

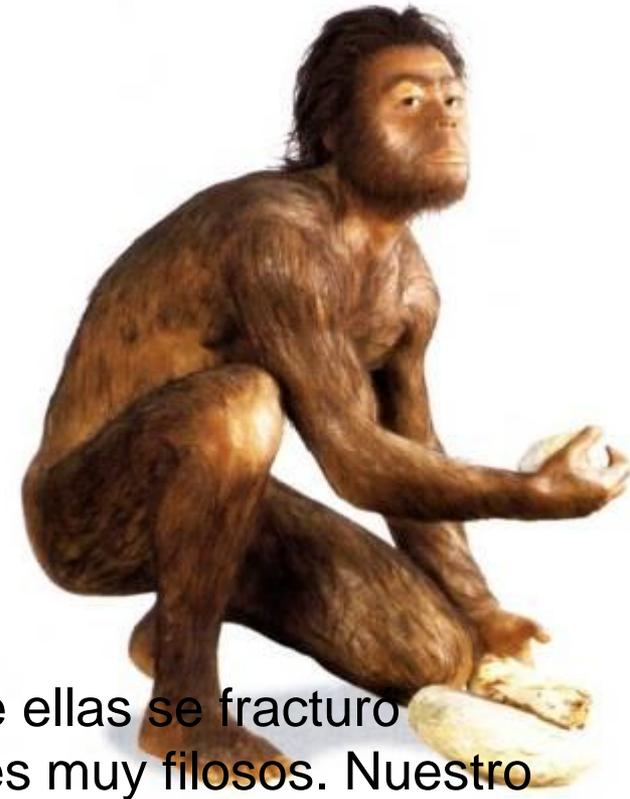


Los Materiales y la Humanidad



Los Materiales y la Humanidad

Todo comenzó hace unos 2,6 millones de años, cuando un antecesor nuestro, el *Australopithecus* y unos 200000 años más tarde el *Homo habilis*, en algún lugar de África oriental se entretenía golpeando dos piedras entre si.



Al hacerlo, una de ellas se fracturo exponiendo bordes muy filosos. Nuestro antecesor comprobó que con esa piedra filosa podía cortar fácilmente ramas de árboles, cortar alimentos, cazar más fácilmente los animales de los que se alimentaban y defenderse de aquéllos que les resultaban peligrosos.

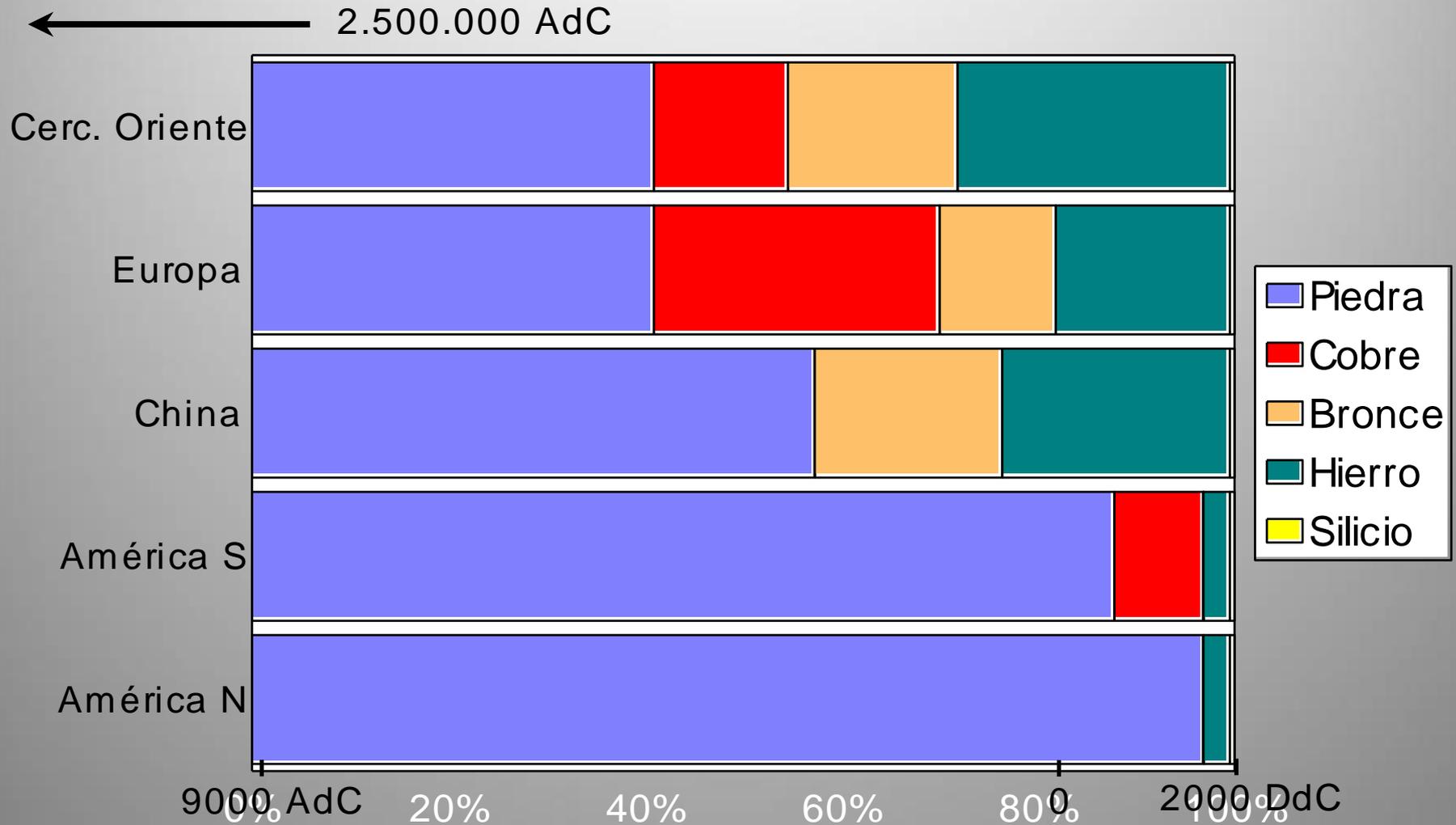
Los Materiales y la Humanidad

La habilidad del hombre del paleolítico para producir distintos tipos de instrumentos puntiagudos o filosos queda en evidencia por la evidencia arqueológica que nos muestra cuchillos, puntas de flecha y de lanzas de la edad de piedra



Los Materiales y la Humanidad

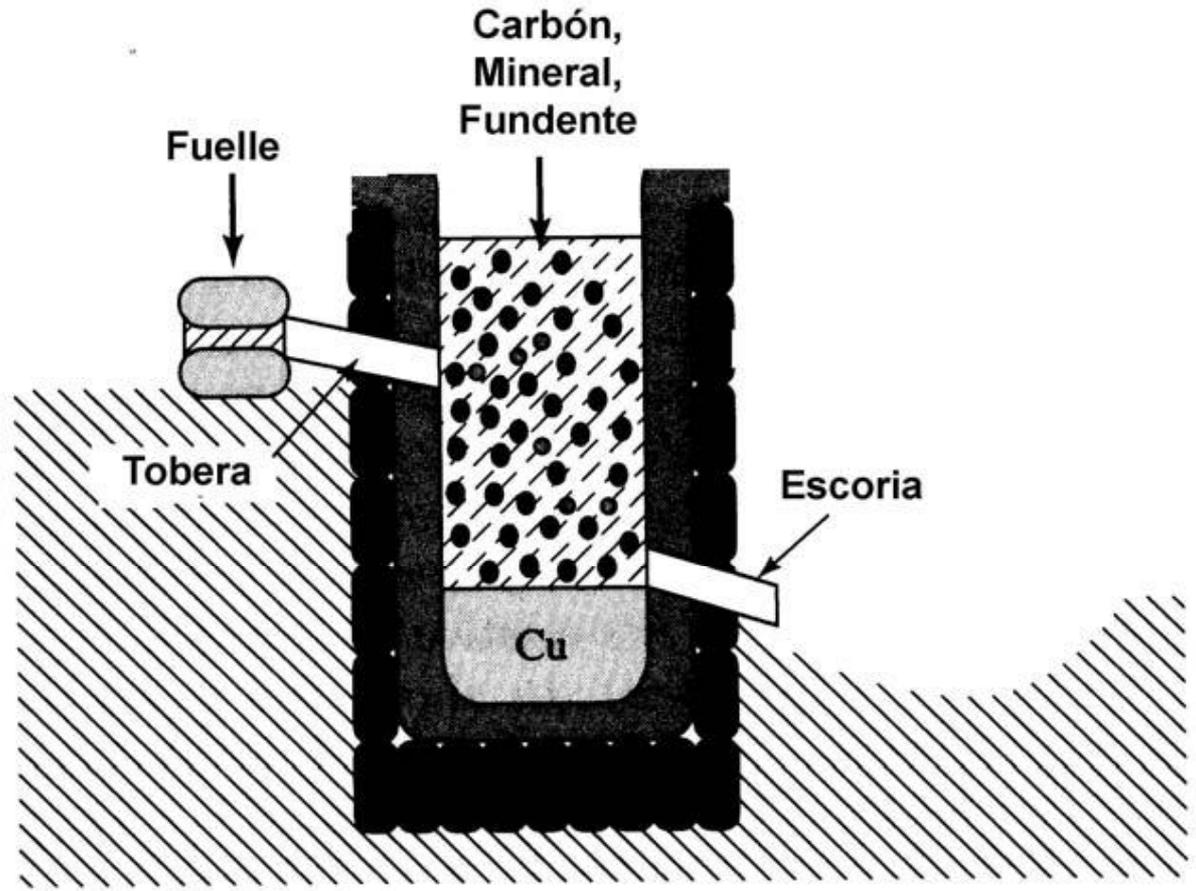
Tal es la importancia de los materiales en la vida del hombre que la historia (y la prehistoria) de la humanidad suele dividirse en períodos asociados con los materiales dominantes en cada época.



Los Materiales y la Humanidad

Entre los primeros indicios de producción de cobre se encuentran los de la Civilización del Valle del Indo, actualmente Pakistán, que datan de unos 4300 años a.C.

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 usando fuelles para soplar aire.



Los Materiales y la Humanidad

El 19 de Setiembre de 1991, dos turistas alemanes encontraron un cuerpo humano en un glaciar, en el límite entre Austria e Italia.

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. Las condiciones del glaciar preservaron inalterado el cuerpo por 5300 años!



Los Materiales y la Humanidad

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 y flechas con puntas de pedernal, un arco y un cuchillo de pedernal con mango de madera de fresno. El calzado estaba hecho con piel de oso y de ciervo en la parte superior y el cuero estaba impermeabilizado con grasa animal.



Los Materiales y la Humanidad

Dejemos ahora a Ötzi y la edad del cobre, para ir 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, con lo que se obtenía lo que ahora conocemos como bronce.

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.

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



Los Materiales y la Humanidad

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.

Una fuente importante de cobre, en la zona del Mediterráneo, fue la isla de Chipre.

El cobre se comercializaba en forma de lingotes. En tanto que el estaño podía provenir de parajes tan lejanos como las Islas Británicas. Esto nos muestra que en esa época la navegación ya estaba muy avanzada.



Lingote de Cobre primitivo

Los Materiales y la Humanidad

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 como lo muestra este puente de la época del imperio romano.

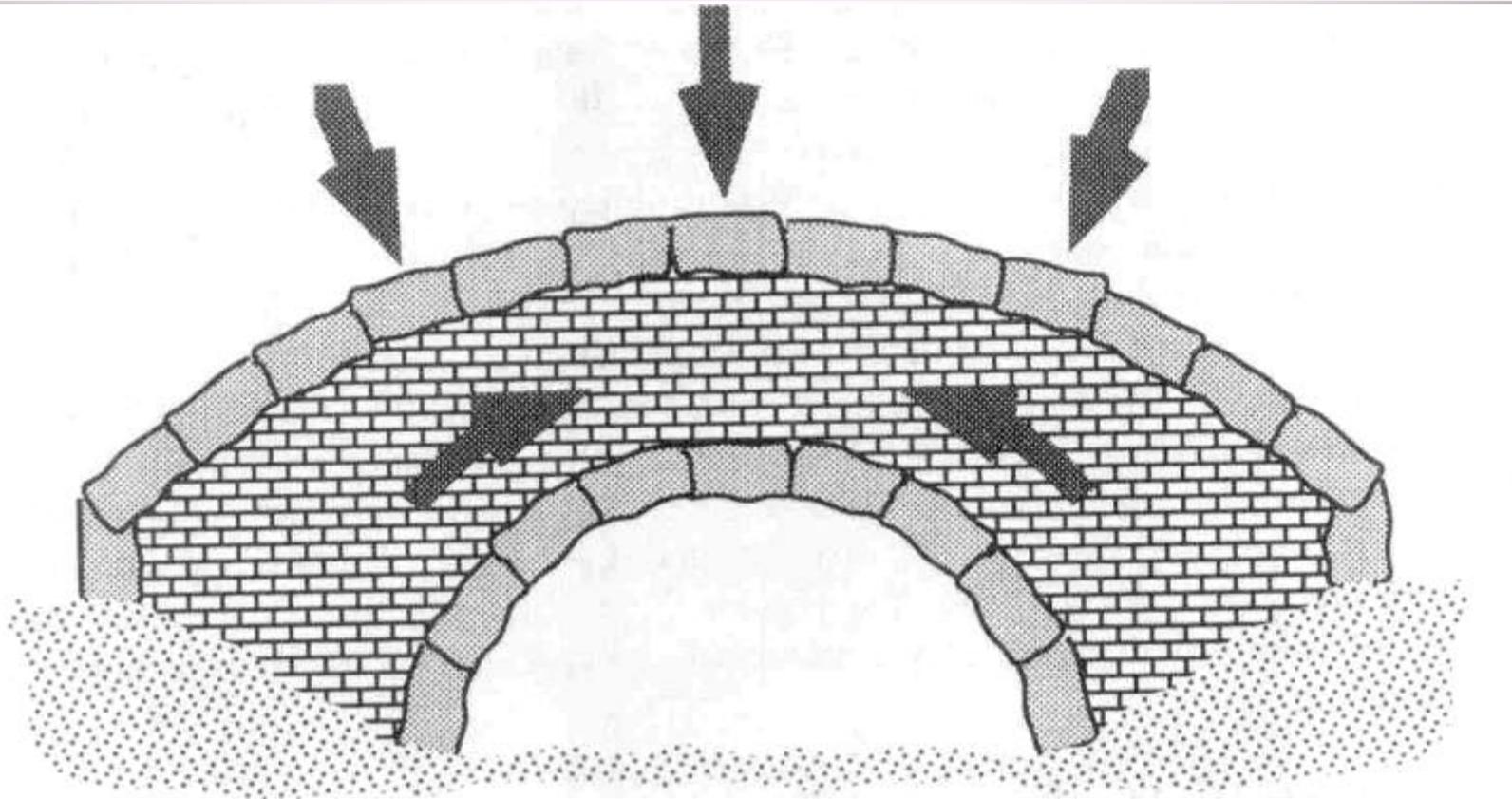


Los Materiales y la Humanidad



El Acueducto de Segovia es la obra de ingeniería civil romana más importante de España y es uno de los monumentos más significativos y mejor conservados de los que dejaron los romanos en la península Ibérica.

