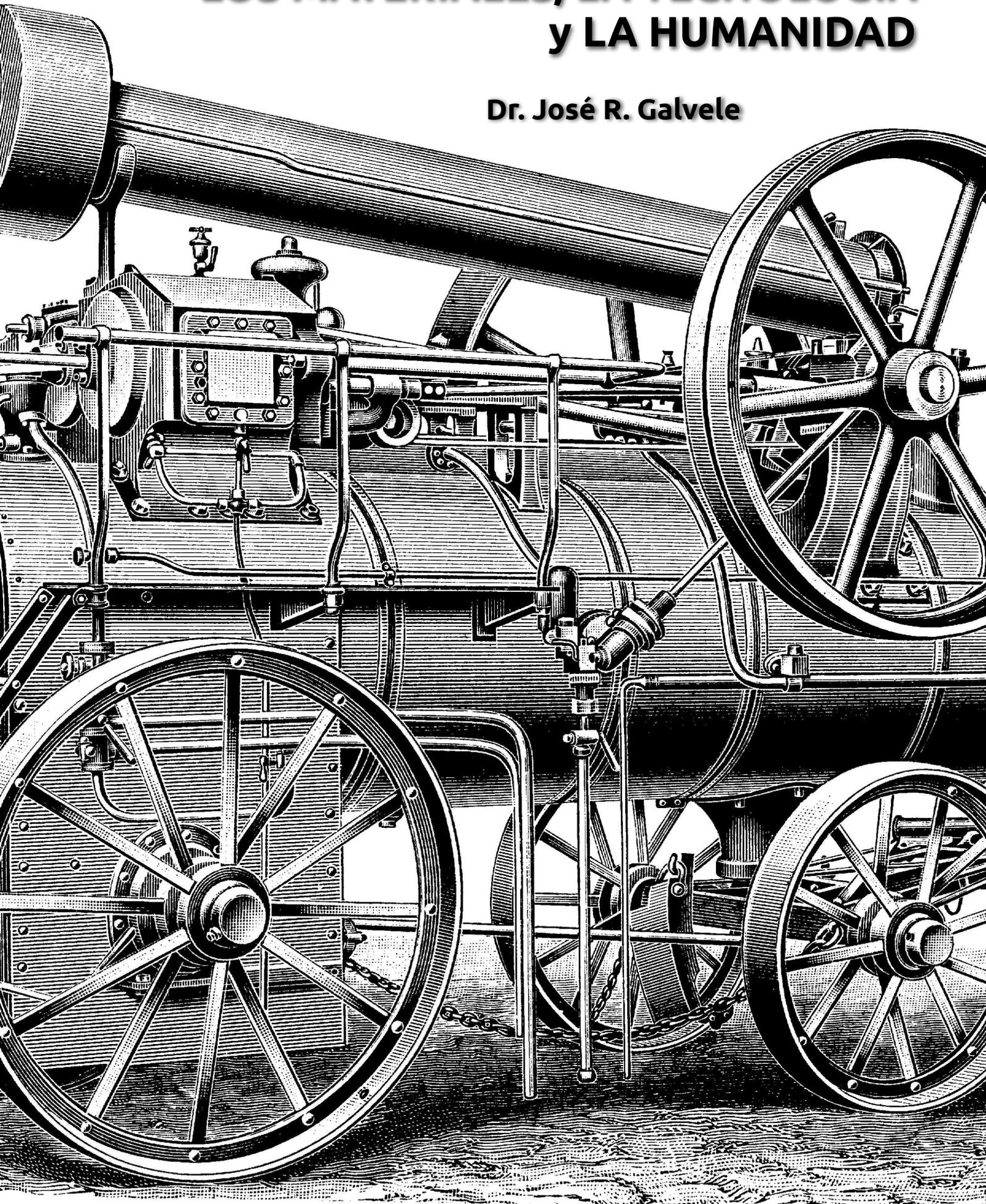


# LOS MATERIALES, LA TECNOLOGÍA y LA HUMANIDAD

Dr. José R. Galvele





# **LOS MATERIALES, LA TECNOLOGÍA 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.

Al prepararlo se recurrió, en lo posible, a bibliografía que fuese fácilmente accesible al lector. Por esta razón la mayoría de las referencias corresponden a la Enciclopedia Libre: WIKIPEDIA ( <http://wikipedia.org> ), accesible por Internet. De este modo, el lector inquieto podrá ampliar la información recurriendo a la misma.

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 relevancia y sus posibilidades de desarrollo suelen pasar desapercibidos.

# LOS MATERIALES, LA TECNOLOGÍA Y LA HUMANIDAD

**Dr. José R. Galvele**

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.

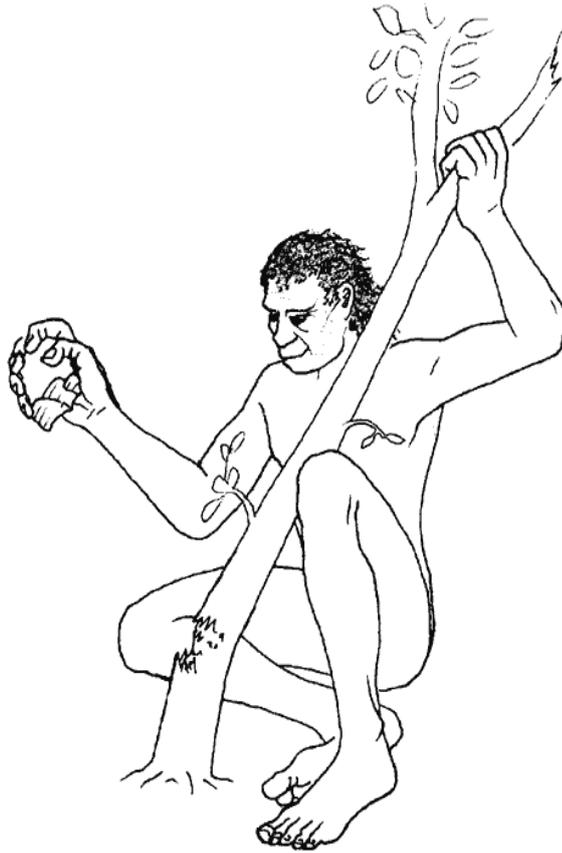
Si esto ocurriera nos encontraríamos:

- a.- Totalmente desnudos.
- b.- Caminando descalzos por el pasto.
- c.- Comunicándonos a los gritos.

