los metales puros son más blandos que sus aleaciones.
- 2.- La segunda es que una aleación funde a menor temperatura que el metal puro.

De modo que, al agregar estaño al cobrey obtener el bronce, se tenía un material que fundía más fácilmente y que era considerablemente más duro que el cobre.

El bronce demostró así ser mucho más conveniente que el cobre por lo que en el uso para armas y aplicaciones similares desplazó al cobre y a la piedra.

Uno podría preguntarse

¿Por qué, si se descubre un nuevo material con propiedades mecánicas promisorias sólo se piensa en la fabricación de armas, cascos de guerra o armaduras?

¿Por qué no se hacen también puentes, carruajes, u otros artefactos de uso civil?

La respuesta, en el caso del bronce es muy simple: los minerales de cobre no son muy abundantes en la naturaleza, por lo que resultaba imposible encarar construcciones que requirieran cantidades grandes de material, como para hacer un puente. Para estas aplicaciones el hombre debió seguir usando por mucho tiempo la piedra (Fig. 12).

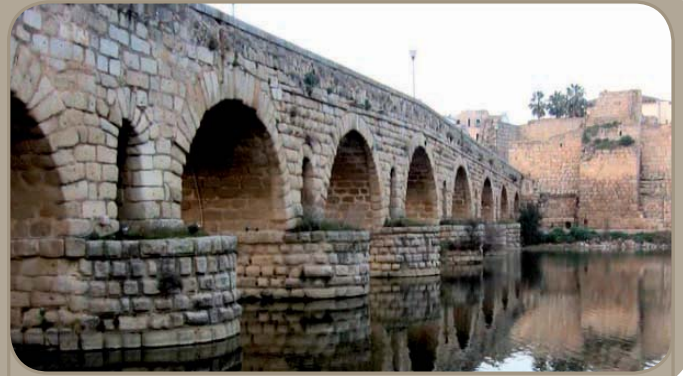


Figura 12. Puente hecho de piedra de la época del imperio romano

Con los años una fuente importante de cobre en la zona del Mediterráneo fue la isla de Chipre. El cobre se comercializaba en forma de lingotes como el que se ve en la Fig. 13. En tanto que el estaño podía provenir de parajes tan lejanos como las Islas Británicas.⁽⁹⁾ Esto nos muestra que en esa época la navegación ya estaba muy avanzada.



Figura 13. Típico lingote de cobre que se comercializaba en la antigüedad

Quienes se hayan interesado en leer algo sobre la historia de Egipto, seguramente, habrán encontrado referencias a la tumba de Tutankamón. El interés en Tutankamón no proviene tanto de la importancia de este faraón en la historia de Egipto sino del hecho inusual de haber hallado una tumba faraónica prácticamente intacta. En cambio, quienes estudian los materiales y las tecnologías de la antigüedad encuentran mucho más interesante la tumba de Rekhmire,⁽¹⁰⁾ que fue Gobernador de Tebas y Visir durante los reinados de Tutmosis III y Amenhotep II. El interés en la tumba de Rekhmire radica en las abundantes pinturas que describen las diferentes artesanías que se realizaban en ese entonces en Egipto (Fig. 14). Estas pinturas datan de 1450 a.C.

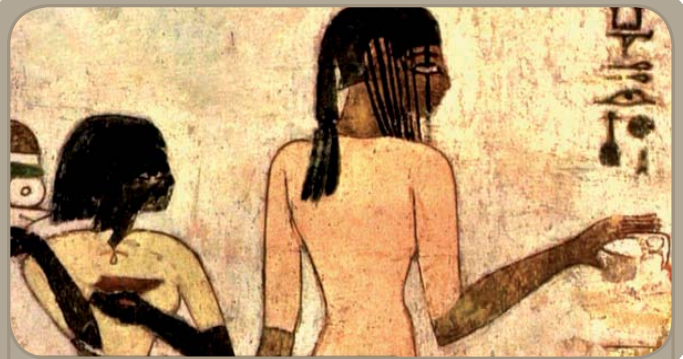


Figura 14. Vista parcial de las figuras que decoran la tumba de Rekhmire

¹ En Internet pueden encontrarse numerosas páginas que describen la tumba y las pinturas.⁽¹¹⁾

Con referencia al trabajado del bronce, las pinturas de la tumba de Rekhmire muestran a un grupo de operarios dedicados a fundir dos puertas de bronce para el templo de Amún, en Karnak. Estas pinturas fueron dibujadas y publicadas por numerosos autores.^(12,13) Las Figuras 15 y 16 muestran ejemplos simplificados de algunos de esos dibujos. En la Fig. 16 se los ve acarreando un típico lingote de cobre de la antigüedad y otros metales para fundir. En los dibujos sólo se los ve refundir metales que traen de otra parte.

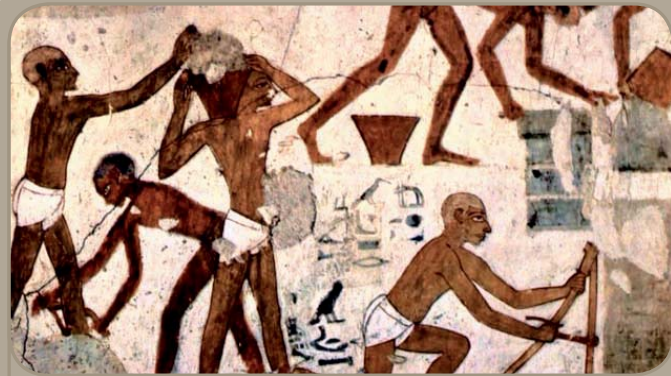


Figura 15. Figuras de la tumba de Rekhmire. Operarios avivando la llama con fuelles y retirando un crisol con metal fundido. Colando el metal en embudos de una lingotera, para hacer una puerta de bronce.



Figura 17. Armas y ornamentos de bronce, típicos de la edad de bronce



Figura 16. Figuras de la tumba de Rekhmire. El primer operario lleva un típico lingote de cobre. Los dos que le siguen probablemente lleven estaño.

Según la referencia (13) las condiciones de trabajo no eran muy saludables. Las fundiciones eran peligrosas, sucias y malolientes. También se menciona en dicha referencia que el uso del arsénico como aleante fue abandonado en esas regiones alrededor del año 2000 a.C. En las culturas de América del Sur, en cambio, se sabe que se usó arsénico para aleaer cobre hasta poco antes de la llegada de los españoles.⁽⁷⁾

1.4. Edad de hierro

Luego de la edad del bronce, el siguiente cambio muy significativo para la tecnología y que afectó mucho la historia de la humanidad, lo observamos entre 1000 y 1500 años a.C. cuando comienza la edad del hierro.^(14,15,16) Vista la abundancia de minerales de hierro en la corteza terrestre (Tabla I) nos podríamos preguntar:

¿por qué se tardó tanto en pasar de la edad del bronce a la edad del hierro?

Ya se tenían los hornos para producir cobre y fundir bronce (Fig. 7).

¿Por qué se tardó 2000 años para ingresar en la edad del hierro?