Los Materiales y la Humanidad

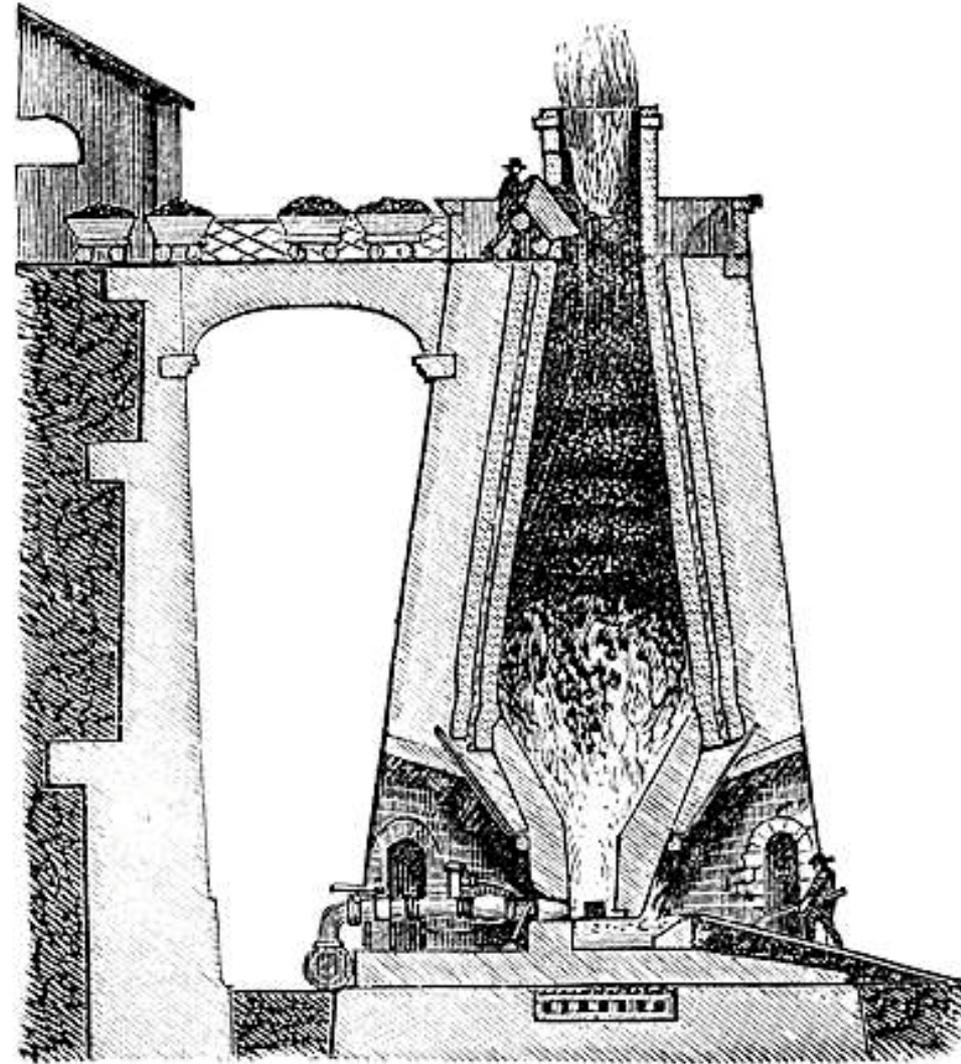


La necesidad de recurrir a diseños aptos para evitar la fractura no es un concepto nuevo. Un recurso utilizado hasta fines del siglo XVIII y XIX fue la utilización de elementos estructurales trabajando en compresión como lo ilustra este diseño de un puente romano. Esta necesidad surgía debido al comportamiento relativamente frágil de los materiales estructurales utilizados hasta la introducción de la producción en masa del acero en la Revolución Industrial.

Los Materiales y la Humanidad

Luego de la edad del bronce, el siguiente cambio lo observamos entre 1000 y 1500 años a.C. cuando comienza la edad del hierro. Para fundir hierro se necesita una temperatura de 1535°C . Hay una aleación que forma el hierro con alrededor de 4% de carbono, y que se la conoce como arrabio. Pero aún el arrabio necesita 1130°C para fundir.

Por esto 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. El horno de la figura se alimenta por arriba con mineral de hierro, carbón y fundentes, y por debajo se extrae el arrabio fundido.



Antiguo horno para producir arrabio fundido, posterior al siglo XIV d.C.

Los Materiales y la Humanidad

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.

Máquina de vapor construida en Hierro



Los Materiales y la Humanidad

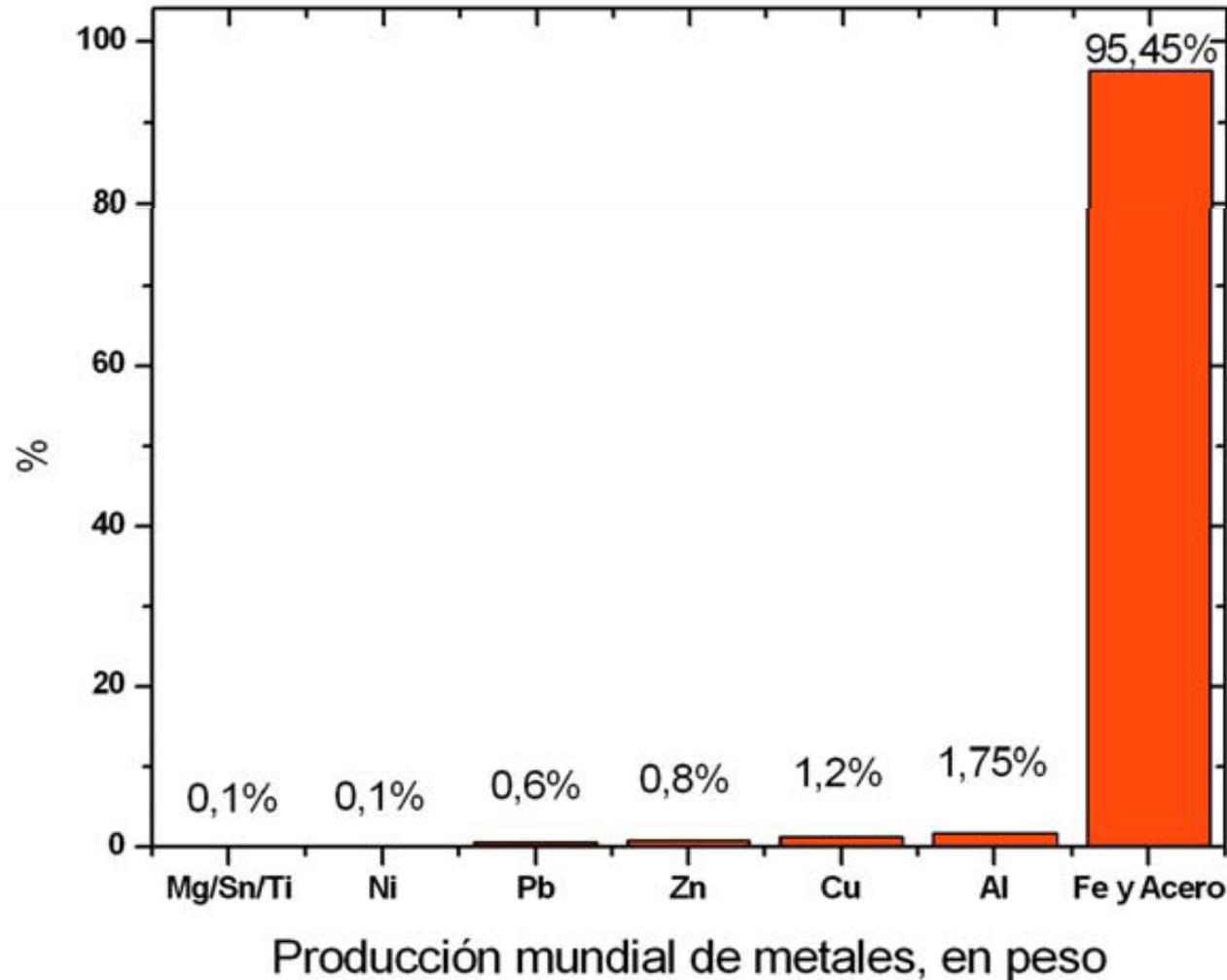
Primer puente de hierro fundido. Fue construido sobre el río Severn, en Coalbrookdale, Inglaterra, en 1779.



Este material comenzó a desplazar también a la piedra en estructuras tales como los puentes.

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

Los Materiales y la Humanidad



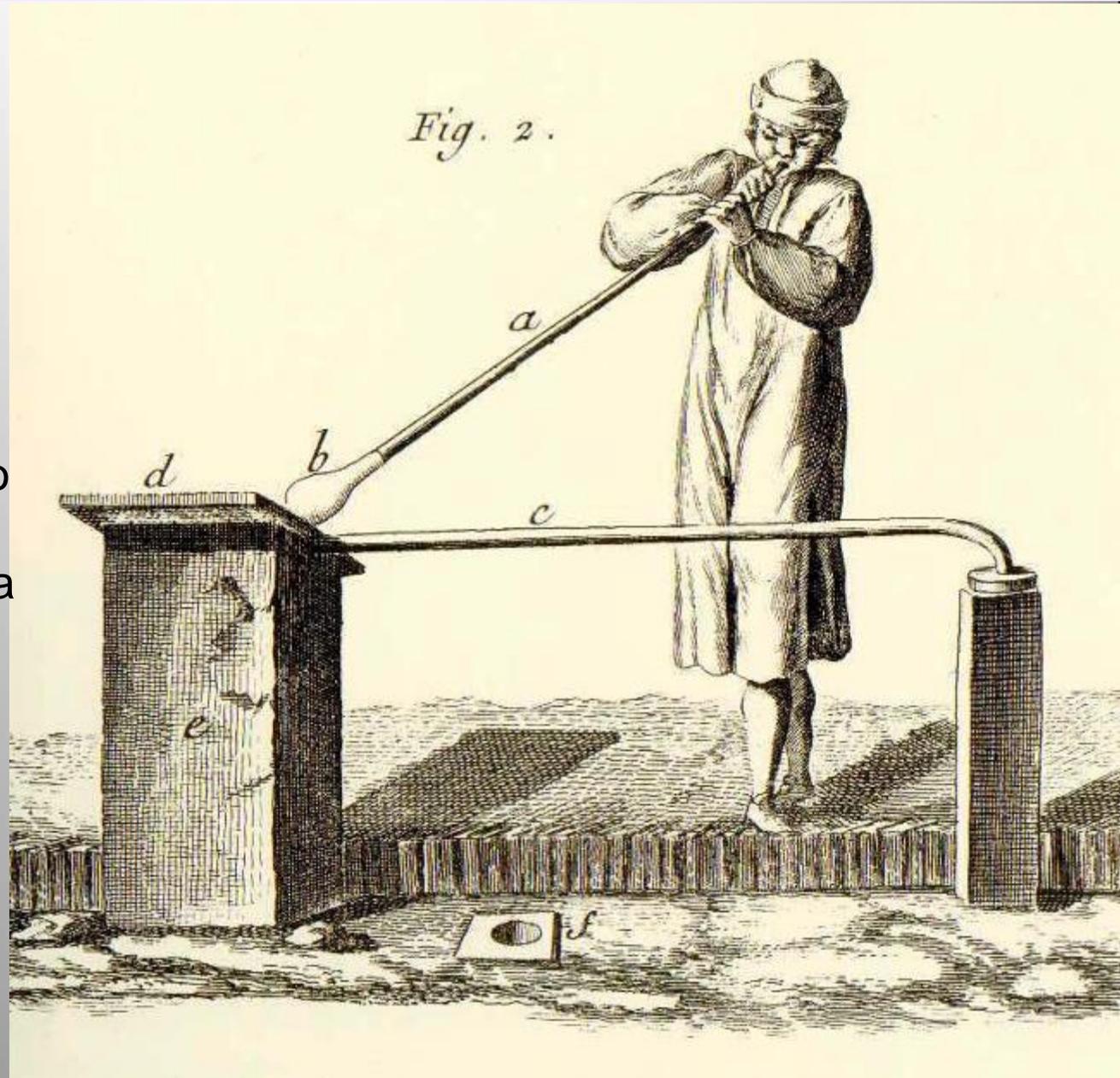
El 95,45 % del peso de los metales producidos en la actualidad corresponde al hierro y acero. El peso de todos los otros metales juntos no alcanza al 5% del total.

Los Materiales y la Humanidad

El uso del hierro permitió desarrollar también otras tecnologías.

Al contar con tubos de hierro, fue posible el 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.



Los Materiales y la Humanidad

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.

La figura nos muestra un 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.



Perfumero de Vidrio
Egipto - Aprox. 1350 A.de C.

Los Materiales y la Humanidad

En épocas recientes, un metal que influyó mucho en las actividades del hombre fue el aluminio.

Pese a que los minerales de aluminio son muy abundantes en la corteza terrestre, 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.