El confort que, bajo permanente protesta, disfrutamos diariamente, desaparecería en ese instante. Desaparecerían las viviendas, desaparecería el transporte, desaparecerían la vestimenta y el calzado, desaparecerían los medios de comunicación, etc.

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.

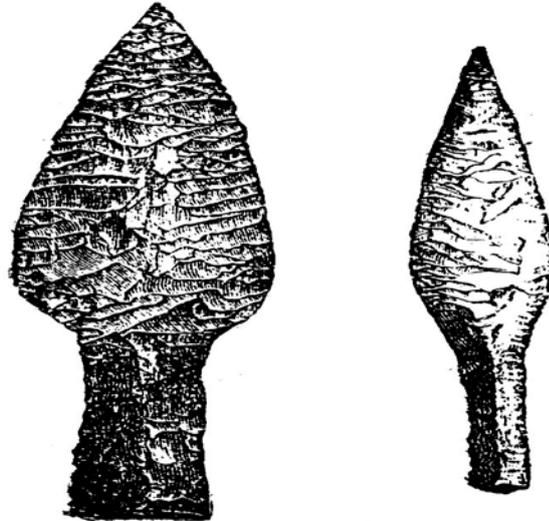
Como decía, todo comenzó hace unos 2,6 millones de años,<sup>(1)</sup> cuando un antecesor nuestro, mitad mono mitad hombre (El *Homo habilis* o algún contemporáneo suyo), en algún lugar de África oriental se entretenía golpeando dos piedras entre sí. Al hacerlo, una de ellas se fracturó exponiendo bordes muy filosos. Nuestro antecesor comprobó que con esa piedra filosa podía cortar fácilmente ramas de árboles.



Sus compañeros comprobaron también que con ese tipo de piedras fracturadas podían cortar alimentos, 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.



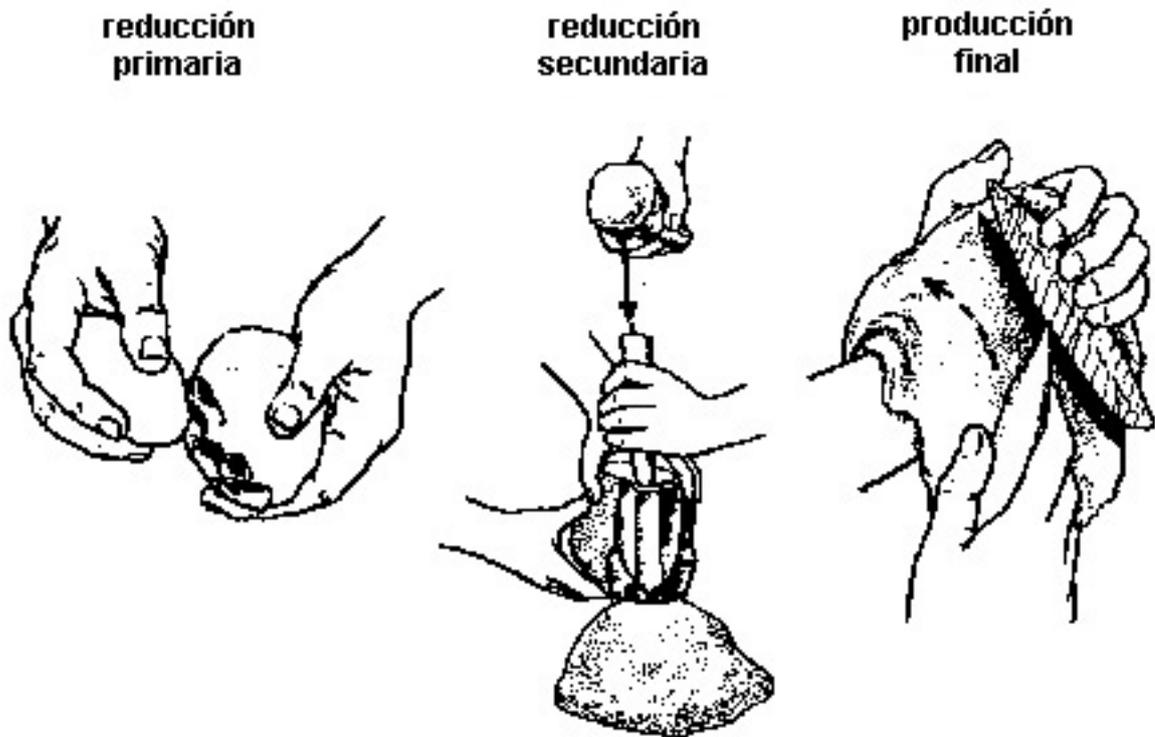
Quienes hicieron este descubrimiento de cómo fabricar piedras filosas fueron desarrollando con el tiempo hachas, flechas, lanzas, cuchillos y numerosas otras herramientas que facilitaron sus actividades diarias.



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: **edad de piedra**, **edad del bronce** y **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,<sup>(2)</sup> 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**.

A medida que la especie *Homo* fue evolucionando,<sup>(1)</sup> las técnicas de elaboración de herramientas de piedra se volvieron más complejas.



*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.<sup>(3)</sup>*

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.<sup>(4)</sup>

Luego de la tecnología de la piedra, otro avance tecnológico que realizó el hombre, hace unos 200.000 años fue el **encendido del fuego**.<sup>(4)</sup> 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, etc.