La explicación debe buscarse en las temperaturas que podían alcanzar esos hornos y las que se necesitaban para fundir el hierro. El cobre funde a 1083 oC y, si se agrega estaño o arsénico, la temperatura necesaria para fundir la aleación puede bajar, según los casos, unos 50 a 100 grados. Para fundir hierro se necesita una temperatura de 1535 oC. Esta temperatura era inalcanzable con hornos como el de la Fig. 7.

Hay una aleación que forma el hierro con alrededor de 4% de carbono y que se la conoce como arrabio. Esta aleación podría haberse formado espontáneamente en los hornos de cerámica, como reacción entre los minerales de hierro y el carbón, si se hubiera alcanzado una temperatura suficientemente alta. Pero aún el arrabio necesita 1130 oC para fundir. Lo cierto es que el hierro fundido no se llegó a conocer en Europa hasta el siglo XIV d.C. y esto fue gracias a que se construyeran grandes hornos, con importante inyección de aire.⁽¹⁷⁾ Un ejemplo del tipo de horno al que nos referimos lo podemos ver en la Fig. 18. Este horno se alimenta por arriba con mineral de hierro, carbón y fundentes, y por debajo se extrae el arrabio fundido.

NOMBRE	SÍMBOLO	ABUNDANCIA % (EN PESO)	DESCUBIERTO (AÑO)
Oxígeno	O	46,71	1774
Silicio	Si	27,69	1824
Aluminio	Al	8,07	1825
Hierro	Fe	5,05	prehistoria
Calcio	Ca	3,65	1808
Sodio	Na	2,75	1807
Potasio	K	2,58	1807
Magnesio	Mg	2,08	1755
Titanio	Ti	0,62	1791
Hidrógeno	H	0,14	1776
Fósforo	P	0,13	1669
Carbono	C	0,094	prehistoria
Manganeso	Mn	0,09	1774
Azufre	S	0,052	prehistoria
Bario	Ba	0,05	1808
Cloro	Cl	0,045	1774
Cromo	Cr	0,035	1797
Flúor	F	0,029	1886
Circonio	Zr	0,025	1789
Níquel	Ni	0,019	1751

En los primitivos hornos de cerámica es muy probable que el mineral de hierro reaccionara con el carbón incandescente. Pero, debido a la relativamente baja temperatura de los hornos, no se producían gotas de metal fundido, como en el caso del cobre, de modo que no se pudo usar con el hierro la tecnología que se conocía muy bien para el bronce.

Con toda seguridad el mineral de hierro se reducía a metal y quedaba en forma de esponja, con sus poros llenos de escoria. Probablemente, esta esponja era observada como un residuo indeseable. Lo que el hombre aprendió entre 1000 y 1500 años a.C. fue cómo trabajar con ese residuo en apariencia inservible.

Lo que aprendió el hombre hace 3000 a 3500 años fue que si golpeaba reiteradamente ese compuesto raro, cuando todavía estaba muy caliente, la escoria salía de los poros y el compuesto se compactaba en una pieza metálica sólida. Ese nuevo metal, el hierro, era mucho más duro que el bronce. El secreto estaba en que había que trabajarlo muy caliente. Golpeando en caliente se podían soldar pedazos de ese metal entre sí, para formar piezas de mayor tamaño. Siempre en caliente y golpeando, se le podía dar formas diferentes y podían fabricar espadas, escudos y hasta ruedas como las que muestra la Fig. 19, las que podrían haber formado parte de los carruajes de los hititas, como el de la Fig. 20. Fueron, precisamente, los hititas^(18,19) quienes, entre 1000 y 1500 a.C. encontraron esta forma de trabajar el hierro. Lo que estaban produciendo es lo que ahora conocemos como hierro forjado. Ninguna de estas piezas había sido fundida. La fabricación era, evidentemente, muy laboriosa, por lo que nos preguntamos:

¿Cuáles son las ventajas del hierro respecto al bronce?

- 1.- La primera es la abundancia de los minerales de hierro frente a la escasez de los minerales de cobre y de estaño. Esto lo convierte en un material muy accesible y abundante.
- 2.- La otra es que era más duro que el bronce, por lo que en muchas aplicaciones lo aventajaba por su resistencia.



Figura 18. Ruedas de hierro de aprox. 1450 a.C.



Figura 19. Ruedas de hierro de aprox. 1450 a.C.

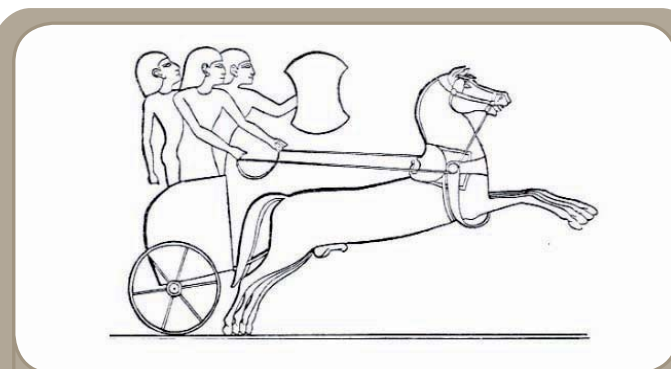


Figura 20. Carro de guerra hitita, según un bajo relieve egipcio

El uso del hierro, debido a su abundancia, encontró usos que no se habían pensado con los otros metales conocidos hasta ese entonces. Se fabricaron armas, como con el bronce, pero también se hicieron pinzas y martillos que facilitaron el trabajo de forjado del hierro, se hicieron arados, guadañas, picos y palas, que facilitaron las tareas agrícolas. Al ser poco resistente a la corrosión atmosférica, no servía como material de ornamento personal, pero fue muy útil para herraduras de caballos y para infinidad de otras aplicaciones útiles en la vida cotidiana.

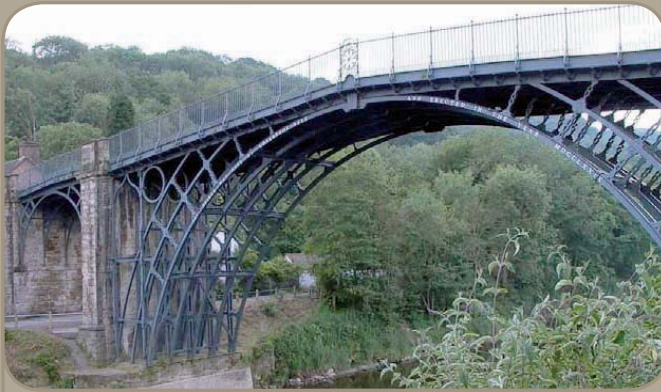


Figura 21. Primer puente de hierro fundido. Construido sobre el río Severn, en Coalbrookdale, Inglaterra, 1779

Cuando con los años se pudo fundir el hierro, este material comenzó a desplazar también a la piedra en estructuras tales como los puentes (Fig. 21). Además, como resultado del amplio uso de hierro forjado y fundido, aparecen impensables equipos y máquinas a vapor, como la que nos muestra la Fig. 22.