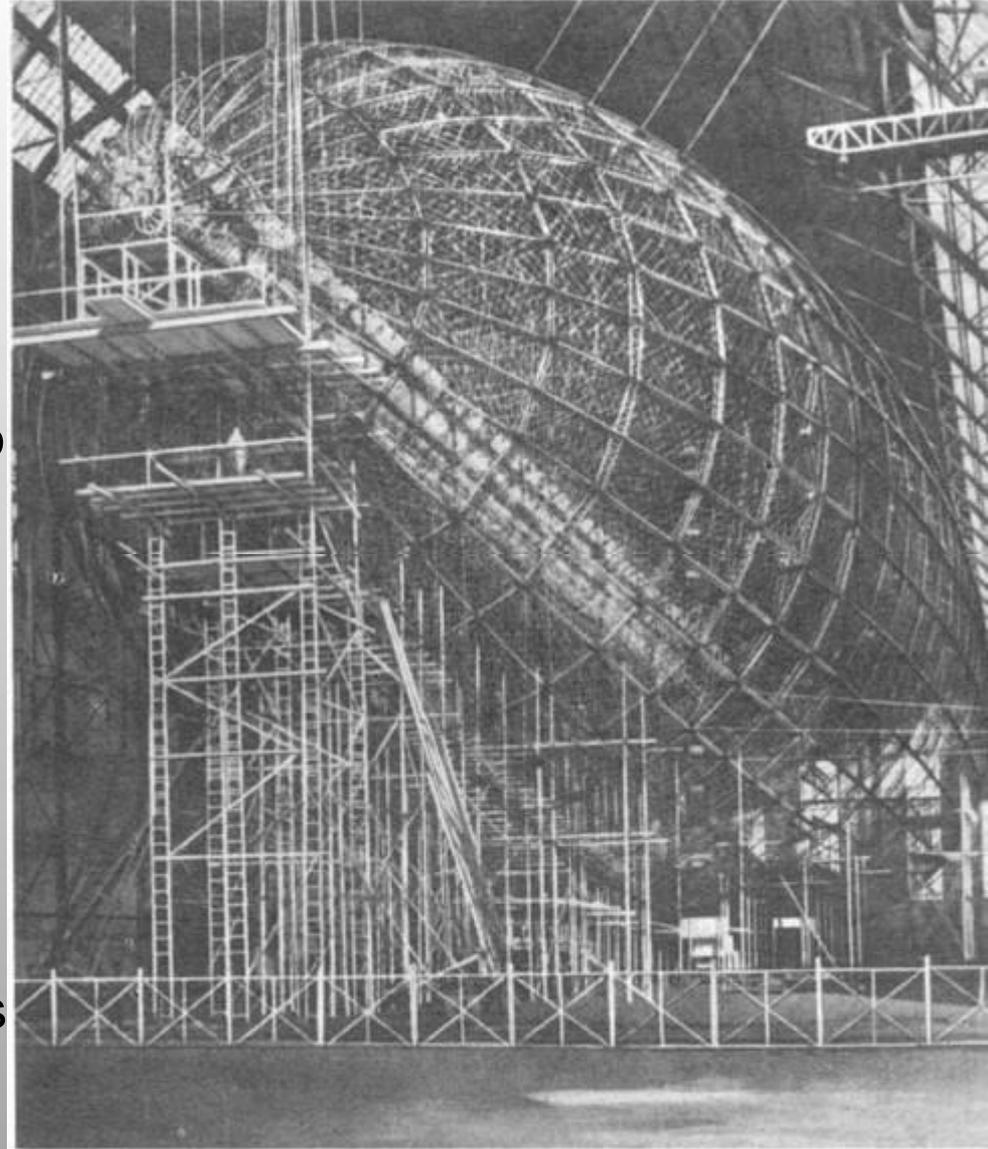


Los Materiales y la Humanidad

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 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.



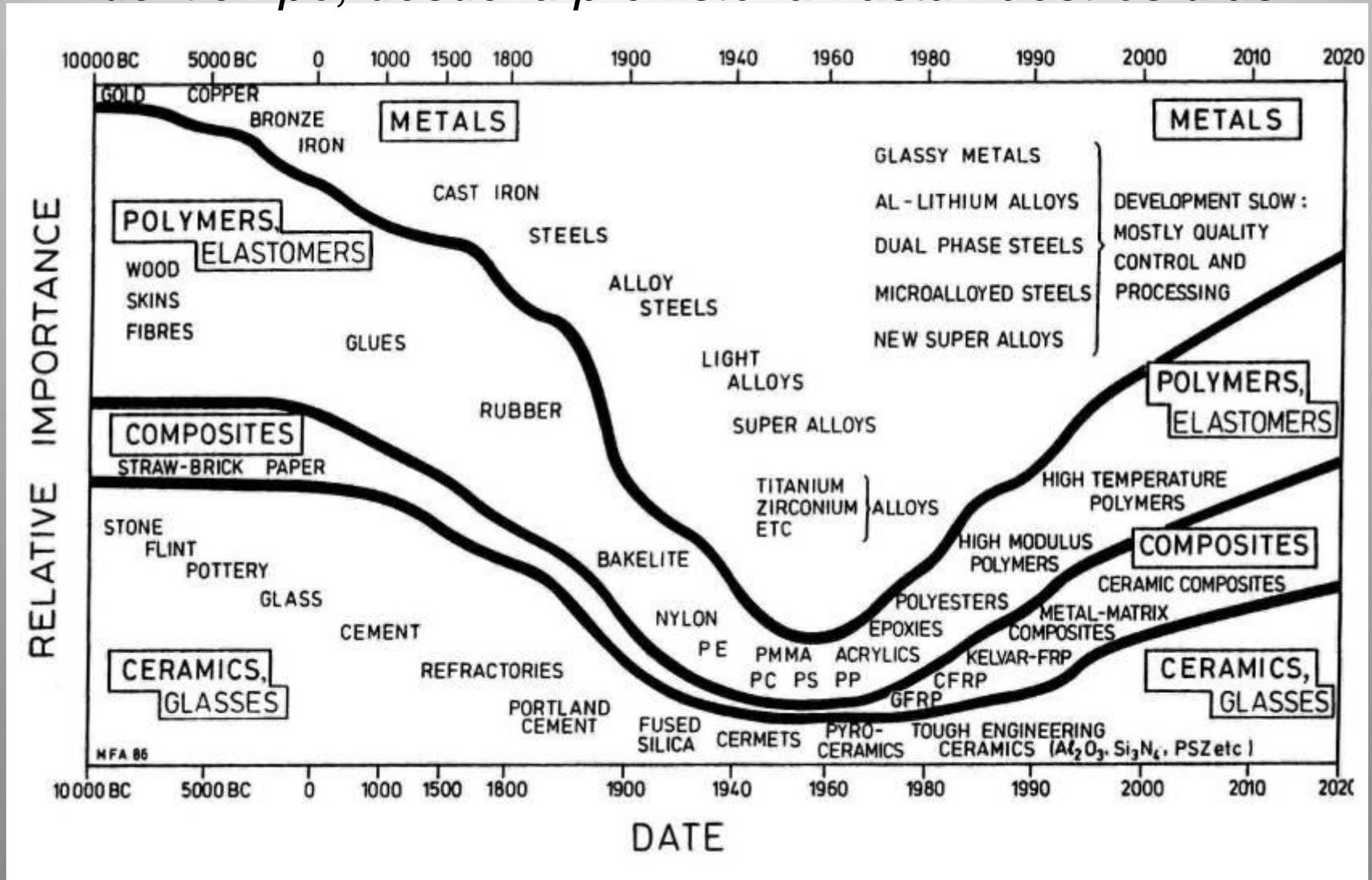
Los Materiales y la Humanidad



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 convierta en un recurso accesible a la mayoría de las personas.

Los Materiales y la Humanidad

Utilización hecha por el hombre de los materiales a través del tiempo, desde la prehistoria hasta nuestros días



Los Materiales y la Humanidad

Los elementos predominantemente metálicos son los que ocupan la parte izquierda de la tabla periódica como se muestra a continuación:

IA																	O
1	II A										III A	IV A	V A	VI A	VII A	2	
H											B	C	N	O	F	He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	VIII										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
		III B	IV B	V B	VI B	VII B						I B	II B				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															
		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
		90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw		

Los Materiales y la Humanidad

Los polímeros comerciales son compuestos de los elementos que se señalan en la Tabla Periódica, es decir H, C, N, O, F y Si

IA																	O	
1	II A											III A	IV A	V A	VI A	VII A	2	
H												5	6	7	8	9	He	
3	4											B	C	N	O	F	10	
Li	Be																Ne	
11	12											13	14	15	16	17	18	
Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII				I B	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89																
Fr	Ra	Ac																

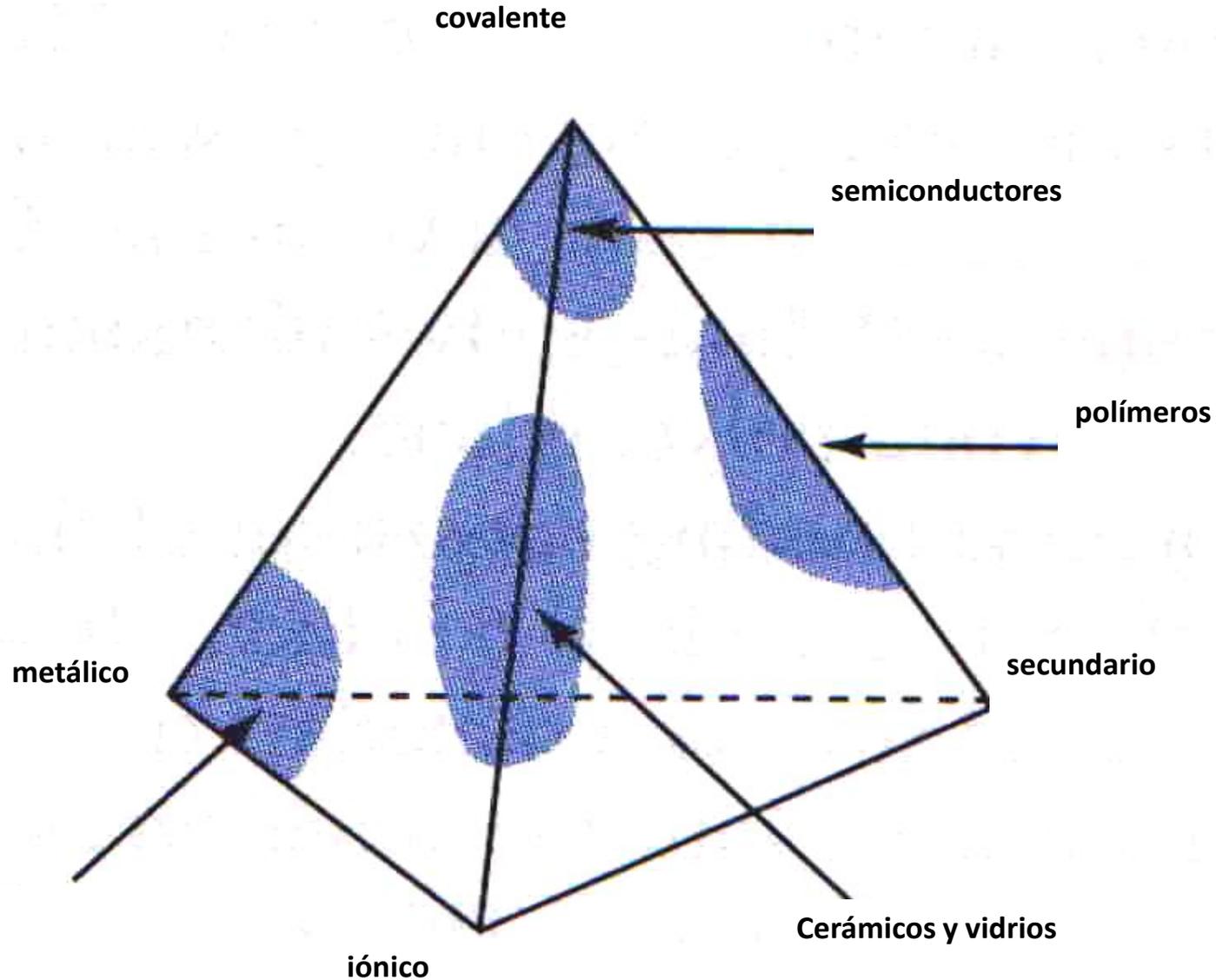
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

Los Materiales y la Humanidad

Los cerámicos son combinaciones de uno o más elementos metálicos con uno o más de los elementos C, N, O, P y S

IA																	O																														
1	II A										III A					IV A	V A	VI A	VII A	2																											
H											B	C	N	O	F			He																													
3	4											5	6	7	8	9	10																														
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																														
11	12	III B					IV B					V B					VI B					VII B					VIII					I B					II B					13	14	15	16	17	18
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																																								
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																														
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																														
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																														
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																														
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																														
87	88	89																																													
Fr	Ra	Ac																																													
															58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																			
															Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																			
															90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103																			
															Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw																			