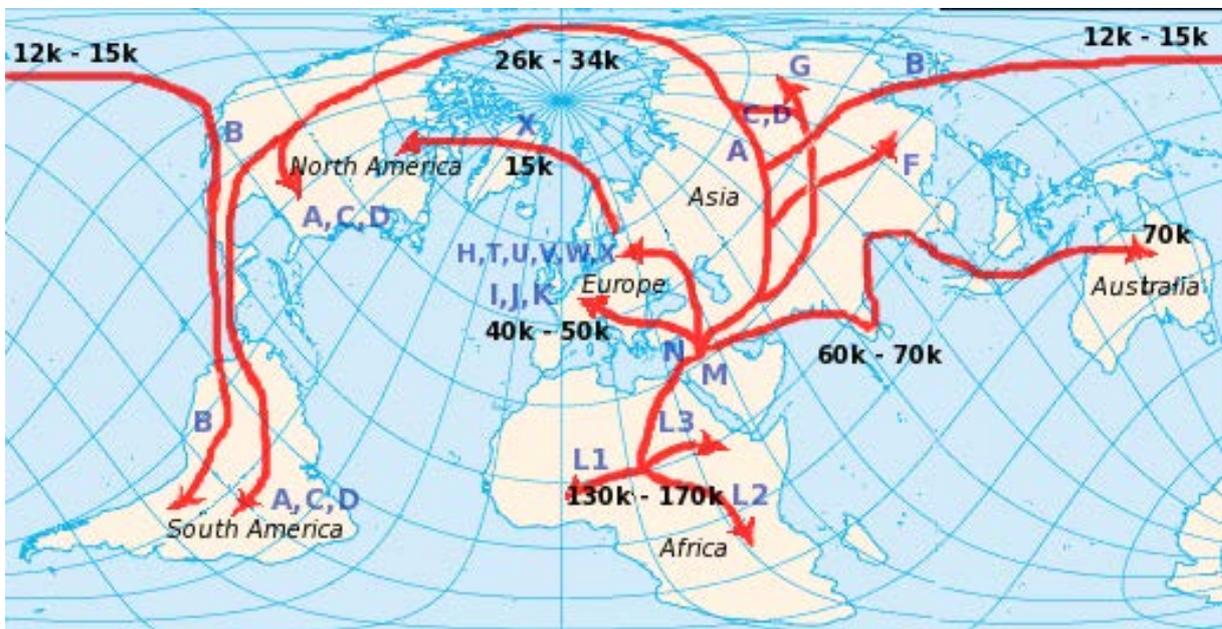
El trabajo en túneles lo hacía para buscar piedras de mejor calidad para el tallado, o para buscar minerales de diferentes colores que utilizaba para pintarse, para pintar dentro de las cavernas, para adorno personal, y para adornar artefactos que comenzó a producir años después. Si prestamos un poco 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 usaba algunos de los minerales a los que hicimos referencia anteriormente.

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**.<sup>(2,4)</sup> 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 sapiens*, partiendo del África, se lanza a la conquista del planeta,<sup>(5)</sup> llevando consigo las tecnologías de la piedra, el fuego, la alfarería, y demás conocimientos que había acumulado.

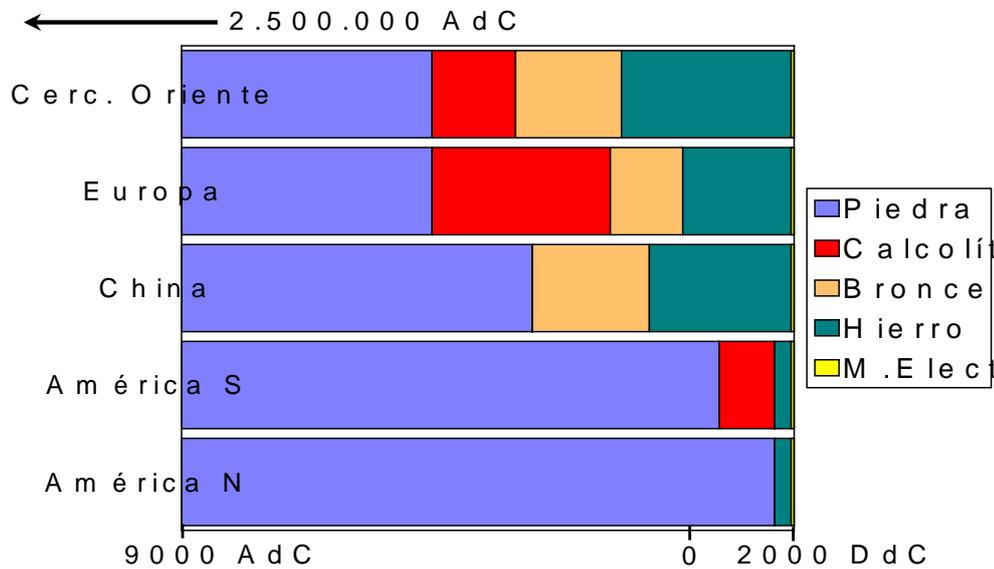


Mapa de migraciones del *H. sapiens sapiens*, basado en estudios de ADN. (k indica miles de años).

Los desarrollos tecnológicos posteriores en los diferentes continentes, 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, vemos que la edad de piedra abarca una parte muy extensa de la historia de la humanidad, ¡nada menos que el 99,7% de la misma!.



Desarrollo de las Edades en cada continente. En América la edad del hierro llega con el arribo de los europeos, luego de 1492.

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.

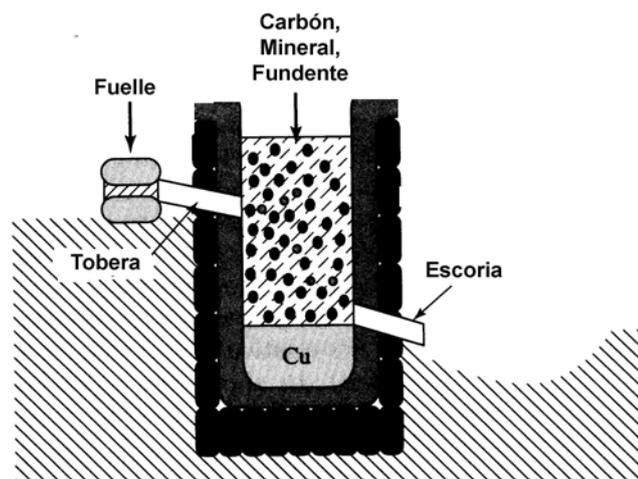
El hombre primitivo observó que asegurando una corriente forzada de aire, sobre carbón encendido, podía aumentar la temperatura de sus hornos de alfarería. Si alguna de las piedras coloreadas, que usaba para decorar la alfarería, era un mineral de cobre, en contacto con el carbón incandescente el mineral 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. Además se les podía dar muchas formas diferentes, imposibles de lograr con la piedra. Los que adquirieron esta tecnología pronto se encontraron en gran ventaja respecto a aquéllos que no la poseían.