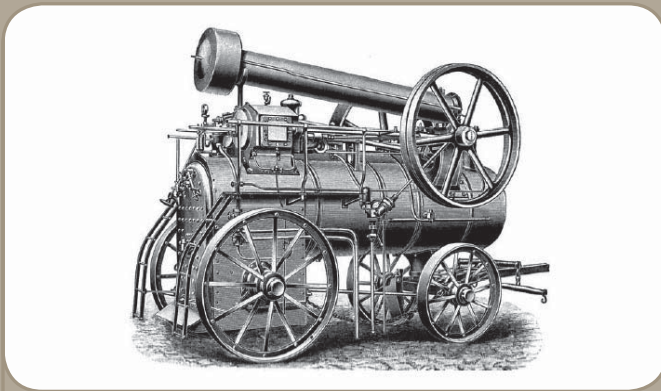


Figura 22. Máquina a vapor hecha en hierro

La aparición de la edad de hierro permitió, además, el desarrollo de nuevas tecnologías en el transporte, en la agricultura y en la fabricación de infinidad de productos de uso diario. Con la ayuda de los equipos hechos en hierro se pudieron descubrir nuevos materiales y metales, tales como el aluminio o el titanio, cuyos minerales eran abundantes en la corteza terrestre, (Tabla I), pero los hornos de carbón no podían reducirlos a la forma metálica. Para su producción, en forma directa, en el caso del aluminio o en forma indirecta, en el caso del titanio, fue necesario disponer de máquinas que produjeran electricidad y que se basaran en estructuras de hierro.

Habiendo aparecido otros metales, tales como el aluminio o el titanio, nos preguntamos:

¿por qué todavía no estamos, desde el punto vista de los materiales, en la edad del hierro?⁽²⁾

Lo que pasa es que, debido a su bajo costo, su abundancia y sus buenas propiedades mecánicas, el hierro es todavía hoy el metal del que más toneladas se producen en el mundo, (Fig.23). El 95,45 % del peso de los metales producidos en la actualidad corresponde al hierro y acero. El peso de todos los otros metales juntos no alcanza al 5% del total.

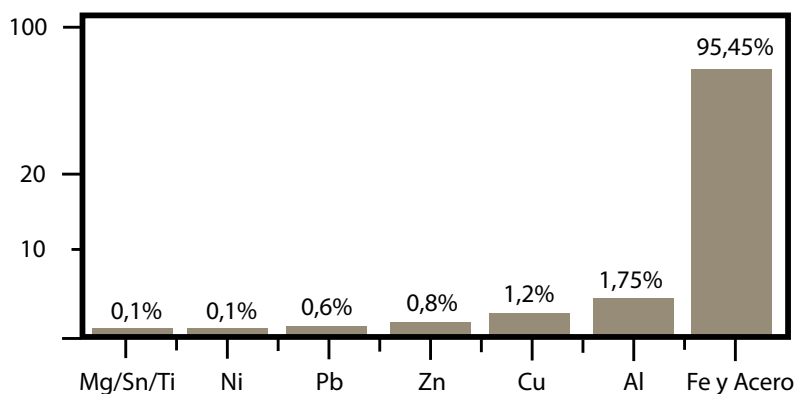


Figura 23. Medida en peso, la producción mundial del hierro y el acero supera muy ampliamente a la de todos los otros metales

Hemos visto que la aparición del hierro desplazó a las herramientas de piedra. Del mismo modo, en la edad del hierro dejaron de usarse muchas de las armas de bronce. Esto no significa que los materiales desarrollados en edades anteriores hayan dejado de usarse. Lo que ocurrió fue que hubo un desplazamiento en las aplicaciones de los mismos. El auge de la edad del hierro no significó que, por ejemplo, el cobre se dejara de usar.

Para citar un ejemplo, la alta conductividad eléctrica del cobre permitió que se desarrollaran generadores de electricidad, con bobinas de cobre, funcionando en estructuras de hierro.

Acabamos de ver que, de todos los metales, el que más se produce mundialmente es el hierro. Pero si en lugar de limitarnos a los metales, consideramos todos los materiales comercializados en el mundo, veríamos con sorpresa que, por peso, el que predomina es la piedra. No se hacen más herramientas de piedra. Tampoco se construyen grandes estructuras, cuidadosamente pulidas y perfectamente ensambladas entre sí, como las que nos dejaron los Incas. Actualmente, este tipo de construcción sería muy costoso y poco práctico. Pero una actividad en la que podemos ver un uso intensivo de la piedra es en la industria de la construcción. Se usa la piedra, por ejemplo, en forma de placas, con diferentes formas, tamaños y acabado superficial para baldosas, mesadas, frentes de edificios, etc. También se usa a granel, como componente fundamental del hormigón.

El uso del hierro permitió desarrollar también otras tecnologías. Por ejemplo, al contar con tubos de hierro, fue posible el soplado del vidrio fundido (Fig. 24). Con el cobre no se podía hacer el soplado del vidrio fundido, por la alta conductividad térmica de este metal. El operario no podría manipular un tubo de cobre que estuviera en contacto con vidrio fundido. El otro problema es la alta temperatura de fusión del vidrio. Tubos de bronce en contacto con el vidrio fundido, también se fundirían. En cambio el hierro tiene baja conductividad térmica y alto punto de fusión. Los herreros pueden martillar el extremo caliente de una barra de hierro en tanto sostienen el otro extremo con la mano.

Lo mismo pasa con el soplador de vidrio de la Fig. 24. El extremo del tubo de hierro, en contacto con el vidrio fundido está muy caliente pero la alta temperatura no se transmite a todo el tubo, de modo que el otro extremo del tubo permanece a temperatura ambiente. De esta forma se pudieron fabricar con facilidad botellas, copas y otros artículos de uso doméstico. El vidrio se convirtió en un producto accesible a la mayoría de la población. Hasta ese momento los recipientes de vidrio, como el de la Fig. 25, se elaboraban con bandas de vidrio que se deformaban en caliente sobre un molde de barro cocido. Luego, se rompía cuidadosamente el molde interior y se pulía la parte exterior. Su elaboración era complicada, por lo que eran objetos muy costosos y solamente accesibles a reyes o faraones. Por ejemplo, la Fig. 25 nos muestra un perfume de vidrio hallado en una tumba egipcia, fabricado por ese método tan laborioso y que, ahora, se expone en el Museo Británico, en Londres.



Figura 24. Soplado del vidrio fundido



Figura 25 Perfumero de vidrio egipcio, hallado en una tumba faraónica

1.5. Época contemporánea

1.5.1. Aluminio

En épocas recientes, un metal que influyó mucho en las actividades del hombre fue el **aluminio**.⁽²⁰⁾ Pese a que los minerales de aluminio son muy abundantes en la corteza terrestre (ver Tabla I), es muy difícil la separación del metal. En 1846 se podían producir pequeñas cantidades de aluminio, pero por un método muy costoso. Como resultado, el aluminio en esa época era más caro que el oro. Prueba de ello es que el emperador Napoleón III que gobernó Francia entre 1852 y 1870, en los banquetes que organizaba, a los invitados principales les hacía servir la comida en platos de aluminio, en tanto que los demás invitados se debían resignar a comer en platos de oro.⁽²⁰⁾ La situación del aluminio cambió, totalmente, en 1886 cuando en forma independiente un americano y un francés desarrollaron un método de producción de aluminio basado en la electrólisis de sales fundidas. Este método, que aún se utiliza, permitió producir aluminio en forma mucho más económica y lo transformó en el metal que vemos diariamente en una multitud de aplicaciones.