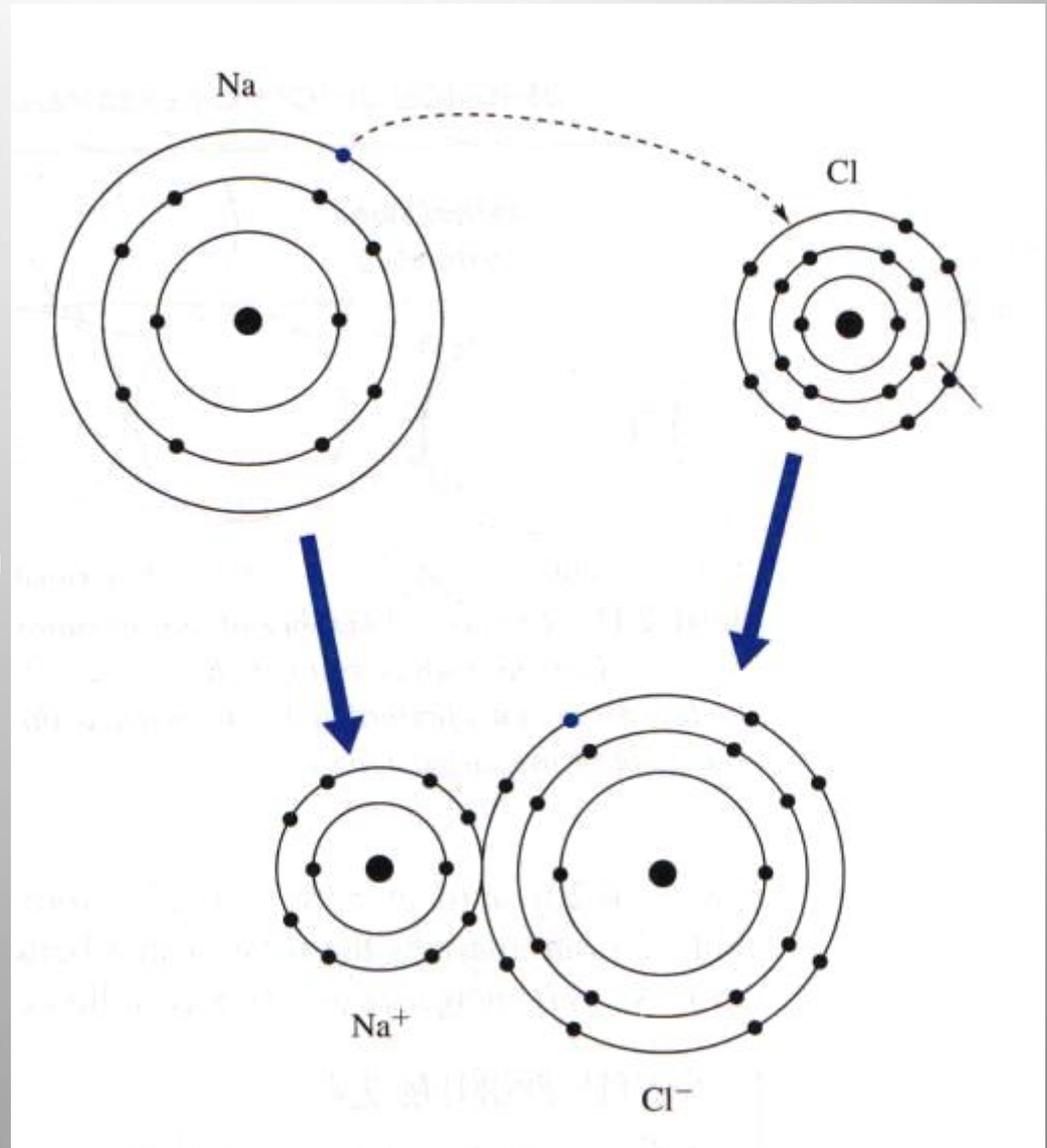
Los Materiales y la Humanidad



Los distintos tipos de enlace y los materiales a que dan origen

ENLACE IONICO

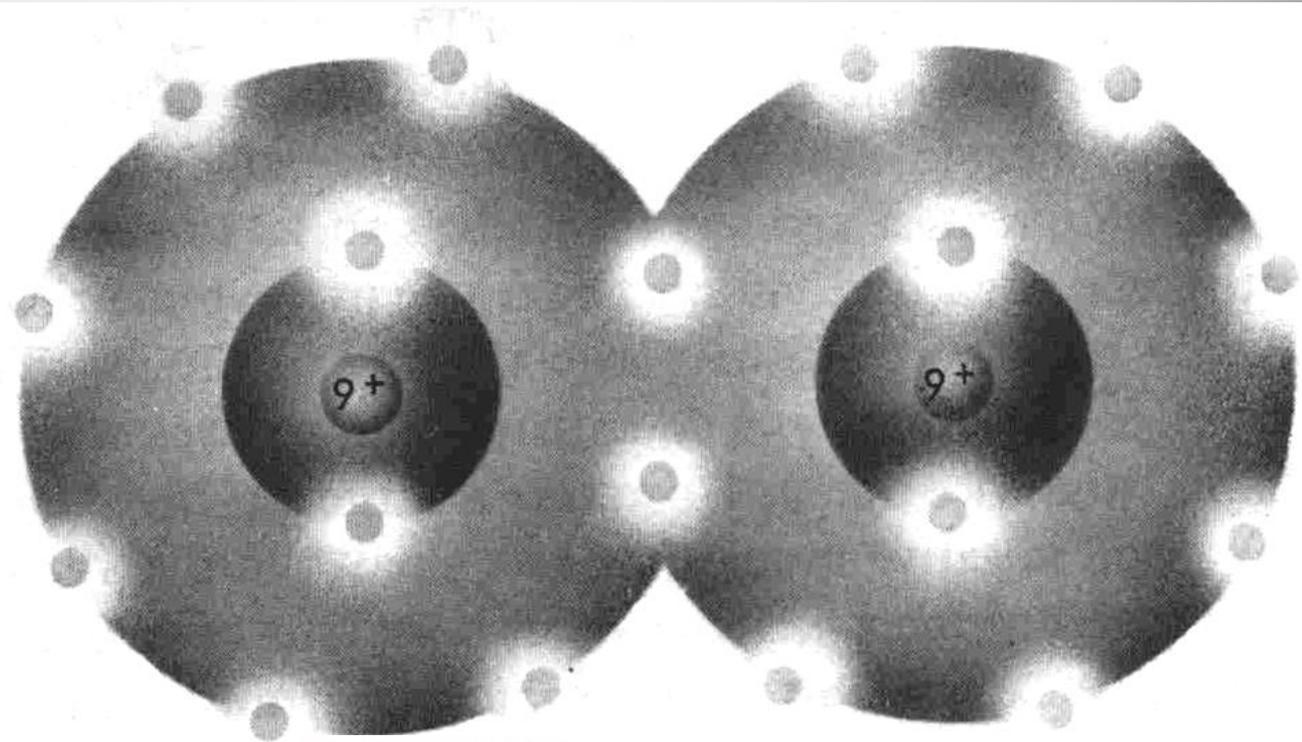
Formación del compuesto iónico $NaCl$ a partir de la transferencia de un electrón de la capa externa de Na a la del Cl



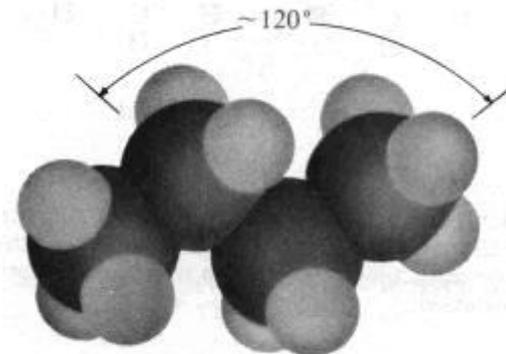
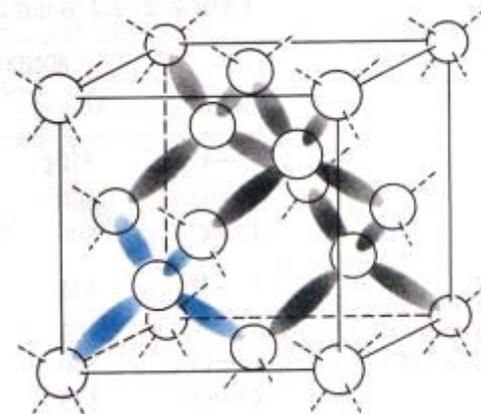
ENLACE COVALENTE

Este enlace se produce entre elementos que se encuentran cercanos en la Tabla Periódica.

En el enlace covalente los átomos no ceden electrones sino que los comparten de forma de completar sus capas exteriores adquiriendo la configuración electrónica de un gas noble.



Estructura atómica covalente (izquierda) del diamante y del butano (derecha)

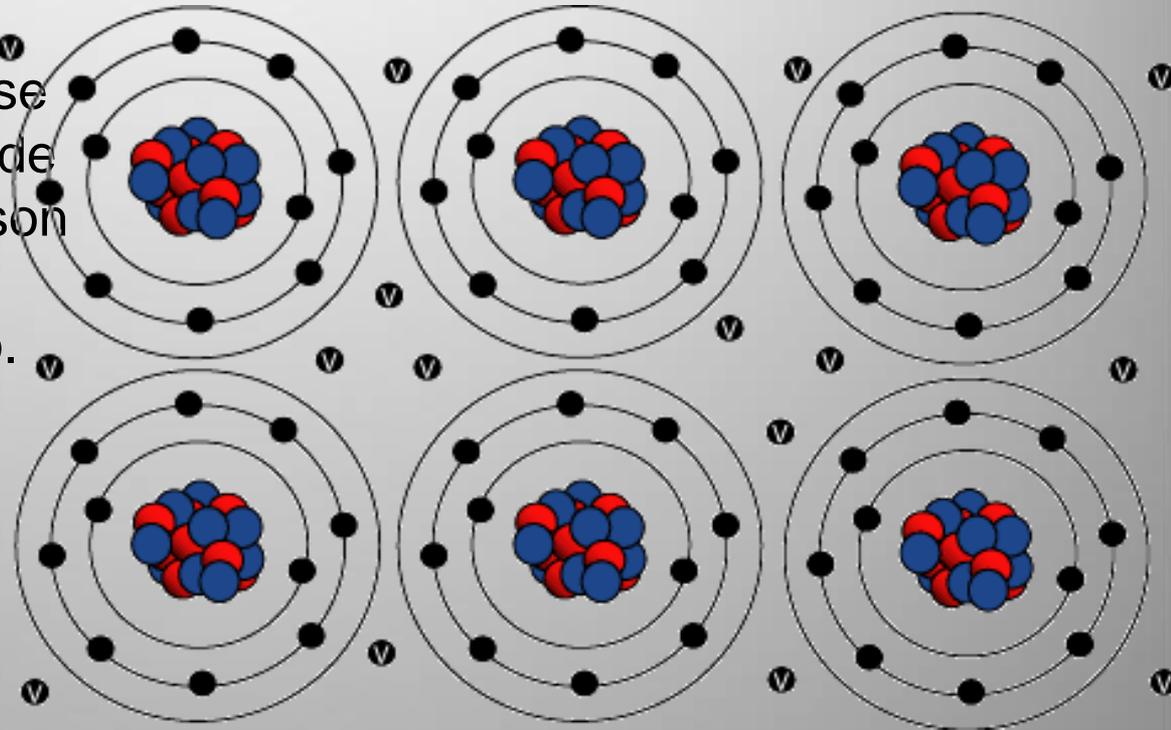


ENLACE METALICO

El enlace metálico puede considerarse como una variante del enlace covalente en el que los electrones compartidos no se encuentran asociados a pares de átomos en particular sino que son compartidos cooperativamente por todos los átomos del sólido.

Una imagen frecuentemente utilizada es la de un “*mar*” de electrones libres en el cual se encuentran inmersos los núcleos atómicos y sus capas electrónicas internas.

Este concepto permite explicar la alta conductividad eléctrica y térmica de los metales.



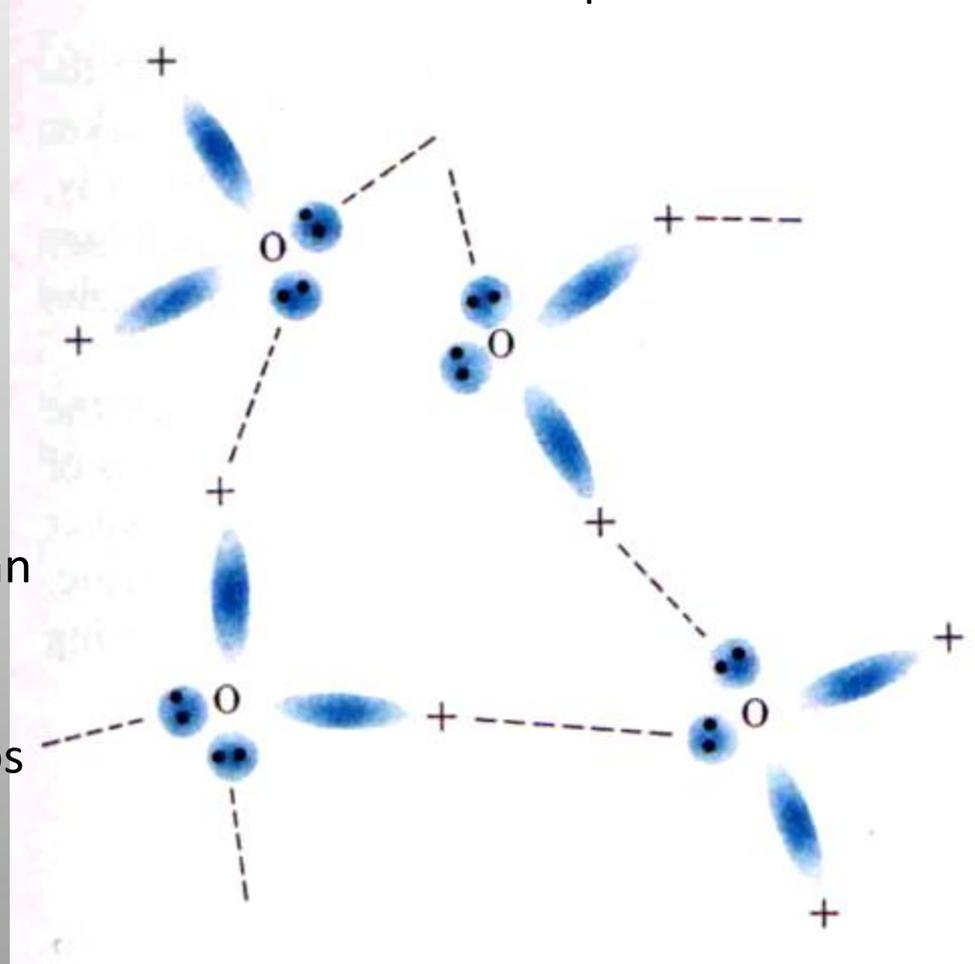
Los Materiales y la Humanidad

ENLACES DEBILES O DE VAN DER WAALS

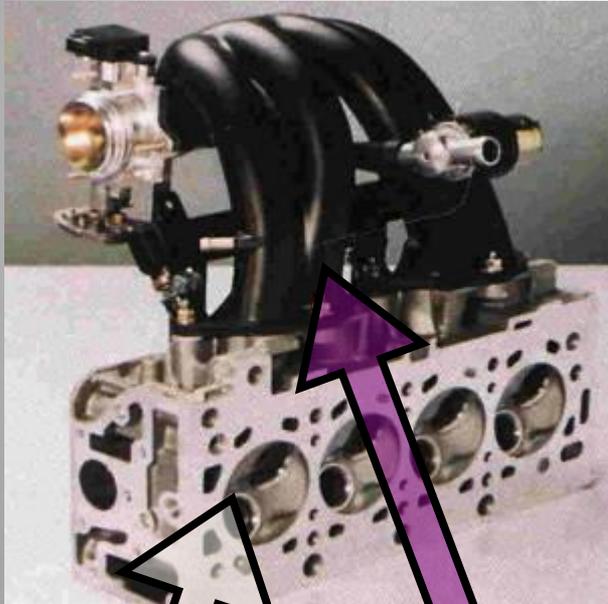
Son enlaces que se establecen entre átomos o moléculas que poseen momento dipolar. El momento dipolar puede ser inducido por la cercanía de otro átomo o molécula o bien puede ser un dipolo permanente como el exhibido por la molécula de agua.

Un ejemplo particularmente importante de este tipo de enlace es el llamado “puente de hidrógeno” que es responsable de la relativamente elevada estabilidad de este líquido y de su alto punto de ebullición.

En muchos casos, los enlaces que vinculan los átomos de un compuesto, no son puramente iónicos o covalentes. Un ejemplo lo constituyen los cerámicos y los vidrios en los que los enlaces pueden ser de naturaleza parcialmente iónica y covalente.