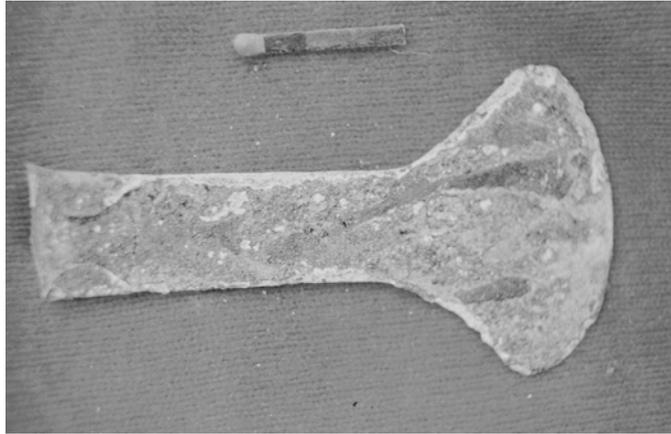
Entre los primeros indicios de producción de cobre<sup>(6)</sup> se encuentran los de la Civilización del Valle del Indo, actualmente Pakistán, y datan de unos 4300 años a.C. Hay observaciones similares, que corresponden a la misma época, en el sur de Turkmenistán y el norte de Irán, lo que sugiere un 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.



Probable forma de los primeros hornos de producción de cobre.

Por lo que sabemos,<sup>(7)</sup> 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.



La figura muestra un “tumi” o cuchillo fabricado en el Perú en esa época.<sup>(7)</sup> 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.

Volviendo a los primeros hombres de la edad del cobre, unos 3000 años a.C., nos podríamos preguntar cómo se vestían, o de qué se alimentaban, y nos quedaríamos sin respuestas. No hay información escrita, y el tipo de adminículos que nos interesan, vestimenta o alimentos, se degradaron con el tiempo.

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 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!<sup>(8)</sup> 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.



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

Al producirse su deceso,<sup>(8)</sup> 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, 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.



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

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 éstos 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 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, y se los hizo probar a varios escaladores de montaña, los que 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.<sup>(8)</sup>



Réplica del calzado de Ötzi.

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. La primera es que siempre los metales puros son más blandos que sus aleaciones. La segunda es que una aleación funde a menor temperatura que el metal puro. De modo que al agregar estaño al cobre, y 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.



Puente 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 figura.



En tanto que el estaño podía provenir de parajes tan lejanos como las Islas Británicas.<sup>(9)</sup> Esto nos muestra que en esa época la navegación ya estaba muy avanzada.

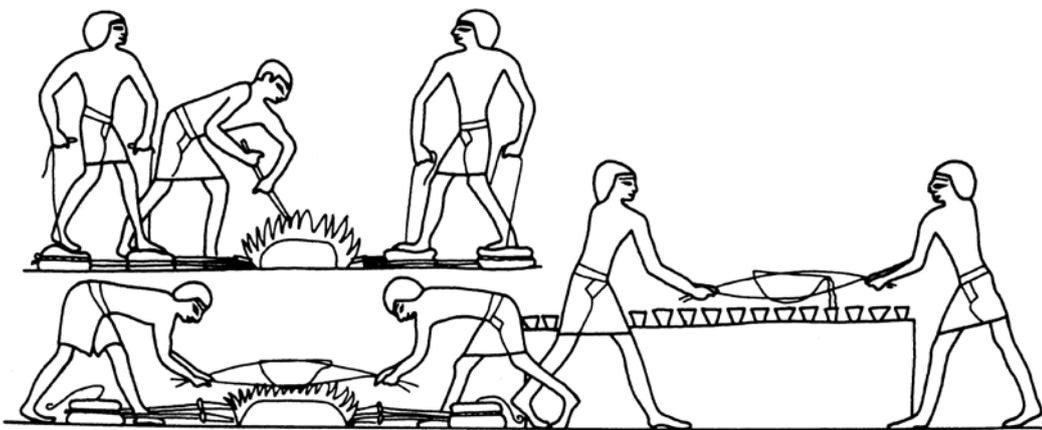
Quienes se hayan interesado en leer algo sobre la historia de Egipto, seguramente habrán encontrado referencias a la tumba de Tutankamón. El interés en Tutankamón no proviene tanto de la importancia de este faraón en la historia de Egipto, sino del hecho inusual de haber hallado una tumba faraónica prácticamente intacta. En cambio, quienes estudian los materiales y las tecnologías de la antigüedad encuentran mucho más interesante la tumba de Rekhmire,<sup>(10)</sup> 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. Estas pinturas datan de 1450 a.C. En Internet pueden encontrarse numerosas páginas que describen la tumba y las pinturas.<sup>(11)</sup>

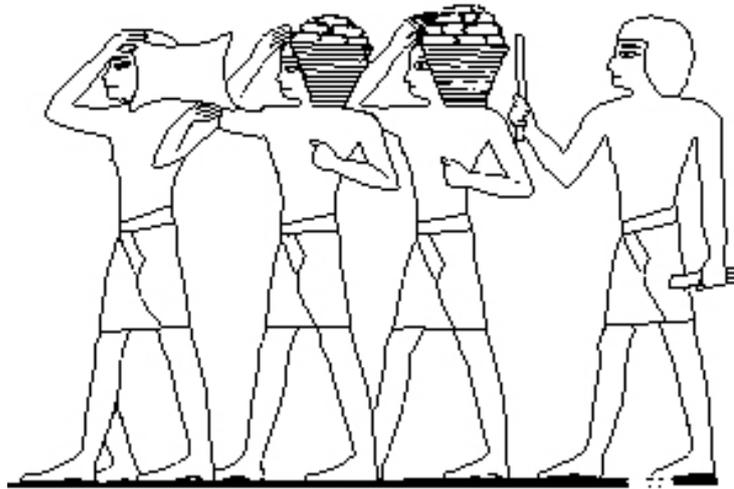


Vista parcial de las figuras que decoran la tumba de Rekmire.