El hecho de ser un metal resistente mecánicamente y además liviano, lo hizo muy atractivo para la industria aeronáutica. Así es como se usó en las estructuras de los antiguos dirigibles, tales como los alemanes Zeppelin (Fig. 26). Más tarde permitió la construcción de los aviones comerciales que estamos acostumbrados a ver en la actualidad (Fig. 27).

El uso del aluminio hizo posible que el transporte aéreo se convierta en un recurso accesible a la mayoría de las personas.

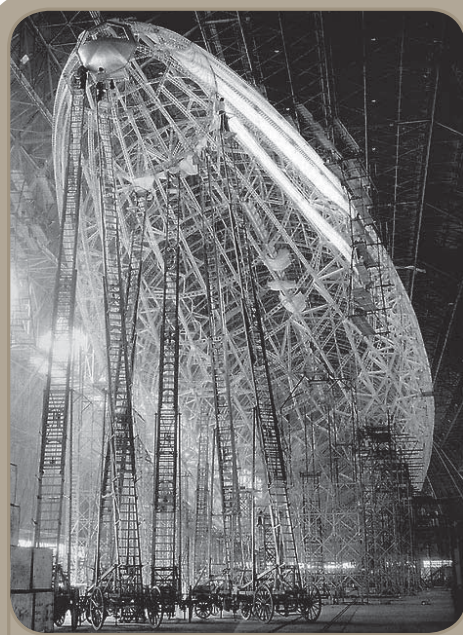


Figura 26. Esqueleto de aluminio del dirigible Zeppelin

1.5.2. Titanio

Otro metal que atrae nuestra atención es el .⁽²¹⁾ El titanio ocupa el noveno lugar en abundancia en la corteza terrestre (0,63% en peso)⁽²²⁾ y es el cuarto metal más abundante, después del aluminio, hierro y magnesio, tal como puede verse en la Tabla I. Si bien fue descubierto en 1791, era una curiosidad de laboratorio hasta que en 1946 se descubrió un método químico que permitió producir comercialmente este metal. El titanio tiene la particularidad de ser tan duro como el acero pero es un 45% más liviano que éste. Pesa un 60% más que el aluminio pero lo duplica en cuanto a resistencia mecánica. Otra propiedad muy atractiva es su elevada resistencia a la corrosión. Resiste a la corrosión en medios tan agresivos que ningún otro metal, con excepción del platino, podría ser usado. Por ahora, el único problema que presenta el titanio es que el método de fabricación es todavía muy caro. En esto, el titanio nos recuerda lo ocurrido en los primeros años de uso del aluminio. Se está invirtiendo mucho capital, a nivel internacional, para desarrollar un método de fabricación de titanio metálico que sea más económico. Es muy probable que en unos pocos años podamos ver al titanio usado en muchos productos domésticos. Por ahora, el precio del titanio hace que su uso esté restringido a algunas aplicaciones especiales, pero como veremos, muy críticas para la vida actual.



Figura 27. Primer puente de hierro fundido. Construido sobre el río Severn, en Coalbrookdale, Inglaterra, 1779



Figura 28. Cohete Saturno, de la NASA



Figura 29. Astronauta fuera del transbordador Challenger, en 1984

La muy ventajosa relación entre bajo peso y alta resistencia mecánica del titanio permitió el desarrollo de toda la tecnología aeroespacial. La Fig. 28 nos muestra un cohete Saturno, de la NASA, despegando. La mayor parte de los componentes de estos cohetes, tales como estructura, tanques de combustible, etc. se hicieron con aleaciones de titanio. Este material permitió que el hombre llegara al espacio, tal como lo vemos en la Fig. 29.

¡Menudo cambio ha producido el hombre, gracias al desarrollo de nuevos materiales!

Además de las aplicaciones aeroespaciales, el titanio encuentra muchas aplicaciones:

- En la **industria aeronáutica**, debido a las propiedades de bajo peso, alta resistencia mecánica y alto punto de fusión, el titanio se está usando, cada vez más, en los aviones comerciales modernos. Por ejemplo, el Airbus A380 usa en su estructura un total de 77 toneladas de titanio, de las cuales, 11 toneladas van en las turbinas (Fig. 30). El titanio, en las turbinas, se usa en los rotores, en los álabes, en el sistema hidráulico, etc.
- **Implantes:** Se ha comprobado que el titanio no es tóxico en el cuerpo humano y, tampoco, aparecen reacciones de rechazo. Por esto se lo utiliza en implantes, principalmente para reparar fracturas de huesos. Una aplicación importante es en la reparación de fracturas de cadera, tan frecuentes en personas de edad avanzada y en algunos casos de deportistas.
- **Odontología:** El titanio demostró tener otra propiedad de mucho interés que, actualmente, se aplica en odontología. Se ha comprobado que sobre el titanio oxidado, incrustado en un hueso, crece tejido óseo. En un sitio en la cavidad bucal donde falta una pieza dental, el cirujano implanta un tornillo de titanio oxidado. Luego se espera a que el titanio se fije



Figura 30. Las turbinas del Airbus A380 usan alrededor de 11 toneladas de titanio

al hueso por crecimiento de tejido óseo sobre el metal. Una vez logrado esto, se accede al implante y se le atornilla una pieza dental artificial que reemplaza a la que faltaba. Esta es una tecnología de desarrollo muy reciente pero que ya es utilizada por muchos odontólogos en el país.

Tan pronto se encuentre una forma más económica de producir titanio metálico, existen una gran cantidad de aplicaciones industriales y tecnológicas en las que este metal sería muy bienvenido. También encontraremos al titanio en infinidad de aplicaciones cotidianas.



Figura 31. Prótesis de titanio con cabeza de cerámico y copa de polietileno

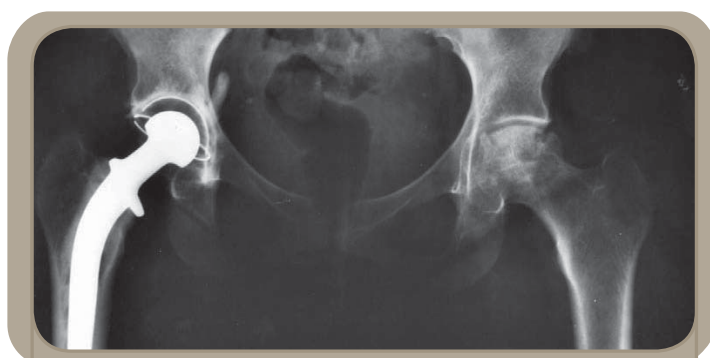


Figura 32. A la izquierda de la figura se ve la cadera derecha del paciente, reemplazada por una cabeza de metal y una semiesfera de plástico

1.6. Materiales no metálicos

¿Qué pasó con el desarrollo de otros materiales que influyeron en nuestra vida diaria?