Los Materiales y la Humanidad

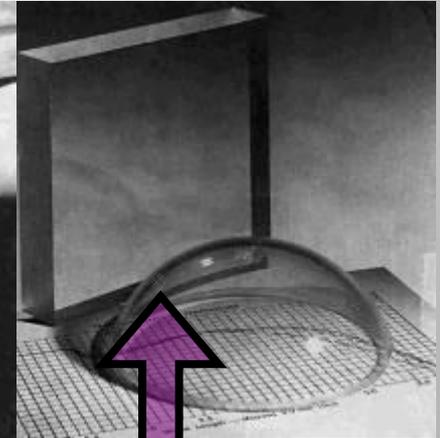


METALES



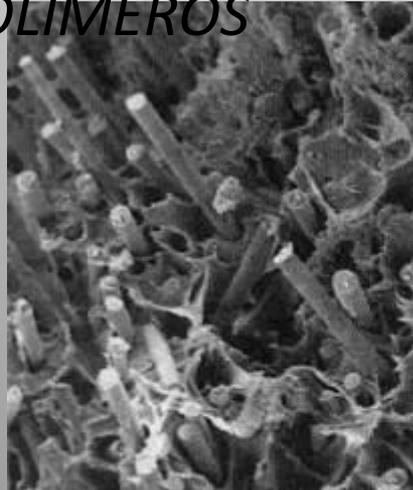
CLASES DE MATERIALES

CERAMICOS

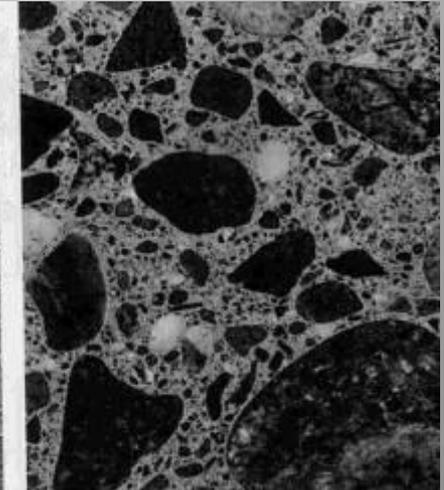
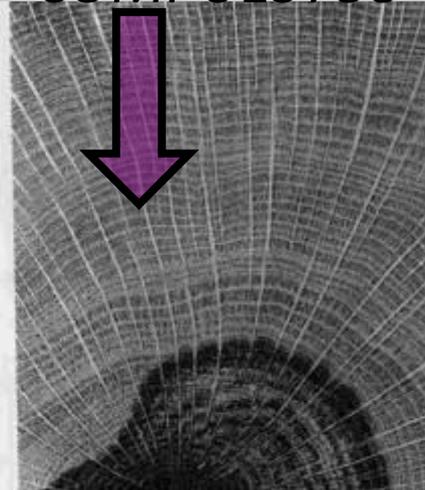


VIDRIOS

POLIMEROS



COMPUESTOS



Los Materiales y la Humanidad

Veamos la contribución de los distintos materiales en algo familiar para todos como lo es una cocina moderna.



¿Que ocurre si eliminamos los objetos metálicos...?

Los Materiales y la Humanidad



Este es el resultado ¿Qué ocurre si ahora eliminamos los cerámicos...?

Los Materiales y la Humanidad



¿Qué nos queda si eliminamos ahora los objetos de plástico más obvios?

Los Materiales y la Humanidad



Eliminemos ahora completamente los polímeros...

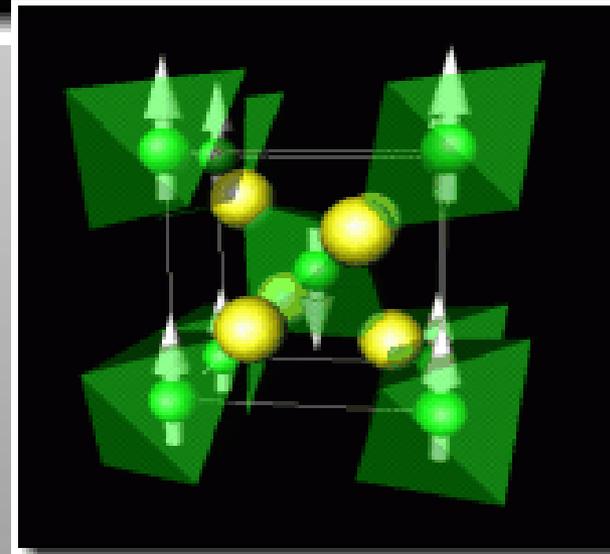
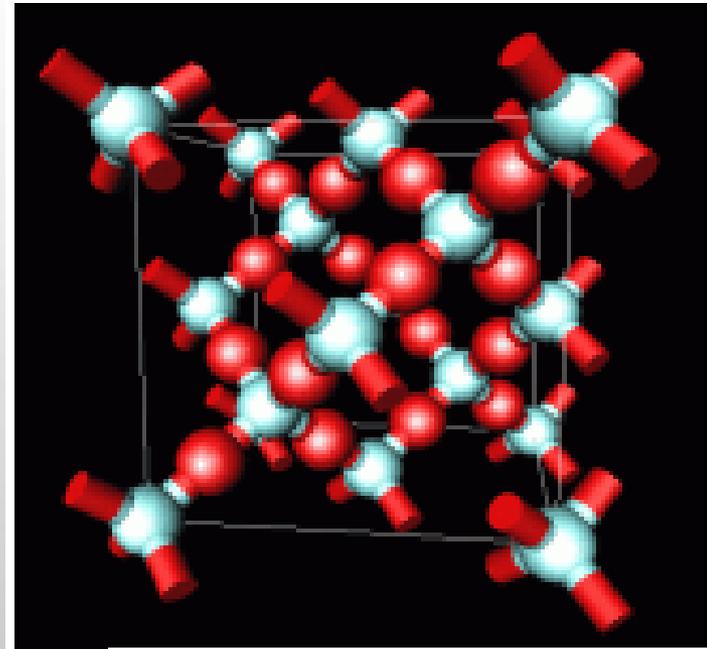
Finalmente hemos eliminado todos los polímeros y nos queda



Los Materiales y la Humanidad

Hasta los años '50, la metalurgia se había desarrollado en forma empírica, esencialmente por prueba y error, con poca o ninguna contribución del conocimiento científico, salvo quizás de la termodinámica y la físico-química a fines del siglo XIX y comienzos del XX, pero básicamente utilizada en el área extractiva y de reducción de minerales.

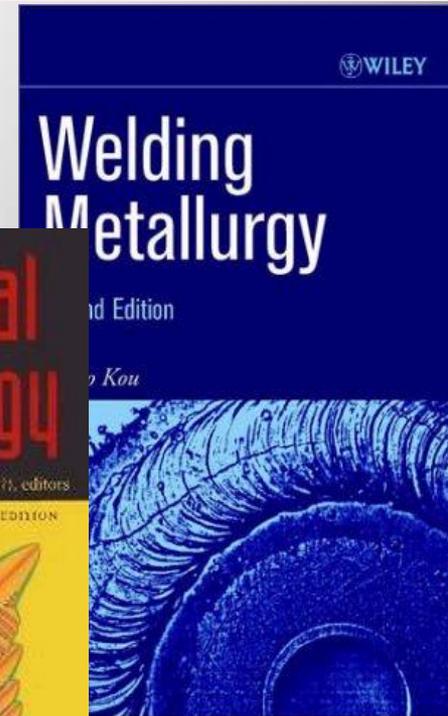
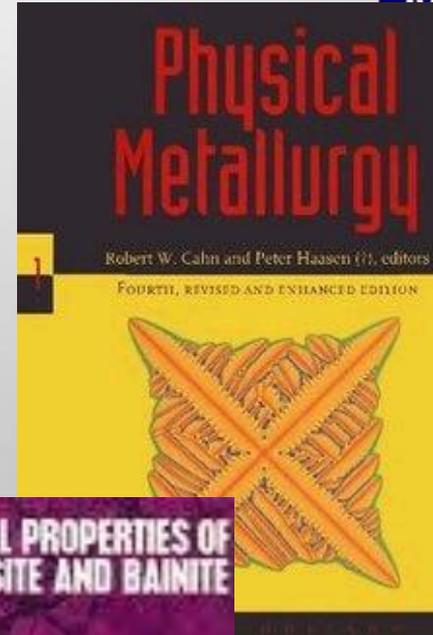
En particular, los conocimientos ya existentes en la época referentes a la estructura atómica, no habían aun hecho impacto en la tecnología de los metales.



Los Materiales y la Humanidad

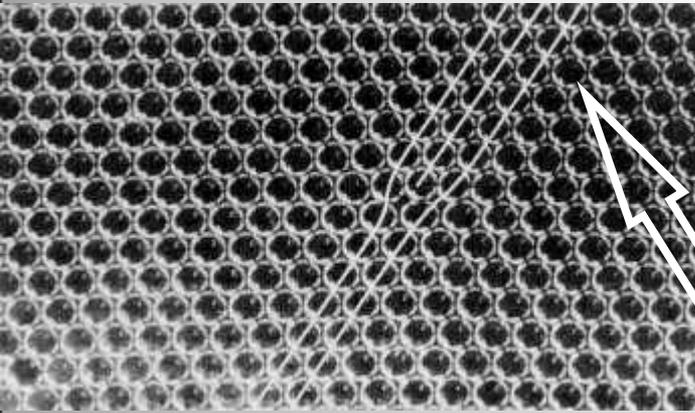
Fue recién a partir de los años '50 que empieza a producirse el matrimonio entre la Física y la metalurgia tradicional dando origen a lo que hoy conocemos como Metalurgia Física, que comenzaba entonces a tomar carta de ciudadanía como una rama legítima de la Física. Esta unión introdujo un nuevo paradigma que tiene vigencia hasta nuestros días.

Este paradigma surge del reconocimiento que las propiedades de los materiales, tanto mecánicas como magnéticas, eléctricas y nucleares, son cualidades emergentes no sólo de la composición química sino en gran medida de la estructura de los mismos

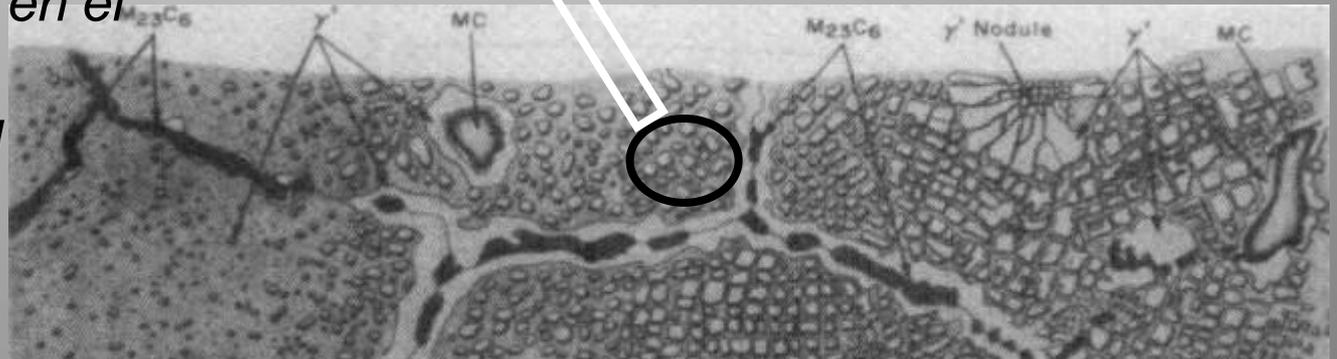
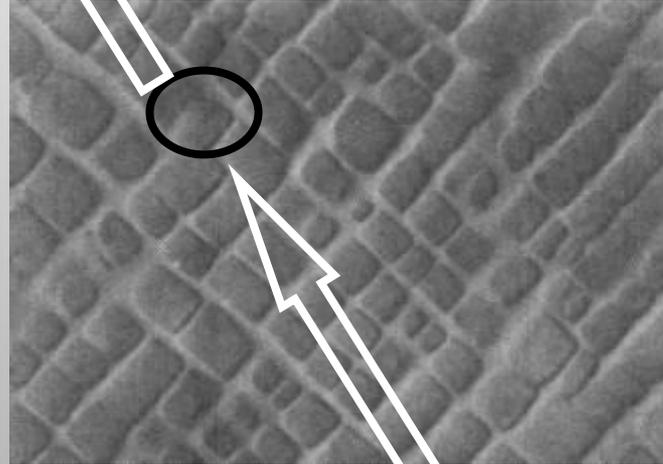


Los Materiales y la Humanidad

El término estructura, aplicado a un material, debe entenderse aquí algo así como la “arquitectura” en distintas escalas de descripción de aquél, es decir a nivel atómico, en el que quedan definidas las estructuras

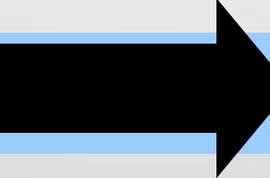


crystalinas y los defectos cristalinos, a nivel mesoscópico en el que se definen e identifican las fases y microfases presentes y su distribución, y a un nivel que podemos llamar macroscópico, en el que se caracteriza el tamaño de grano y su morfología o textura.



Los Materiales y la Humanidad

De modo que podemos afirmar que el paradigma de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales modernos es la relación

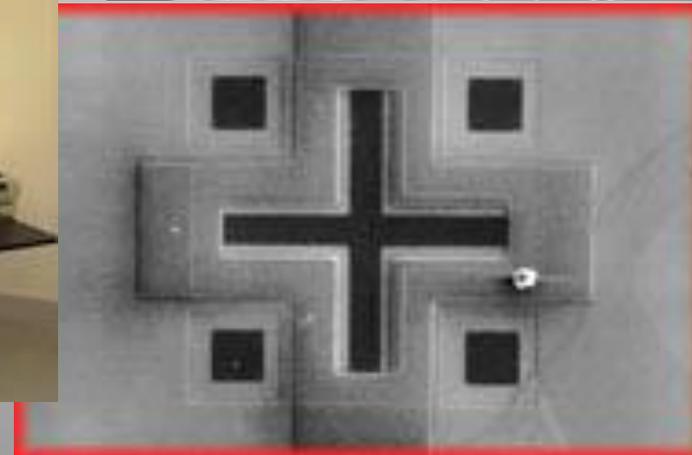
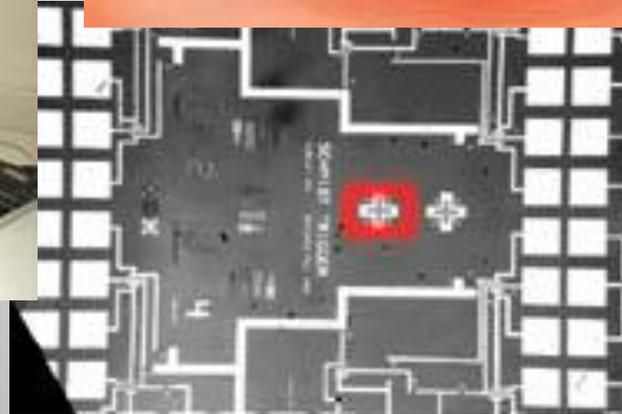
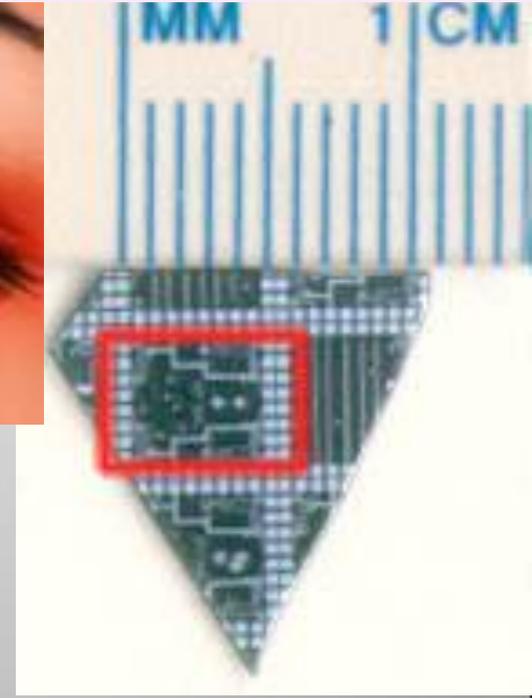
ESTRUCTURA  PROPIEDADES

donde el término *estructura* se refiere a la manera en que los distintos constituyentes de un material se encuentran distribuidos.