Con referencia al trabajado del bronce, las pinturas de la tumba de Rekmire muestran a un grupo de operarios dedicados a fundir dos puertas de bronce para el templo de Amún, en Karnak. Estas pinturas de los trabajos en bronce fueron dibujadas y publicadas por numerosos autores.<sup>(12,13)</sup>



Figuras de la tumba de Rekmire. Arriba: operarios avivando la llama con fuelles. Abajo: retirando un crisol con metal fundido. Derecha: colando el metal en embudos de una lingotera, para hacer una puerta de bronce.



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

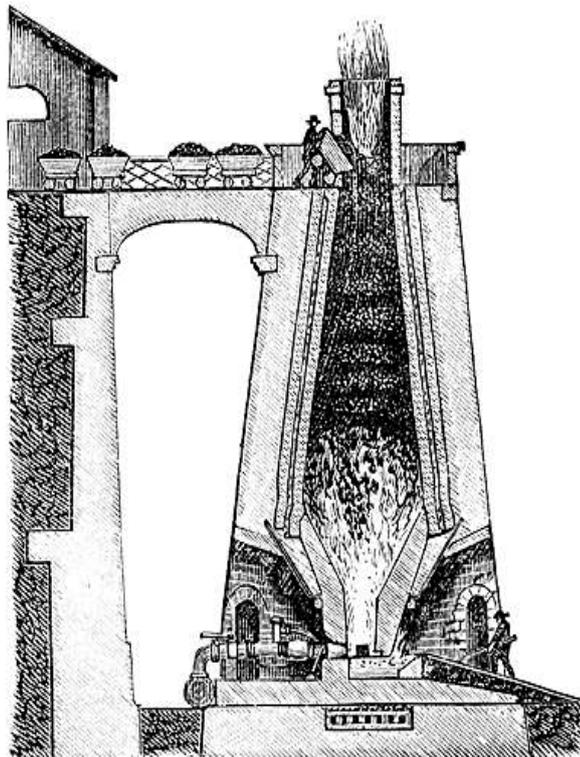
En los dibujos sólo se los ve refundir metales que traen de otra parte. Según la referencia <sup>(13)</sup> las condiciones de trabajo no eran muy saludables. Las fundiciones eran peligrosas, sucias y malolientes. También se menciona en dicha referencia que el uso del arsénico como aleante fue abandonado 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 alear cobre hasta poco antes de la llegada de los españoles.<sup>(7)</sup>



Para tener una idea de los objetos que se producían en la edad del bronce, vemos un conjunto de armas y ornamentos encontrados en Rumania.

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.<sup>(14,15,16)</sup> 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. ¿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 °C, 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 °C. Esta temperatura era inalcanzable con hornos como se mostró anteriormente. 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 °C 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 construyen grandes hornos, con importante inyección de aire.<sup>(17)</sup>



Antiguo horno para producir arrabio fundido, posterior al siglo XIV d.C. Este horno se alimenta por arriba con mineral de hierro, carbón y fundentes, y por debajo se extrae el arrabio fundido.

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 podrían haber formado parte de los carruajes de los hititas. Fueron precisamente los hititas<sup>(18,19)</sup> quienes, entre 1000 y 1500 a.C. encontraron esta forma de trabajar el hierro.



Ruedas de hierro de aproximadamente 1450 a.C.

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: ¿Cuales son las ventajas del hierro respecto al bronce?

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

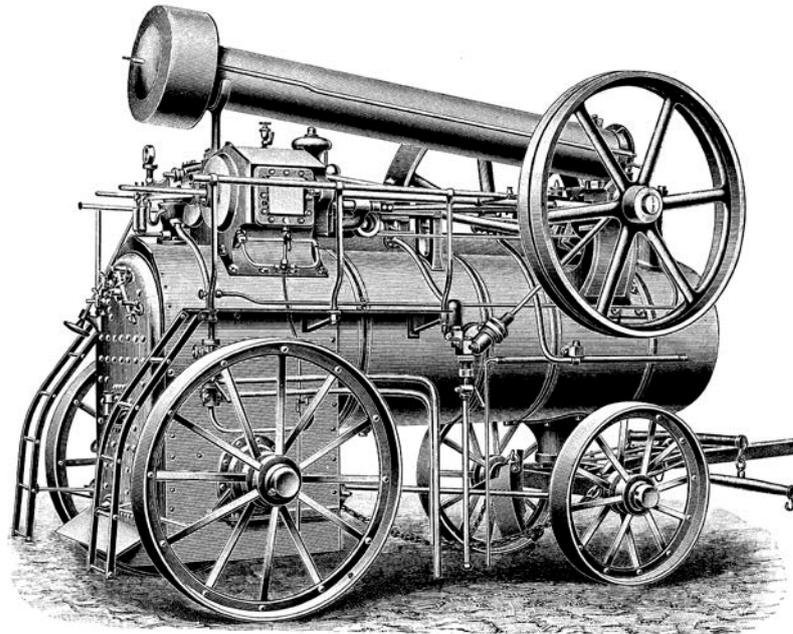
El uso del hierro, debido a su abundancia, encontró usos que no se habían pensado con los otros metales conocidos hasta ese entonces. Se fabricaron armas, como con el bronce, pero también se hicieron pinzas y martillos que facilitaron el trabajo de forjado del hierro, se hicieron arados, guadañas, picos 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.

Cuando con los años se pudo fundir el hierro, este material comenzó a desplazar también a la piedra en estructuras tales como los puentes.



Primer puente de hierro fundido. Fue construido sobre el río Severn, en Coalbrookdale, Inglaterra, en 1779.