1.6.1. Porcelana

A propósito del desarrollo de materiales no metálicos, hay un personaje que nos parece importante mencionar: se trata del Rey Augusto II de Polonia, Gran Duque de Lituania y Elector de Sajonia (Fig. 33),⁽²⁴⁾ quien gobernó entre 1694 y 1733. El Rey Augusto II fue el primero en propiciar el desarrollo de un material por encargo del gobierno.⁽²⁵⁾ Esta modalidad de trabajo programado, en la que se hacen desarrollos tecnológicos financiados por el gobierno o por grandes empresas, es una forma de trabajo muy común en la actualidad, pero el caso de Augusto II es el primero del que se tiene noticia. Influenciado por lo que había visto en su juventud, visitando Francia e Italia y, en particular, el esplendor del Palacio de Versalles,



Figura 33. Augusto II Rey de Polonia, Gran Duque de Lituania y Elector de Sajonia. Patrocinó, en 1708, el desarrollo de la porcelana de Meissen, en Sajonia

Augusto II convirtió a Dresde, la capital de Sajonia, en la ciudad más bella de Europa. Además era un fanático coleccionista de porcelana fina y, en ese entonces, toda la porcelana de Europa era importada de China y Japón. La porcelana era un importante producto de exportación de China. Augusto II se propuso conseguir que la porcelana china fuese fabricada en Sajonia y le encargó a von Tschirnhaus que llevara adelante este trabajo.⁽²⁶⁾



Figura 34. Muestra de la porcelana de Meissen, fabricada por primera vez en 1710, y que aún hoy se sigue produciendo y es muy apreciada

Ehrenfried Walther von Tschirnhaus⁽²⁷⁾ era un conocido matemático, físico, médico y filósofo alemán. Inició una serie de experimentos tendientes a reproducir la porcelana china. Contó con la colaboración de un joven alquimista, Johann Friedrich Böttger quien, inicialmente, pretendía convertir otros metales en oro, pero que bajo la presión de von Tschirnhaus contribuyó con el trabajo de lo que luego se conocería como el "oro blanco", nos referimos a la porcelana, que se produjo por primera vez en 1708.

Augusto II nombró a von Tschirnhaus director de la fábrica de porcelana, pero su prematura muerte llevó a que la producción de porcelana quedara a cargo de Böttger. En 1710 se inicia la producción de la porcelana de Meissen⁽²⁸⁾ que no tenía nada que envidiar a la porcelana china (Fig. 34). Pese a los estragos de la Segunda Guerra Mundial y a la destrucción que sufrió Dresde, la porcelana de Meissen se sigue fabricando hasta nuestros días y sigue siendo un artículo de lujo, reservado para coleccionistas.

A la tecnología de la fabricación de la porcelana se la trató de mantener en secreto, lo que no se logró por mucho tiempo ya que, rápidamente, aparecieron en Europa otros productores de porcelana. La porcelana de Meissen es un artículo de lujo, pero la porcelana en sí es un material que ha encontrado muchas aplicaciones en la vida diaria. Además de los objetos decorativos, la porcelana tiene la propiedad de ser un excelente aislador eléctrico, de modo que ha encontrado aplicación como aislador de alto voltaje. Los otros usos de la porcelana son múltiples y van desde coronas de dientes en odontología, hasta aplicaciones en arquitectura (como los paneles de porcelana que cubren el edificio de la Fig. 35).



Figura 35. Edificio Dakin, en California, diseñado con paneles externos de porcelana. Recibió varios premios, entre ellos el del American Institute of Architects de 1992



Figura 36. Radio de origen francés, con cuatro válvulas y auriculares, de 1919



Figura 37. Radio modelo Philco 90, de 1931

1.6.2. Válvulas

Pasando a otro tema, muchos habrán visto las radios que alguna vez usaron nuestros abuelos. La Fig. 36 muestra una radio de fabricación francesa, de cuatro válvulas, del año 1919, en tanto que en la Fig. 37 podemos ver una radio modelo Philco 90, de 1931.⁽²⁹⁾ Estaban construidas con los materiales que vimos hasta ahora. Un componente fundamental de estas radios eran las válvulas termoiónicas o tubos de vacío que vemos en la Fig. 38. Estas válvulas eran una derivación de la lámpara eléctrica inventada por Edison. Los físicos descubrieron que, agregándole otros electrodos, podían hacer que esas válvulas amplificaran señales muy débiles y esto llevó al desarrollo de la radio.

Se descubrió, también, que estos tubos de vacío podían usarse para procesar información y así es como se construyen, a fines de 1940, las primeras computadoras.⁽³⁰⁾ Estas primeras computadoras solían tener más de 10.000 de estos tubos de vacío. Para que los tubos de vacío funcionaran, necesitaban tener un filamento incandescente.



Figura 38. Válvula termoiónica o tubo de vacío de las antiguas radios a válvula

Por eso, las computadoras a válvula consumían mucha electricidad. Eran, además, muy voluminosas, pudiendo ocupar más de 90 metros cuadrados de espacio. Por ejemplo la ENIAC tenía un total de 17.468 tubos de vacío (Fig. 39), pesaba 27 toneladas y ocupaba 167 metros cuadrados. Además de consumir mucha electricidad, los filamentos de los tubos se quemaban con frecuencia, estimándose que el tiempo de funcionamiento de la ENIAC, entre cada falla, era de aproximadamente una hora. Desde el punto de vista actual, el desempeño no parecería muy alentador pero, en la época en la que se la construyó, se la consideraba una maravilla.⁽³¹⁾

Transistores:

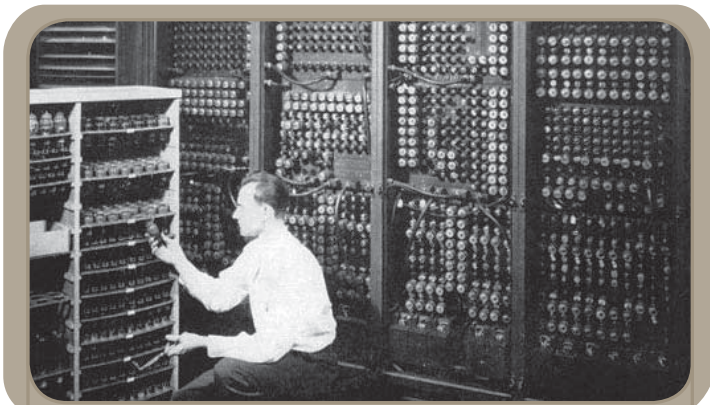


Figura 39. Parte posterior de la ENIAC, mostrando los tubos de vacío

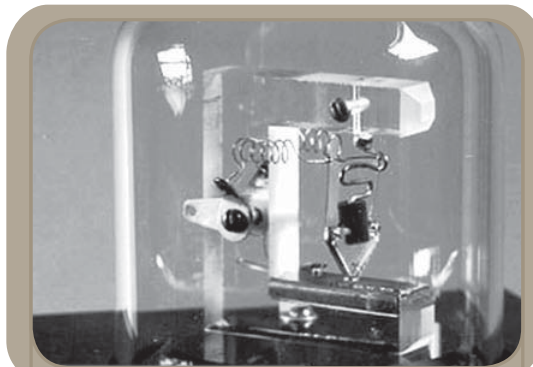


Figura 40. El primer transistor, hecho en germanio, en 1947 por investigadores del Bell Laboratories.