Por esto, el significado del término estructura depende del nivel de resolución con que observamos un material...

Los Materiales y la Humanidad

...y el ingeniero en materiales requiere mejorar cada vez más sus medios de observación



...desde el ojo desnudo, pasando por el microcopio óptico, hasta el microscopio electrónico.....

Los Materiales y la Humanidad

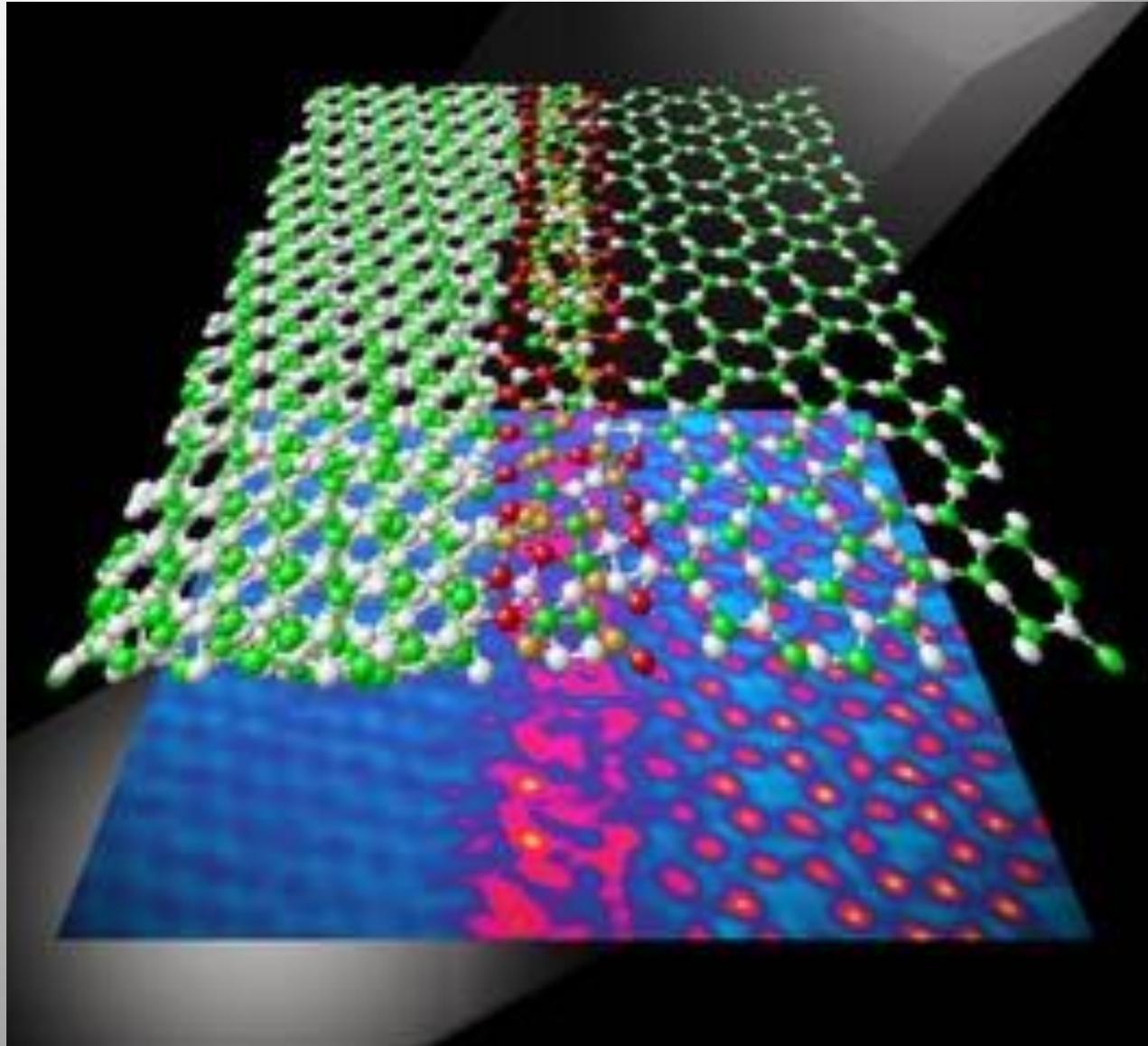
...que utiliza un haz de electrones en lugar de luz visible para investigar la estructura de los materiales a muy pequeña escala.

Abajo vemos algunos microscopios electrónicos convencionales y a la derecha uno que emplea electrones con energías de 1.000.000 de eV!!



Los Materiales y la Humanidad

La imagen muestra un delgado film vítreo (amorfo) entre dos granos de Nitruro de Silicio (SiN). Se revela la presencia de átomos de Lantano unidos a las superficie de los granos. La imagen fue registrada con el microscopio electrónico de barrido que posee el récord de resolución de 0.7 Angstroms en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, USA. Se ha superpuesto a la imagen un modelo atómico de la misma.



Los Materiales y la Humanidad

El microscopio de fuerza atómica (AFM, de sus siglas en inglés *Atomic Force Microscope*) es un instrumento mecánico-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los piconewtons. El microscopio de fuerza atómica ha sido esencial en el desarrollo de la nanotecnología, para la caracterización y visualización de muestras a dimensiones nanométricas.

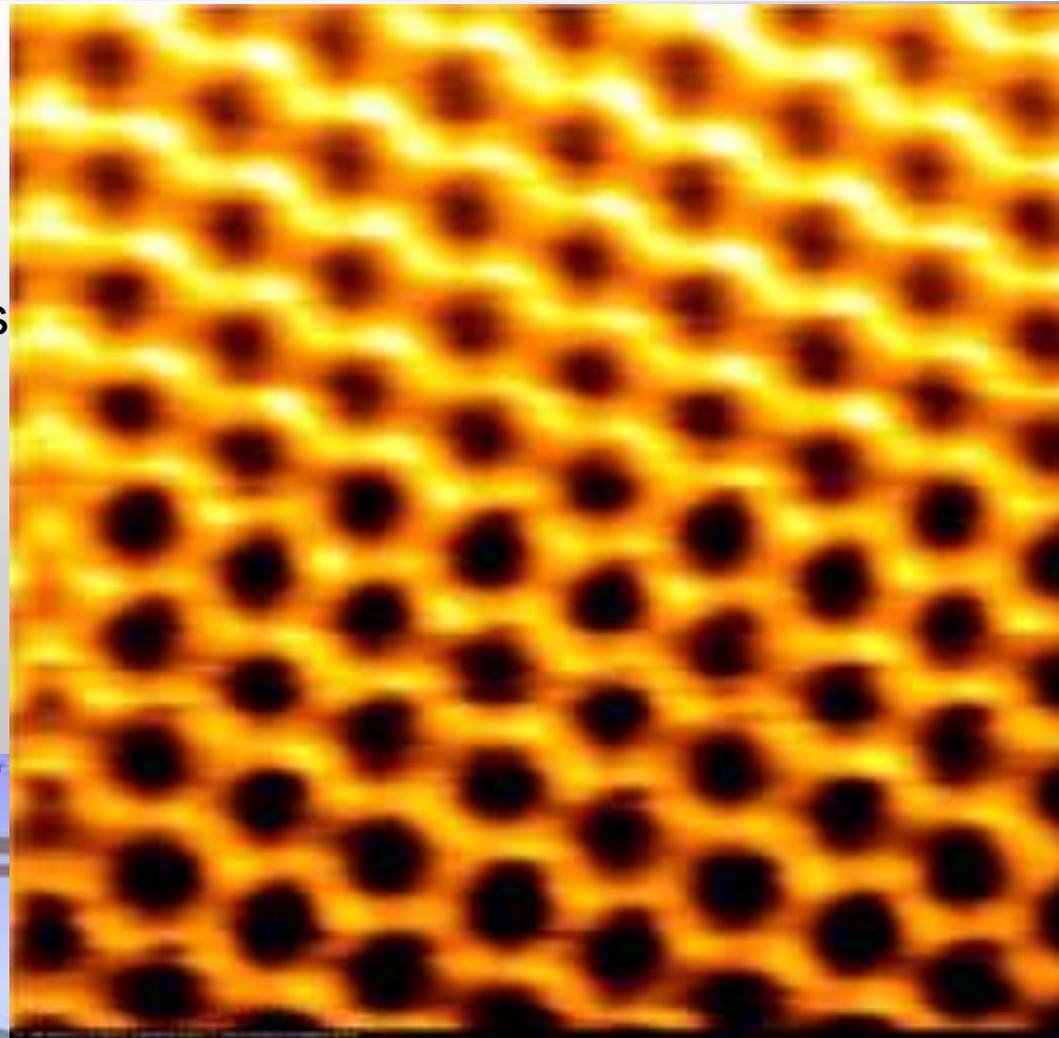
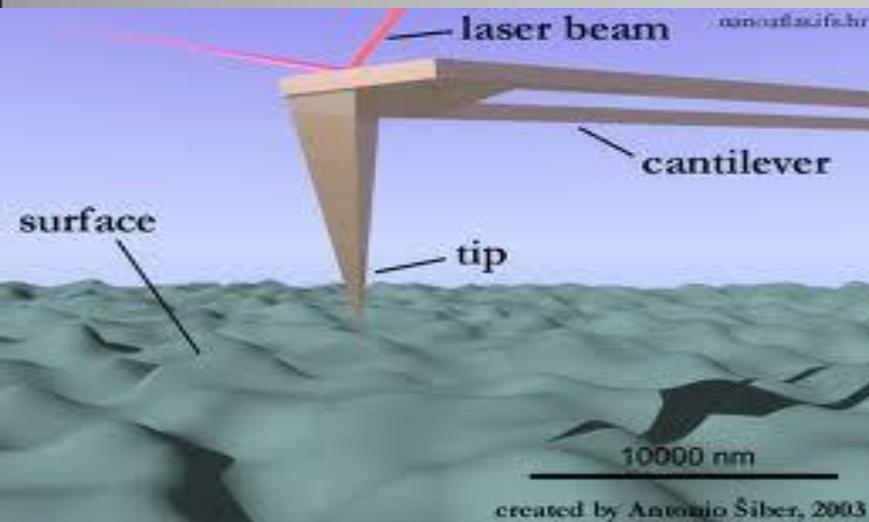
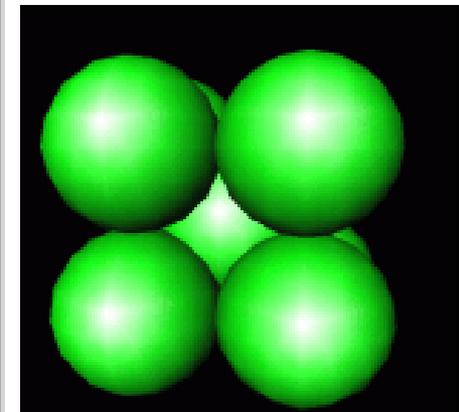
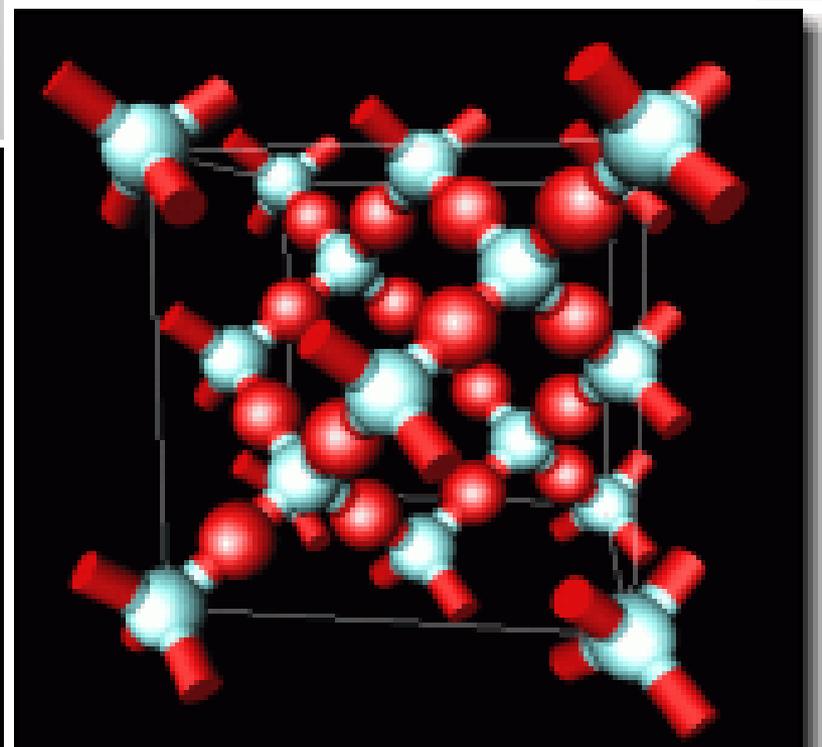
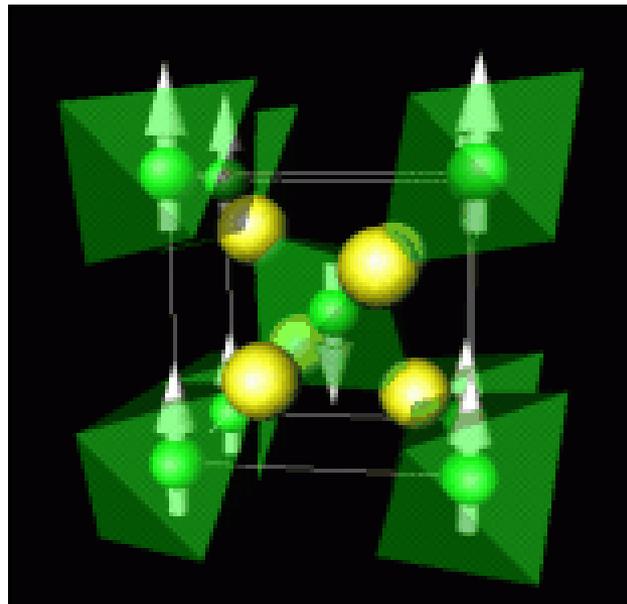
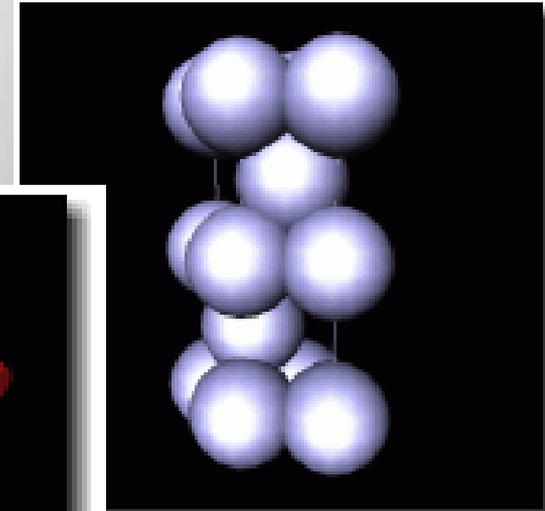
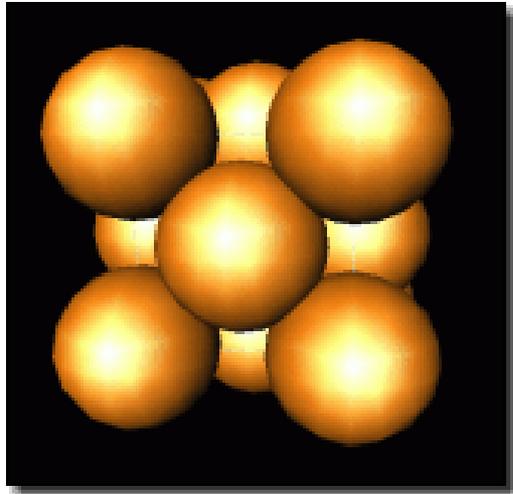