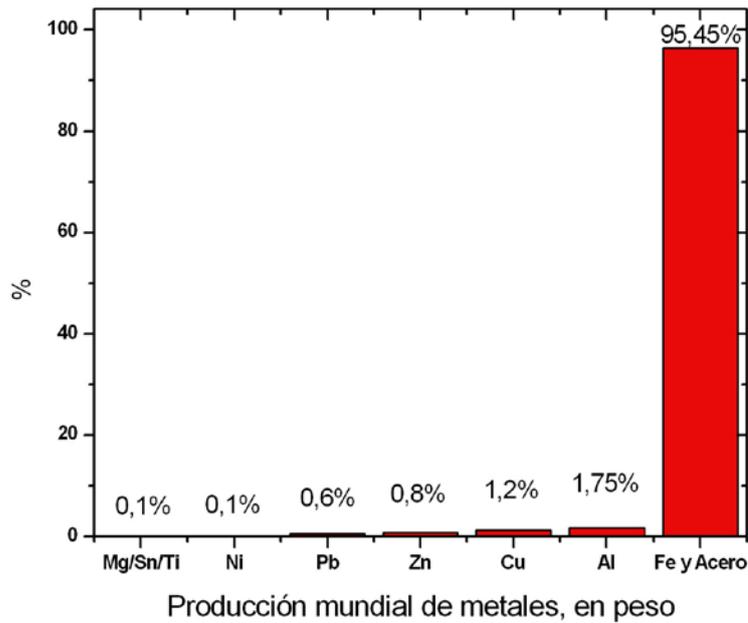
Además, como resultado del amplio uso de hierro forjado y fundido, aparecen impensables equipos, y máquinas a vapor.



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 basaban en estructuras de hierro.

Habiendo aparecido otros metales, tales como el aluminio o el titanio, nos preguntamos por qué nos dicen que todavía estamos, desde el punto vista de los materiales en la edad del hierro.<sup>(2)</sup> 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. 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.

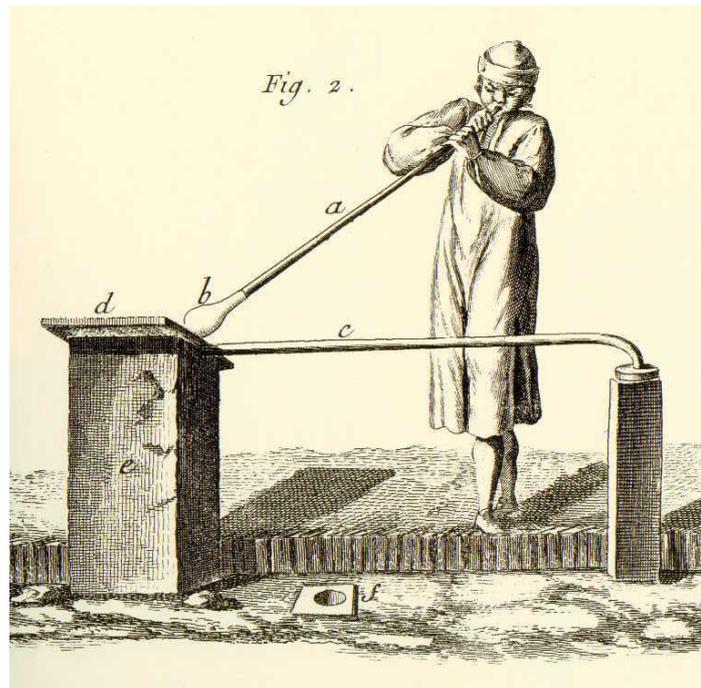


Medida en peso, la producción mundial del hierro y el acero supera muy ampliamente a la de todos los otros metales.

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.



Soplado del vidrio fundido.

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, 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 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 siguiente figura.

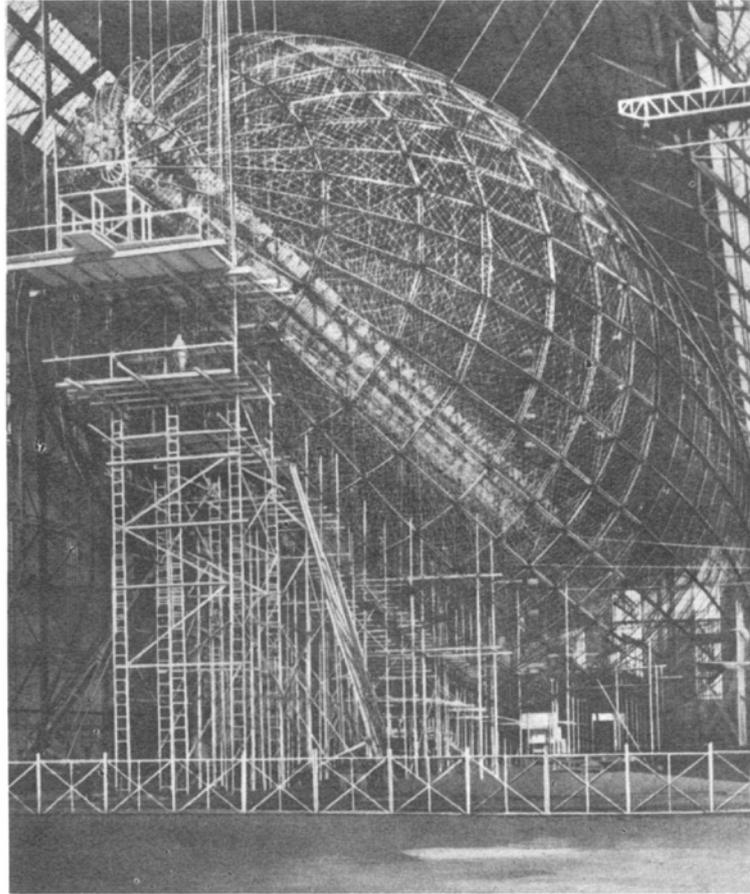


Perfumero de vidrio hallado en una tumba egipcia, fabricado por ese método tan laborioso, y que ahora se expone en el Museo Británico, en Londres.

En épocas recientes, un metal que influyó mucho en las actividades del hombre fue el aluminio.<sup>(20)</sup> 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.<sup>(20)</sup>

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. Entre otras muchas 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.



Esqueleto de aluminio del dirigible Zeppelin.

Más tarde permitió la construcción de los aviones comerciales que estamos acostumbrados a ver en la actualidad. El uso del aluminio hizo posible que el transporte aéreo se convirtiera en un recurso accesible a la mayoría de las personas.