En la época en la que se estaban construyendo estas computadoras, los metalurgistas encontraron un método por el cual podían producir metales de muy alta pureza. Lo denominaron técnica de fusión zonal. Consistía en trabajar con barras de metal, a las que, por calentamiento localizado se les fundía una franja, dejando el resto del metal, a ambos lados, en estado sólido. Si se desplazaba la zona fundida, por ejemplo moviendo lentamente una bobina calefactora, una parte de la barra se fundía mientras la parte que quedaba atrás se solidificaba. Los metalurgistas observaron que el metal solidificado era más puro que el metal fundido y que las impurezas eran arrastradas por ese metal fundido. Repitiendo el proceso de fusión localizada, moviendo la zona fundida siempre en la misma dirección, se conseguía que las impurezas se acumularan en uno de los extremos de la barra. Desechando ese trozo de metal, quedaba un metal mucho más puro.

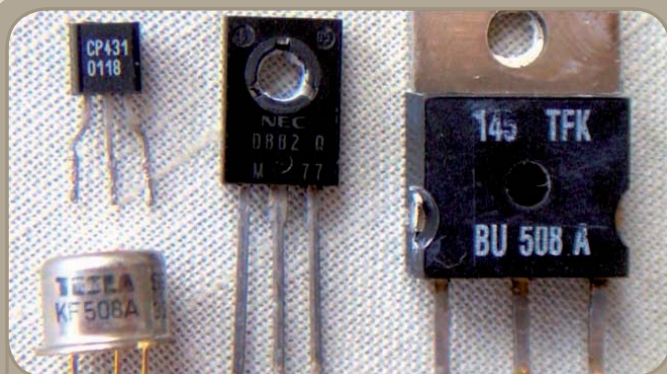


Figura 41. Transistores comerciales

Esta técnica se aplicó para producir germanio y silicio muy puros. Partiendo de estos elementos, los físicos pudieron controlar sus propiedades eléctricas, variando el contenido de impurezas. Así es como desarrollaron los transistores. En la Fig. 40 podemos ver la apariencia poco sofisticada que tenía el primer transistor, hecho en 1947,^(30,32) y por cuyo trabajo sus autores recibieron el Premio Nobel. Muy pronto los transistores se comercializaron, con una apariencia mucho más elegante, tal como lo vemos en la Fig. 41.

El transistor cumplía las mismas funciones que la válvula termoiónica, pero consumía mucha menos potencia, tenía menor tamaño, no tenía filamentos que se quemaran, no necesitaba altos

voltajes para funcionar. Como primer resultado, en la Fig. 42 tenemos una radio a transistores.



Figura 42. Radio a transistores

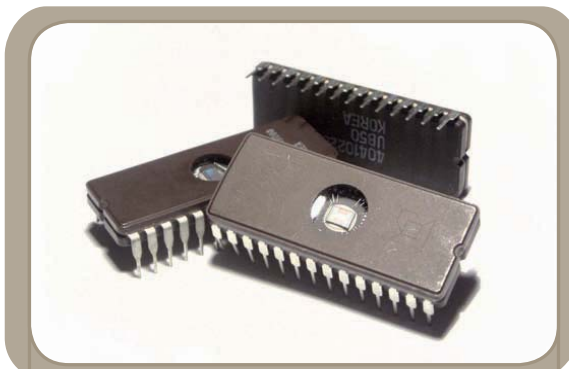


Figura 43. Circuitos integrados

Es evidente que, en las computadoras, el transistor desplaza a las válvulas, por las muchas ventajas que tiene sobre ellas. De todas maneras, soldar 17.468 transistores, como los que tendría la ENIAC, no deja de ser engorroso. Pronto se desarrollan los circuitos integrados, los que permiten poner miles de transistores en una sola placa de silicio.

La ENIAC tenía el equivalente a 17.468 transistores. Una PC moderna, por ejemplo con el procesador Pentium IV, tiene del orden de **10 millones de transistores**. El avance producido en este campo, mediante el uso adecuado de los materiales, es asombroso. Además es común encontrar ahora circuitos electrónicos en automóviles, hornos de microondas, relojes, teléfonos celulares, cámaras fotográficas, etc. etc.

1.6.3. Polímeros

Stephen L. Sass, en su libro "The Substance of Civilization"⁽³³⁾ nos sugiere que comparemos los restos del naufragio de dos lujosos trasatlánticos, ocurridos en el siglo XX: los restos del lujoso trasatlántico inglés RMS Titanic, Fig. 44,⁽³⁴⁾ hundido el 15 de abril de 1912 al chocar con un iceberg; y los del, también, lujoso trasatlántico italiano SS Andrea Doria (Fig. 45),⁽³⁵⁾ hundido el 26 de julio de 1956, al chocar con otro barco. Desde el punto de vista de los materiales, se encontrará entre ambos una sorprendente diferencia. La misma se resume en una sola palabra: PLÁSTICOS. Solamente a principios del siglo XX el hombre aprendió a fabricar materiales orgánicos totalmente sintéticos. En 1912, cuando se hundió el Titanic, se conocían la goma, el celuloide y unos pocos



Figura 44. El Titanic



Figura 45. El Andrea Doria, poco antes de hundirse



Figura 46. Artículos de plástico de uso diario

productos más. Es durante la Segunda Guerra Mundial que se hace un gran esfuerzo en desarrollar nuevos polímeros (nombre correcto de lo que, vulgarmente, llamamos plásticos). Uno de los objetivos importantes en ese entonces era el desarrollo del caucho sintético para reemplazar al caucho natural, cuyo suministro era difícil. En 1956, cuando se hundió el Andrea Doria, la humanidad ya se había familiarizado mucho con los polímeros, sea en forma de radios (Fig. 42), impermeables, material de tapizado, cubierta aisladora de cables eléctricos, artefactos de uso diverso (Fig. 46)⁽³⁶⁾. De modo que, mientras entre los restos del Titanic son escasos los productos de plástico, en cambio, en los restos del Andrea Doria los mismos aparecerán en forma abundante.

El hombre estuvo experimentando durante mucho tiempo con polímeros que encontraba en la naturaleza, a fin de hacerlos más útiles. Es así como, trabajando con el

caucho, en 1839 Charles Goodyear descubrió la vulcanización de la goma. Experimentando con otro polímero natural, la celulosa, en 1863 Hyatt desarrolló el celuloide. Este nuevo material permitió reemplazar, en muchas aplicaciones, al Carey, al nácar y al marfil.

El primer plástico totalmente sintético fue la **baquelita**, que descubrió Baekeland en 1909, y lo introdujo en un gran número de aplicaciones alrededor de 1920.

En 1939 Du Pont introdujo, con extraordinario éxito, una fibra sintética que denominó **Nylon**, en reemplazo de la seda. El Nylon es un material que aún hoy se utiliza, en muchas aplicaciones técnicas. Luego sigue, a nivel mundial, una avalancha de productos plásticos de diferentes propiedades y aplicaciones que supera la enumeración que podríamos hacer aquí.