Imagen de átomos de grafito obtenida con el microscopio de fuerza atómica

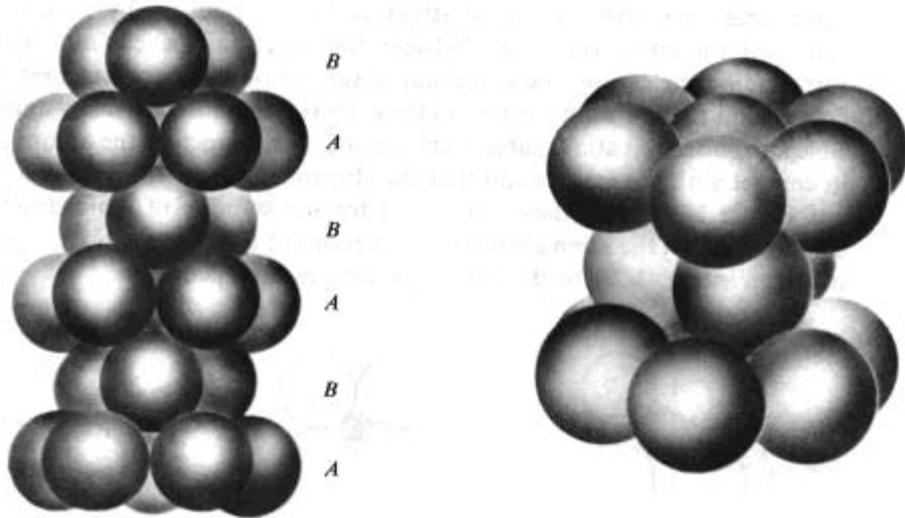
Los Materiales y la Humanidad

Si seguimos avanzando en el nivel de resolución con que podemos observar a los materiales, llegamos finalmente a la estructura atómica.

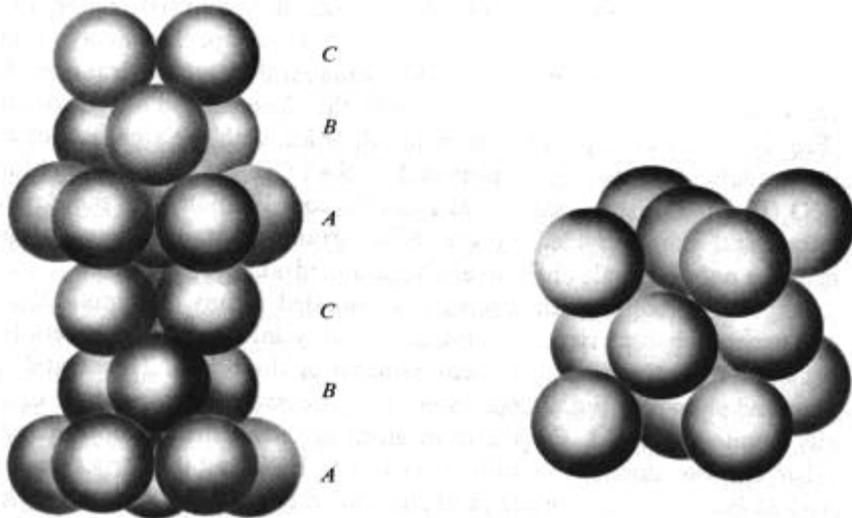
Puede decirse que las propiedades que exhiben los materiales en gran escala, son emergentes de la manera en que se encuentran dispuestos sus átomos.



Los Materiales y la Humanidad

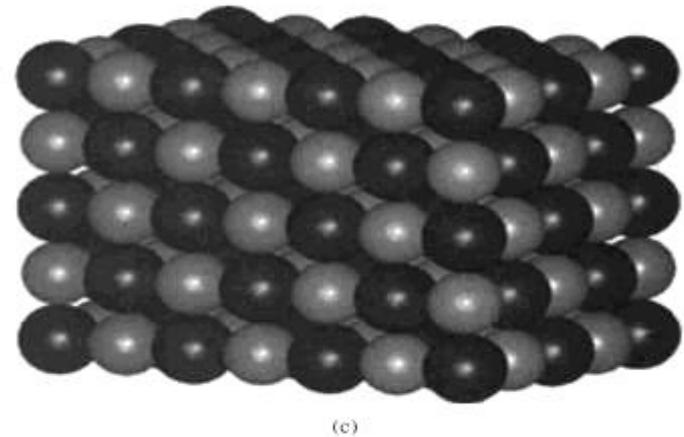
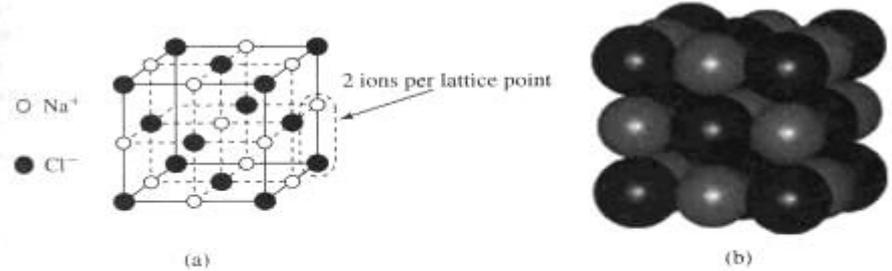


(a) Hexagonal close packing



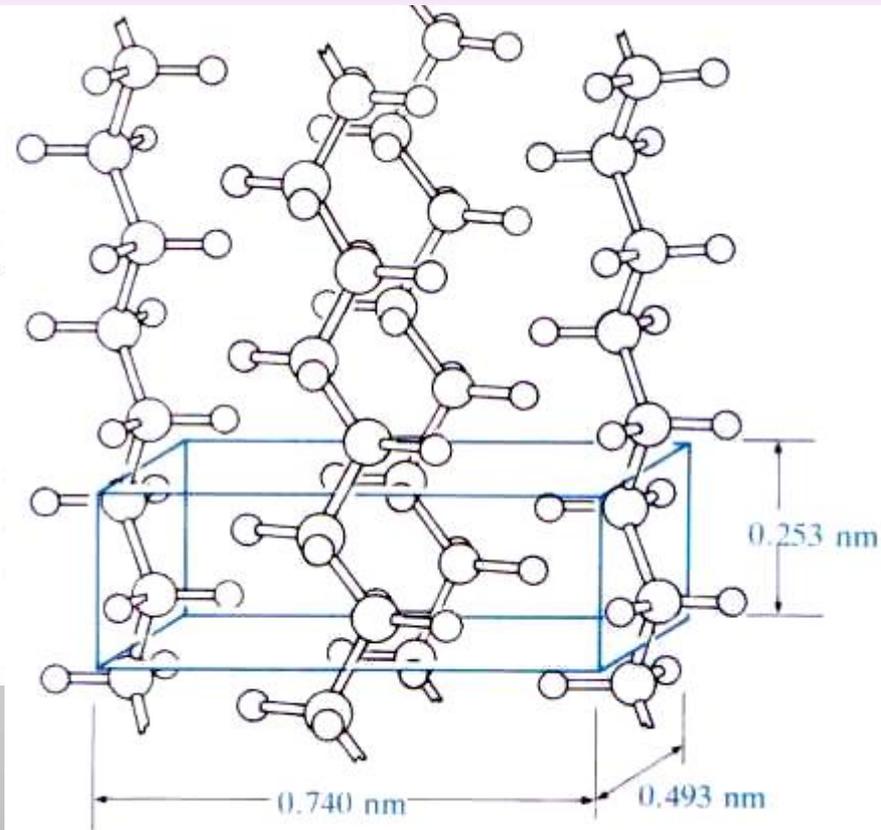
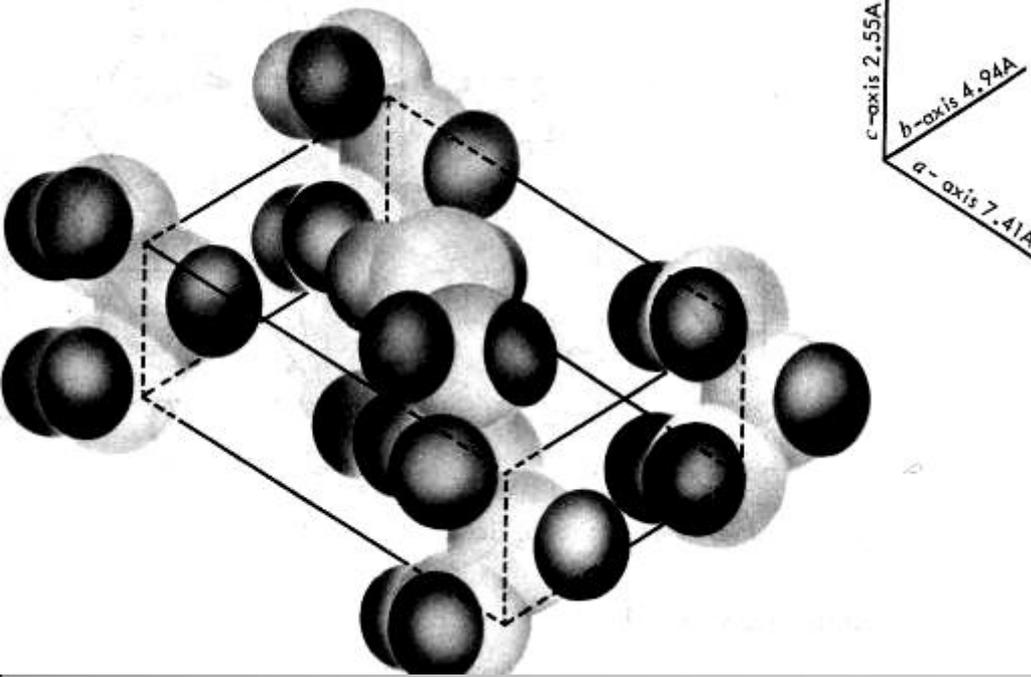
(b) Cubic close packing

La estéreo-especificidad de los enlaces covalentes determina el tipo de estructura. Los enlaces iónicos, por tener su origen en la atracción coulombiana favorecen ordenamientos compactos.



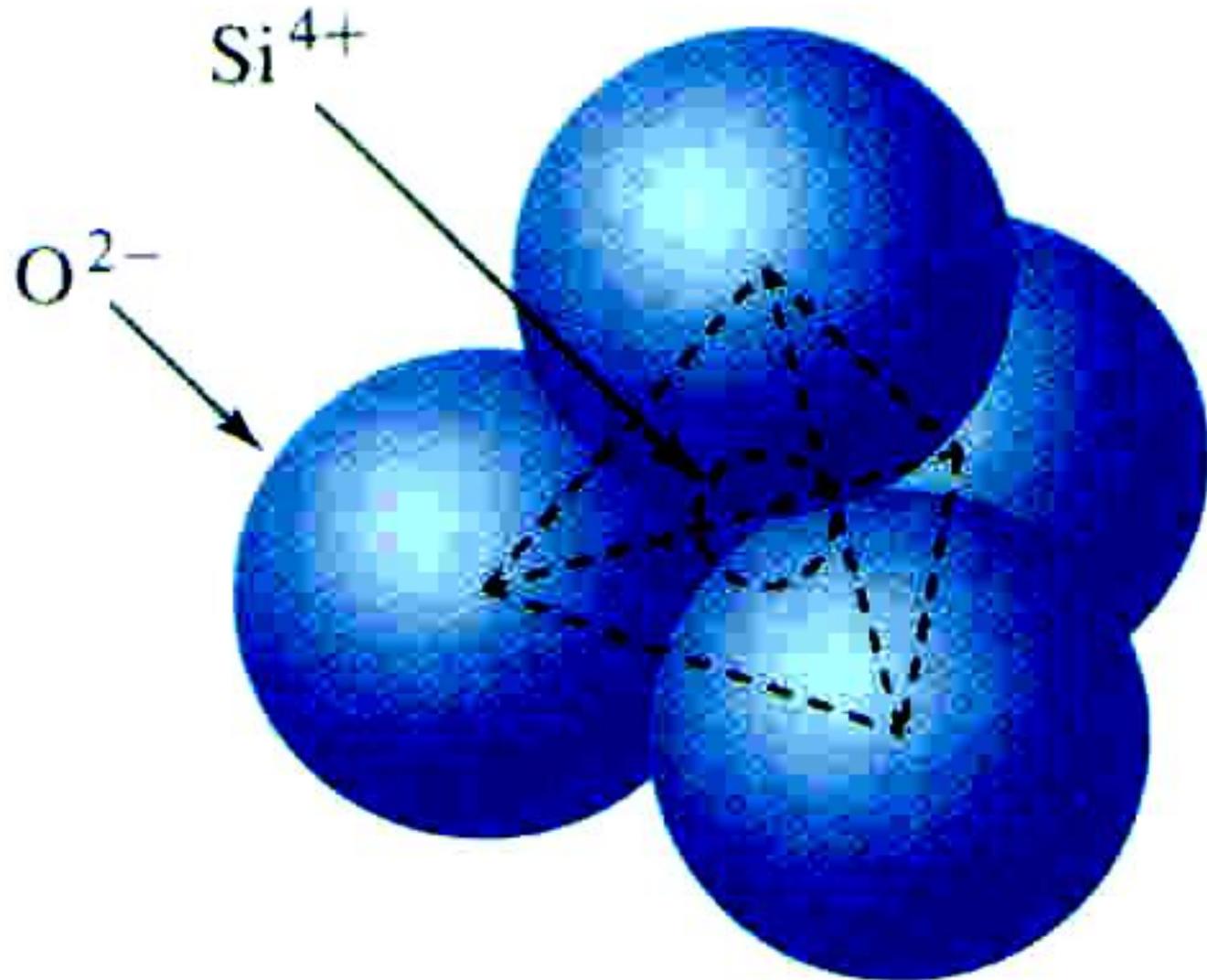
Structure: NaCl-type
Bravais lattice: fcc
Ions/unit cell: 4Na⁺ + 4Cl⁻
Typical ceramics: MgO, CaO, FeO, and NiO