Otro metal que atrae nuestra atención, también en épocas recientes, es el titanio.<sup>(21)</sup> El titanio ocupa el noveno lugar en abundancia en la corteza terrestre (0,63% en peso)<sup>(22)</sup> 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 el acero. 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 a 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 barato. 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.

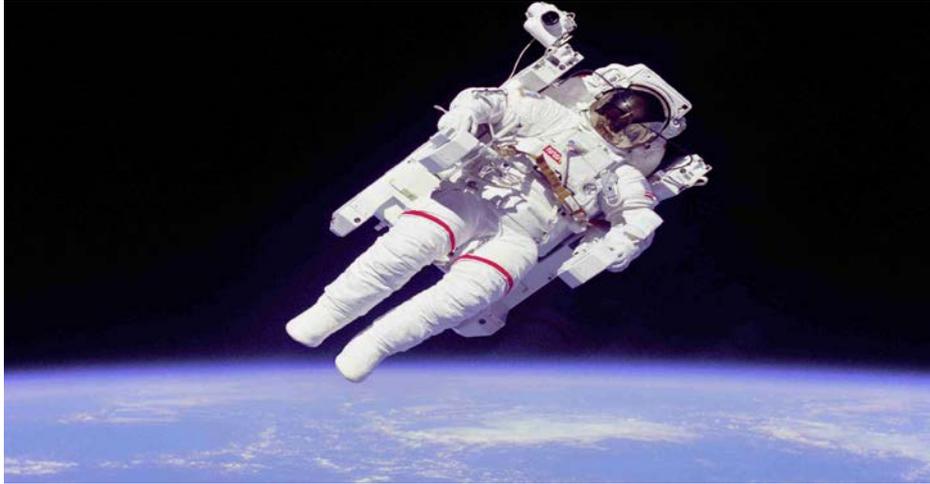
La muy ventajosa relación entre bajo peso y alta resistencia mecánica del titanio permitió el desarrollo de toda la tecnología aeroespacial.



Cohete Saturno, de la NASA.

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.

Comparemos por un momento la primer figura del *Homo habilis* con esta otra:



Astronauta moviéndose en el espacio, fuera del transbordador Challenger, en 1984.

¡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, en la industria química, en medicina, etc.

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. El titanio, en las turbinas, se usa en los rotores, en los álabes, en el sistema hidráulico, etc.



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

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.



Prótesis de titanio con cabeza de cerámico que puede girar en una copa de polietileno inserta en la cadera.



Radiografía de un paciente que ha recibido un implante para corregir una fractura de cabeza de fémur.

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 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 barata 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.

\*\*\*

Dejamos aquí los metales, para analizar que pasó con el desarrollo de otros materiales que influyeron en nuestra vida diaria. 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,<sup>(24)</sup> donde gobernó entre 1694 y 1733. El Rey Augusto II nos resulta interesante porque fue el primero en propiciar el desarrollo de un material por encargo del gobierno, en este caso representado por el rey.<sup>(25)</sup> 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, Augusto II convirtió a Dresde, la capital de Sajonia, en la ciudad más bella de Europa. Además era un fanático coleccionista de porcelana fina. 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<sup>(26)</sup>

Ehrenfried Walther von Tschirnhaus<sup>(27)</sup> 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<sup>(28)</sup> que no tenía nada que envidiar a la porcelana china. 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 se logró por un tiempo, pero luego 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.



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

\*\*\*

Pasando a otro tema, muchos habrán visto las radios que alguna vez usaron nuestros abuelos. Estaban construidas con los materiales que vimos hasta ahora, y un componente fundamental

de estas radios eran las válvulas termoiónicas o tubos de vacío. 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.



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



Radio modelo Philco 90, de 1931

Se encontró también que estos tubos de vacío podían usarse para procesar información, y es así como se construyen, a fines de 1940 las primeras computadoras.<sup>(30)</sup> Estas primeras computadoras solían tener más de 10.000 de estos tubos de vacío. Para que los tubos de vacío

funcionen, necesitan tener un filamento incandescente. 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, pesaba 27 toneladas y ocupaba 167 metros cuadrados.



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

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.<sup>(31)</sup>

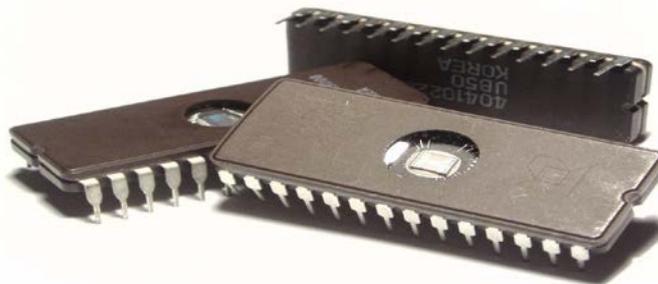
En la época en la que se estaban construyendo estas computadoras, los metalurgistas encontraron un método por el cual podían producir metales de muy alta pureza. Lo denominaron técnica de fusión zonal. Consistía en trabajar con barras de metal, a las que, por calentamiento localizado se les fundía una 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.





Radio a transistores de 1956.

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. Componentes tan comunes en nuestras computadoras actuales



Circuitos integrados

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.

\*\*\*

Stephen L. Sass, en su libro "The Substance of Civilization"<sup>(33)</sup> nos sugiere que comparemos los restos del naufragio de dos lujosos transatlánticos, ocurridos en el siglo XX: los restos del lujoso transatlántico inglés RMS Titanic, <sup>(34)</sup> hundido el 15 de abril de 1912, al chocar con un

iceberg, y los del también lujoso transatlántico italiano SS Andrea Doria,<sup>(35)</sup> 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 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, impermeables, material de tapizado, cubierta aisladora de cables eléctricos, artefactos de uso diverso, etc.<sup>(36)</sup> 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, tetrafluoetileno, 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 politetrafluoetileno, pero nosotros lo conocemos familiarmente como Teflón. Tiene infinidad de aplicaciones tecnológicas importantes, aparte de ser un recubrimiento muy común en utensilios 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.<sup>(33,36)</sup>

Algunos polímeros nuevos son realmente sorprendentes, como el Kevlar, introducido por Du Pont. 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, en reemplazo de los protectores que utilizaba la infantería Panzer, alemana, en 1918.