En 1938, un químico de la empresa Dupont, Roy Plunkett, observó muy sorprendido que un tubo que se suponía estaba lleno de un gas inerte, tetrafluoroetileno, al abrir la llave aparecía como si estuviese vacío. Cortó el tubo de metal al medio y encontró que dentro del mismo se había formado un sólido blanco. Este sólido era muy resistente a la acción de agentes químicos muy agresivos y presentaba un muy bajo coeficiente de fricción. Químicamente, se lo describe como politetrafluoroetileno, pero nosotros lo conocemos familiarmente como **teflón**. Tiene infinidad de aplicaciones tecnológicas importantes, aparte de ser un recubrimiento muy común en utensilios



Figura 47. Chaleco antibalas de fibra de plástico



Figura 48. Chaleco antibalas de la infantería Panzer de 1918

de cocina. Sus aplicaciones eran tan variadas y de tan alto interés tecnológico, que durante la segunda guerra mundial, el gobierno de Estados Unidos obligó a la empresa Dupont a mantener en secreto su descubrimiento.^(33,36)

Algunos polímeros nuevos son realmente sorprendentes, como el **kevlar**, introducido por Dupont. Se lo produce en forma de fibras de muy alta resistencia. La resistencia es tan grande que se usa, entre otras aplicaciones, para la confección de chalecos antibalas (Fig. 47), en reemplazo de los protectores que utilizaba la infantería Panzer, alemana, en 1918 (Fig. 48).



Figura 49. Alan MacDiarmid, Hideki Shirakawa y Alan Heeger; ganadores del premio Nobel por el desarrollo de polímeros conductores

Pero estaríamos muy equivocados si supusiéramos que el tema de los polímeros ya está agotado. Una clara prueba del interés en el tema nos la da el hecho de que el premio Nobel de química del año 2000 fue otorgado a tres investigadores que desarrollaron polímeros conductores de la electricidad (Fig. 49). Numerosos investigadores están trabajando, actualmente, en temas tales como el desarrollo de polímeros biodegradable para reducir la contaminación ambiental en

polímeros que se contraen en presencia de un campo eléctrico y que servirían para desarrollar músculos artificiales aplicables a problemas ortopédicos (Fig. 50)⁽³⁷⁾, entre otras aplicaciones.

Sería un grave error suponer que queda poco por hacer en el área de los materiales. Un buen ejemplo de que quedan muchos temas por investigar lo tenemos en el caso del **vidrio**. El mismo era conocido en la antigüedad como material de adorno. Recién hace 2000 años, se descubrió la técnica del soplado de vidrio fundido. Con la misma comienzan a producirse botellas de vidrio, vidrios de ventana y utensilios de uso diario. Posteriormente, se llega a la fabricación del vidrio plano, se desarrolla el vidrio para usos en óptica, así como vidrios resistentes a cam-

bios de temperatura aptos para usos culinarios, entre otros. Podría pensarse a esta altura que las nuevas posibilidades de desarrollo del vidrio estaban agotadas. Pero entre 1970 y 1980,



Figura 50. Representación artística de un posible uso de polímeros sensibles a la electricidad, como posibles reemplazos de músculos.

mejorando la transparencia del vidrio se produjeron fibras ópticas de muy pequeño espesor, capaces de conducir señales luminosas a muchos kilómetros de distancia. En las tareas de transmisión de información las fibras ópticas demostraron ser mucho más eficientes que los alambres de cobre y los desplazaron totalmente.

El uso de los polímeros ha encontrado muchas aplicaciones en medicina. Mencionaremos aquí, a título de ejemplo, una de ellas. Es muy frecuente, en personas cuya edad supera los 50 o 60 años, que se les produzca una opacidad gradual del cristalino, conocido como cataratas. La misma puede avanzar hasta, eventualmente, provocar la ceguera. Durante la Segunda Guerra Mundial un cirujano inglés observó que astillas de un polímero que se utilizaba en el parabrisas de aviones de guerra podían quedar incrustadas en el ojo sin dar muestras de rechazo. Se trataba del **polimetilmetacrilato** (PMMA). Esta observación lo llevó a desarrollar lentes de PMMA para reemplazar, quirúrgicamente, al cristalino afectado por las cataratas. Actualmente, el PMMA ha sido reemplazado por lentes de silicona o de acrílico que se introducen plegados, en una pequeña incisión en el ojo, convirtiendo la operación de cataratas en un proceso muy simple, en la que el paciente puede retornar a su casa tan pronto finaliza la operación.

La razón de este desplazamiento, de alambres a fibra óptica, se comprende fácilmente con un solo ejemplo: serían necesarios 30.000 kilogramos de alambres de cobre para poder transmitir la misma cantidad de información que se puede transmitir con solamente 100 gramos de fibras ópticas. Planteado de otro modo, se tiene que dos pequeñas fibras ópticas pueden transmitir la información equivalente a 24.000 llamadas telefónicas simultáneas. Como vemos, en materia de vidrios no estaba todo dicho. Seguramente, veremos aún otros cambios que nos sorprenderán.

En materia de desarrollo y uso de materiales podríamos mencionar muchos ejemplos más. Solamente mencionaremos una última aplicación de gran interés práctico en la tecnología del futuro. Un problema serio en la actualidad es reemplazar los combustibles fósiles porque no son renovables y porque contaminan el medio ambiente al liberar anhídrido carbónico. Una alternativa de mucho interés es el uso del hidrógeno. Como al arder produce agua, no contamina el ambiente. Ya se están ensayando automóviles propulsados por hidrógeno. Pero tener dentro del baúl del automóvil un tubo conteniendo hidrógeno gaseoso a muy alta presión no

es una idea muy atractiva. Se está trabajando, intensamente, en muchos laboratorios, para desarrollar aleaciones que forman hidruros estables que pueden acumular mucho hidrógeno sin presentar riesgos para los ocupantes del automóvil. Los resultados alcanzados hasta ahora son muy alentadores.

Vemos pues que el área de los materiales se presenta como un campo donde habrá mucha actividad en el futuro y, en el que jóvenes con espíritu inquieto, pueden realizar progresos muy valiosos. Vemos, también, que al principio de este texto cada cambio requería el paso de varios miles de años. En la actualidad los cambios se producen en el término de años o meses. Como ejemplo nos basta ver la rapidez con que se vuelven obsoletos los equipos electrónicos.

Actividades

- 1.- Mencionar materiales que haya utilizado el hombre para dejar registrado textos que aún hoy existen.
- 2.- Mencionar los materiales que se han utilizado y los que hoy se utilizan para fabricar calzado.
- 3.- Enumerar materiales que el hombre ha utilizado para construir sus viviendas.
- 4.- Indicar materiales que usó el hombre para poder surcar mares o ríos.
- 5.- Mencionar materiales con los que el hombre construyó artefactos que le permitieron volar.
- 6.- Investigar y elaborar, luego, una infografía de la historia del vidrio desde la antigüedad hasta el presente.
- 7.- Investigar cómo se desarrolló la fabricación de porcelana fina en Europa (previamente se importaba toda de China y Japón)

Respuestas tentativas

- 1.-
 - Piedra Roseta
 - Cerámicos: Tablas de escritura cuneiforme
 - Papiro: Textos egipcios
 - Pergamino:
 - Papel:
 - Láminas de cobre: Rollos del Mar Muerto.
- 2.-
 - Madera: zuecos
 - Fibra vegetal: alpargatas
 - Cuero: botas de potro, zapatos
 - Polímeros
- 3.-
 - Hielo: iglú
 - Piedra

- Paja
 - Adobe
 - Ladrillo cocido
 - Techos de: cobre, pizarra, paja, tejas cerámicas, aluminio
- 4.-
- Troncos de madera: balsas, botes de troncos tallados
 - Juncos atados en manojo para hacer botes (Lago Titicaca)
 - Aluminio
 - Hierro
 - Cuero con ramas
 - Polímeros para lanchas
- 5.-
- Globos de papel o tela
 - Globos de tela reforzados con aluminio: dirigibles
 - Madera y tela
 - Aluminio
 - Titanio

Referencias

- 1.- Evolución humana, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 2.- Rolf E. Hummel, Understanding Materials Science, Springer-Verlag, N.Y., 1998.
- 3.- SARC, <http://www.hf.uio.no/iakh/forskning/sarc/iakh/lithic/sarc.html>, consultada el 08/01/2007.
- 4.- Tecnología, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 5.- Historia universal, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 6.- Edad del Cobre, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 7.- J.A. Pero-Sanz, J. Asensio, J.I. Verdeja, and J.P. Sancho., Calcolitic Coppers in Peru, Materials Characterization, vol. 41, pp. 1-9, (1998).
- 8.- Ötzi, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 9.- Edad del Bronce, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 10.- Rekhmire, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 15/01/2007.
- 11.- Rekhmire, <http://www.osirisnet.net/tombes/nobles/rekm/rekhmire.html>, consultada el 15/01/2007.
- 12.- G.A. Wainwright, Rekhmires Metal-Workers, MAN, Vol. 44, Jul.-Aug., 1944, pp. 94-98.
- 13.- Foundary workers, http://www.reshafim.org.il/ad/egypt/trades/bronze_casting.html, consultada el 15/01/2007.
- 14.- Historia de la siderurgia, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 15.- Edad del Hierro, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 16.- Hierro, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 17.- Siderurgia, visto en Microsoft Encarta 2006, de Microsoft Corporation.

- 18.- Historia de los hititas, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 19.- Hititas, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 20.- Aluminio, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 21.- Titanio, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 22.- Abundance of the chemical elements, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 01/02/2007.
- 23.- Hip replacement, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 24.- Augusto II de Polonia, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 25.- Ivan Amato, STUFF, THE MATERIALS THE WORLD IS MADE OF. Avon Books Inc., N.Y., 1997.
- 26.- Porcelana, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 27.- Ehrenfried Walther von Tschirnhaus, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 28.- Meissen porcelain, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 29/01/2007.
- 29.- Historia de la radio, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 30.- http://nobelprize.org/educational_games/physics/transistor/history/, consultada el 30/01/2007.
- 31.- ENIAC, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 32.- Point-contact transistor. <http://en.wikipedia.org>, consultada el 30/01/2007.
- 33.- Stephen L. Sass, The Substance of Civilization, Arcade Publishing, N.Y., 1998.
- 34.- RMS Titanic, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 35.- SS Andrea Doria, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 11/01/2007.
- 36.- Plástico, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.
- 37.- Steven Ashley, Artificial Muscles, Scientific American, Octubre 2003, p. 34.

Lecturas recomendadas:

1.- Wikipedia en español:

EVOLUCIÓN HUMANA, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.

TECNOLOGÍA, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.

HISTORIA UNIVERSAL, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/08/2010.

2.- Libros:

NADA ES PARA SIEMPRE: QUÍMICA DE LA DEGRADACIÓN DE MATERIALES. R.M. Carranza, G.S. Duffó y S.B. Farina. Ministerio de Educación, INET, Buenos Aires (2010), ISBN 978-950-000749-8.

Sobre el autor

Profesor Titular de Corrosión de Metales de la UNSAM.

Director del Instituto de Tecnología "Prof. Jorge A. Sabato", UNSAM-CNEA, (1993-2007).

Realizó sus estudios en la UBA, recibiendo como Lic. en Química en 1960 y como Doctor en Química en 1962. También realizó estudios de especialización en corrosión de metales en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, obteniendo el Ph.D. en 1966.

Ingresó como investigador en la Comisión Nacional de Energía Atómica en 1960, dedicándose al estudio de la corrosión de metales. Sus principales temas de trabajo están relacionados con mecanismos de picado de metales y mecanismos de corrosión bajo tensión.

Publicó 158 trabajos científicos en revistas de su especialidad. Es autor de 15 monografías, apuntes, capítulos de libros y de enciclopedias, sobre temas de corrosión de metales. Dirigió 22 tesis doctorales. Pronunció conferencias y dictó cursos en Universidades y Centros de Investigación nacionales y del exterior. Es miembro del comité editor de tres revistas internacionales de su especialidad, y actuó en los comités científicos y fue invitado a dictar conferencias plenarias en numerosos congresos internacionales. Investigador Superior, en la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del CONICET.

Recibió los siguientes premios:

- Premio "P.A. Pistocchi", año 1972, de la SOCIEDAD ARGENTINA DE METALES;
- Premio "T. P. HOAR-1981", y
- Premio "T. P. HOAR-1987" del Corrosion Institute de Inglaterra.
- Diploma al Mérito en Fisicoquímica y Química Inorgánica Fundación KONEX, 1993,
- Premio W.R. WHITNEY-1999 de la National Association of Corrosion Engineers, USA,
- Premio U.R. EVANS-1999 del Institute of Corrosion, de Inglaterra.

Estos dos últimos premios se otorgan anualmente a investigadores a nivel internacional por la trayectoria científica y contribución al conocimiento de la Ciencia de la Corrosión. Ambos son los premios máximos que otorgan dichas instituciones, que son a su vez las principales instituciones que reúnen a especialistas en Corrosión en USA e Inglaterra, respectivamente.

- Designado en 1999 Honorary Fellow del Institute of Corrosion (Inglaterra).
- Designado en 2001 Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Buenos Aires, Argentina).
- Designado en 2002 Fellow de la TWAS (Third World Academy of Sciences), Trieste.
- Premio Konex de Platino 2003 en Ingeniería Civil, Mecánica y de Materiales.
- Premio "Vocación Académica 2004", Fundación El Libro y Lázaros Grupo Editor, 4 de mayo de 2004, 30^a. Feria Internacional de Buenos Aires: El Libro del Autor al Lector.
- Felicitación de la Honorable Cámara de Diputados de la Nación, por el premio recibido en 2003. Sesiones Ordinarias 2004, Orden del día No. 1256, 02/12/2004.
- Investigador Emérito de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Resolución de Presidencia No. 40, del 16/02/06; B.P.A. No. 5/06
- Doctor Honoris Causa de la Universidad Nacional de General San Martín. Otorgado el 2 de junio de 2008.

Publicó el libro: José R. Galvele y Gustavo S. Duffó, DEGRADACIÓN DE MATERIALES - CORROSIÓN, 1a. ed. - Buenos Aires: Jorge Baudino Ediciones; Instituto Sabato, 2006, 416 pag. ISBN 987-9020-65-0.

Su trabajo: J.R. Galvele, Transport processes and the mechanism of pitting of metals. Journal of the Electrochemical Society, 123, 464 (1976), acaba de ser incluido entre los 100 trabajos clásicos del JES (The Electrochem. Soc., Interface, Spring 2009, 33-35).