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 incrustados 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.

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. Numerosos investigadores están trabajando actualmente en temas tales como el desarrollo de polímeros biodegradables, 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,<sup>(37)</sup> etc. etc.



## MUSCULOS ARTIFICIALES

Polímeros estimulados  
eléctricamente

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

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 cambios de temperatura aptos para usos culinarios, etc. Podría pensarse a esta altura que las nuevas posibilidades de desarrollo del vidrio estaban agotadas. Pero entre 1970 y 1980, 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. La razón de este desplazamiento 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.

¿Qué pueden hacer los que tengan interés en el tema de los materiales? Para aquellos que terminan sus estudios secundarios, hay carreras tales como la Ingeniería en Materiales, que se dicta en varias Universidades del país, y donde pueden adquirir los conocimientos necesarios. Para aquellos que acaban de concluir una carrera universitaria, se les presenta la posibilidad de realizar cursos de posgrado, tales como Maestrías o Doctorados en el área de materiales. Si les gusta el tema, pueden estar seguros que no se sentirán defraudados.

## REFERENCIAS:

- 1.- Human evolution, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 04/01/2007.
- 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 05/01/2007.
- 5.- Historia universal, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 04/01/2007.
- 6.- Copper Age, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 02/01/2007.
- 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 15/02/2007.
- 9.- Bronze Age, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 02/01/2007.
- 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](http://www.reshafim.org.il/ad/egypt/trades/bronze_casting.html), consultada el 15/01/2007.
- 14.- Hystory of Ferrous Metallurgy, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 27/12/2006.
- 15.- Iron Age, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 27/12/2006.
- 16.- Iron, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 27/12/2006.
- 17.- Siderurgia, visto en Microsoft Encarta 2006, de Microsoft Corporation.
- 18.- History of the Hittites, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 24/01/2007.
- 19.- Hittites, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 24/01/2007.
- 20.- Aluminium, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 23/01/2007.
- 21.- Titanium, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 11/01/2007.
- 22.- Abundance of the chemical elements, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 01/02/2007.
- 23.- Hip replacement, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 11/01/2007.
- 24.- Augusto II de Polonia, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 29/01/2007.
- 25.- Ivan Amato, *STUFF, THE MATERIALS THE WORLD IS MADE OF*. Avon Books Inc., N.Y., 1997.
- 26.- Porcelain, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 05/02/2007.
- 27.- Ehrenfried Walther von Tschirnhaus, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 29/01/2007.
- 28.- Meissen porcelain, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 29/01/2007.
- 29.- Radio, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 08/02/2007.
- 30.- [http://nobelprize.org/educational\\_games/physics/transistor/history/](http://nobelprize.org/educational_games/physics/transistor/history/), consultada el 30/01/2007.
- 31.- ENIAC, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 09/02/2007.
- 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://en.wikipedia.org>, consultada el 11/01/2007.
- 35.- SS Andrea Doria, <http://es.wikipedia.org>, consultada el 11/01/2007.
- 36.- Plastic, <http://en.wikipedia.org>, consultada el 23/01/2007.
- 37.- Steven Ashley, *Artificial Muscles*, *Scientific American*, Octubre 2003, p. 34.

## TABLA I

### ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA TERRESTRE

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

TAREAS: (DAR EJEMPLOS EN CADA CASO)

- 1.- Enumerar materiales que haya usado el hombre para dejar registrados textos que aún existan.
- 2.- Mencionar los materiales que se utilizan o se han utilizado para confeccionar calzado.
- 3.- Enumerar materiales utilizados por el hombre para construir sus viviendas.
- 4.- Indicar materiales que usó el hombre para poder surcar ríos o mares.
- 5.- Mencionar materiales con los que el hombre construyó artefactos que le permitieron volar.
- 6.- Averiguar la historia del vidrio, desde la antigüedad hasta el presente.
- 7.- Averiguar cómo se desarrolló la fabricación de porcelana fina en Europa. (Prieviamente se importaba toda de China y Japón)

## RESPUESTAS TENTATIVAS:

1.- Enumerar materiales que haya usado el hombre para dejar registrados textos que aún existan.

Piedra: Piedra Roseta  
Cerámicos: Tabletillas de escritura cuneiforme  
Papiro: Textos egipcios  
Pergamino:  
Papel:  
Láminas de cobre: Rollos del Mar Muerto.

2.- Mencionar los materiales que se utilizan o se han utilizado para confeccionar calzado.

Madera: zuecos  
Fibra vegetal: alpargatas  
Cuero: botas de potro, zapatos  
Polímeros

3.- Enumerar materiales utilizados por el hombre para construir sus viviendas.

Hielo: iglú  
Piedra  
Paja  
Adobe  
Ladrillo cocido  
Techos de: cobre, pizarra, paja, tejas cerámicas, aluminio

4.- Indicar materiales que usó el hombre para poder surcar ríos o mares.

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.- Mencionar materiales con los que el hombre construyó artefactos que le permitieron volar.

Globos de papel o tela  
Globos de tela reforzados con aluminio: dirigibles  
Madera y tela  
Aluminio  
Titanio

Sobre el autor: J o s é R o d o l f o G A L V E L E

Profesor Titular de Corrosión de Metales de la UNSAM.

Director del Instituto de Tecnología "Prof. Jorge A. Sabato", UNSAM-CNEA.

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 155 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 Físicoquímica 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.

.- Diploma al Mérito Konex 2003 en Ingeniería Civil, Mecánica y de Materiales.

.- Premio Konex de Platino 2003 en Ingeniería Civil, Mecánica y de Materiales.

.- Premio "Vocación Académica 2004", Fundación El Libro y Lázara Grupo Editor, 4 de mayo de 2004, 30ª. 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.

.- Doctor Honoris Causa de la Universidad Nacional de General San Martín. Resolución del Consejo Superior de la UNSAM del 21 de diciembre de 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

Publicó recientemente 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.