Los Materiales y la Humanidad



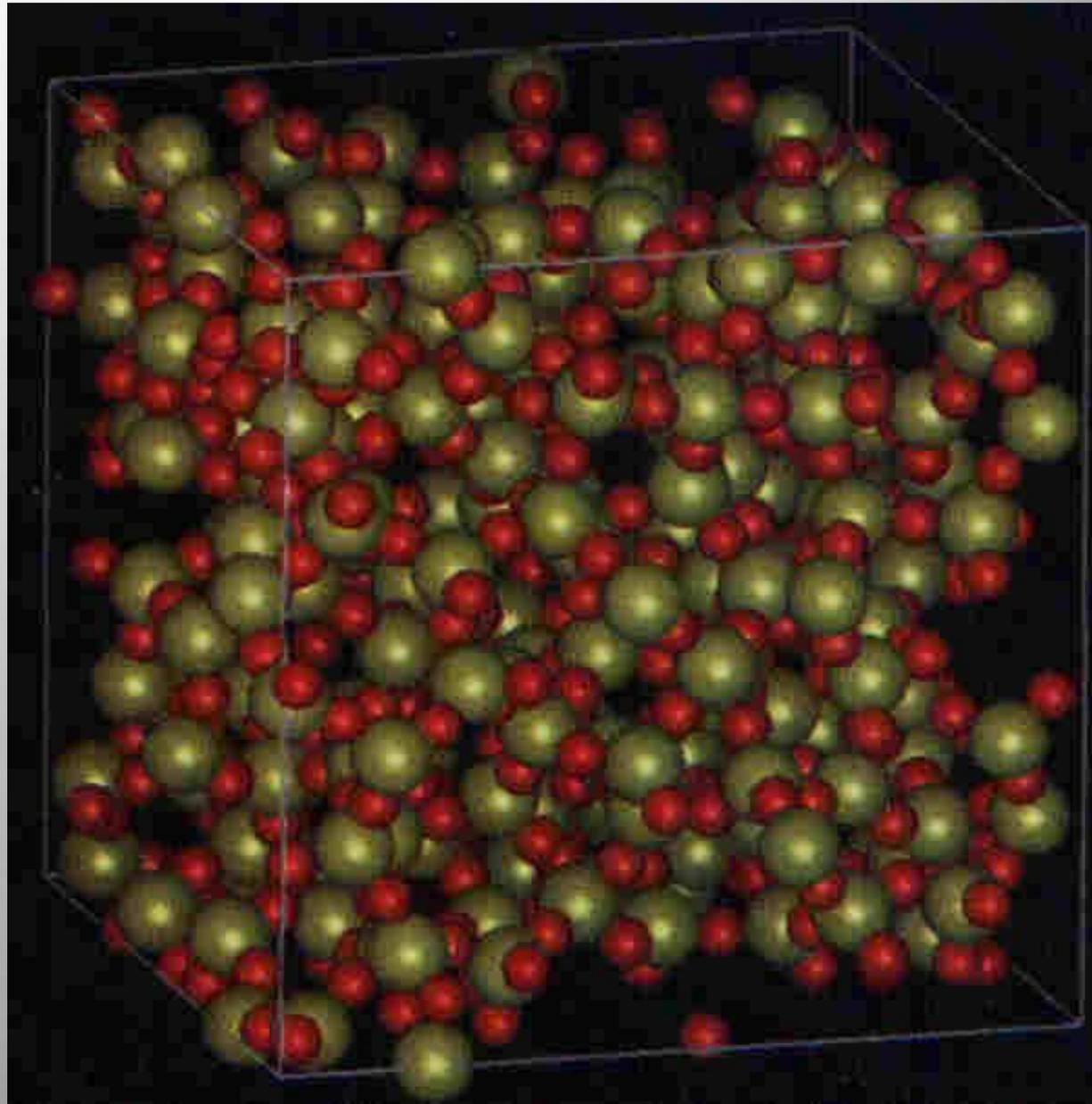
Algunos compuestos, P.Ej. los polímeros, pueden formar cristales “moleculares”. Los polímeros forman un estructura cristalina plegándose sobre sí mismos utilizando enlaces débiles como en el polietileno, que da origen a una celda ortorrómbica.

En los vidrios (amorfos) y en los cerámicos (cristalinos), el tetrahedro de sílice SiO_4^{4-} es una unidad estructural muy importante que se encuentra en muchos compuestos cerámicos y vítreos.



Modelo de
esferas de la
sílice amorfa SiO_2

Las esferas rojas
representan los
átomos de
oxígeno y las
amarillas los de
silicio.

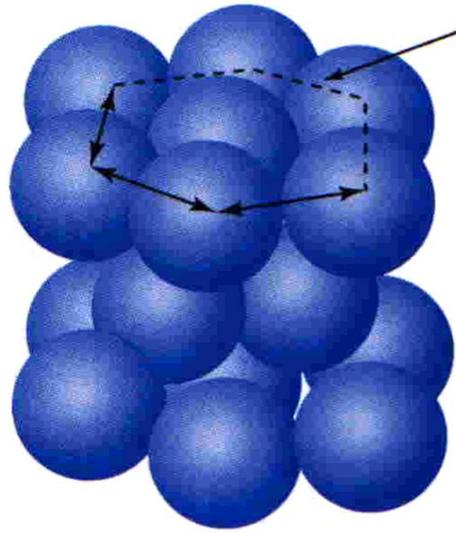


Los Materiales y la Humanidad

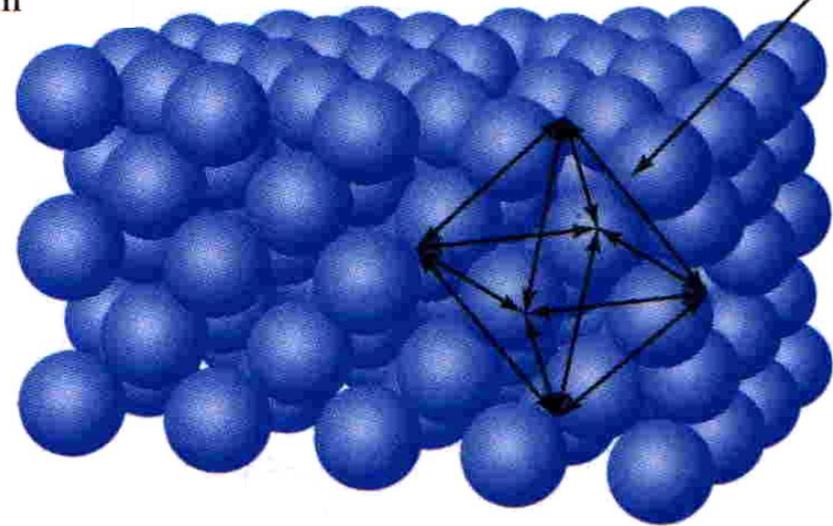
Las propiedades mecánicas, por ejemplo, están directamente relacionadas con la estructura del material a nivel atómico.

Un cristal de aluminio y uno de magnesio exhibirán comportamientos diferentes bajo carga debido a que sus átomos se encuentran ordenados de distinta forma.

Las flechas indican las direcciones en que se pueden deformar ambos cristales. Vemos que el Al puede hacerlo en más direcciones que el Mg.



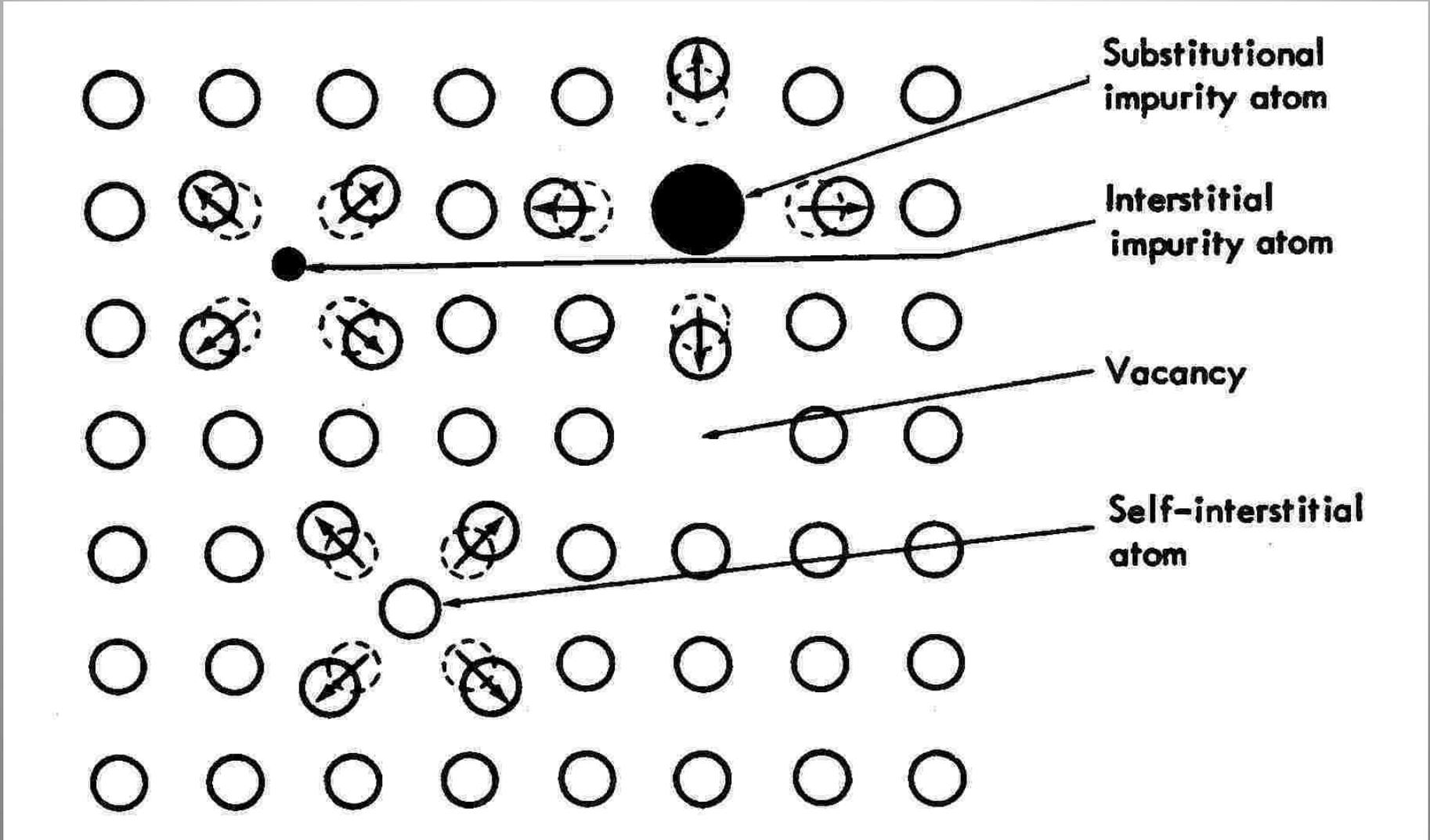
(b) Magnesium



(a) Aluminum

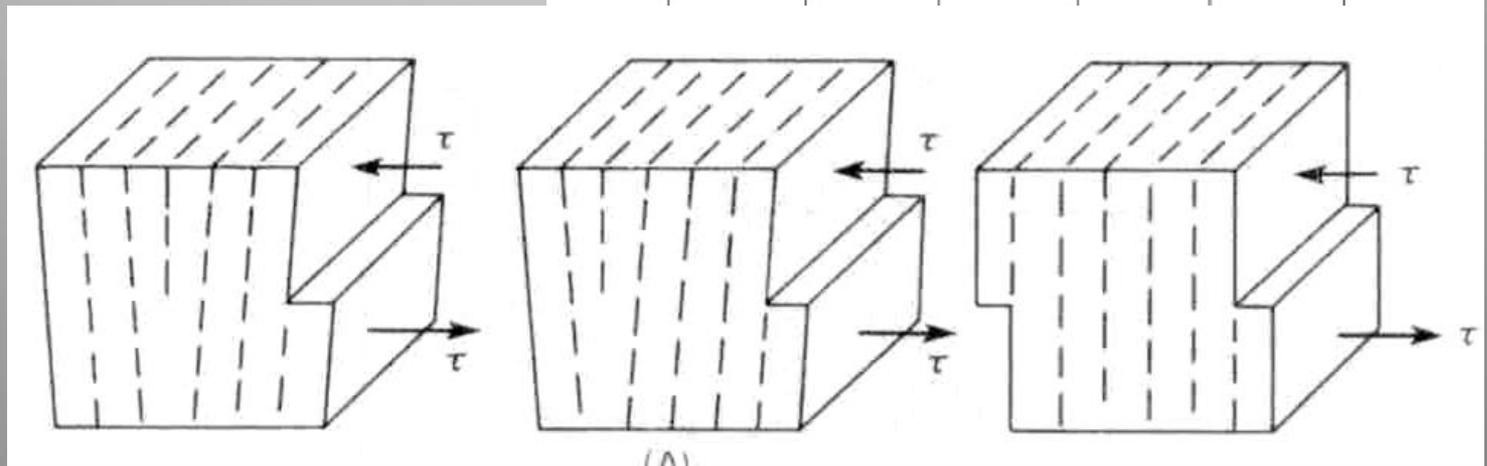
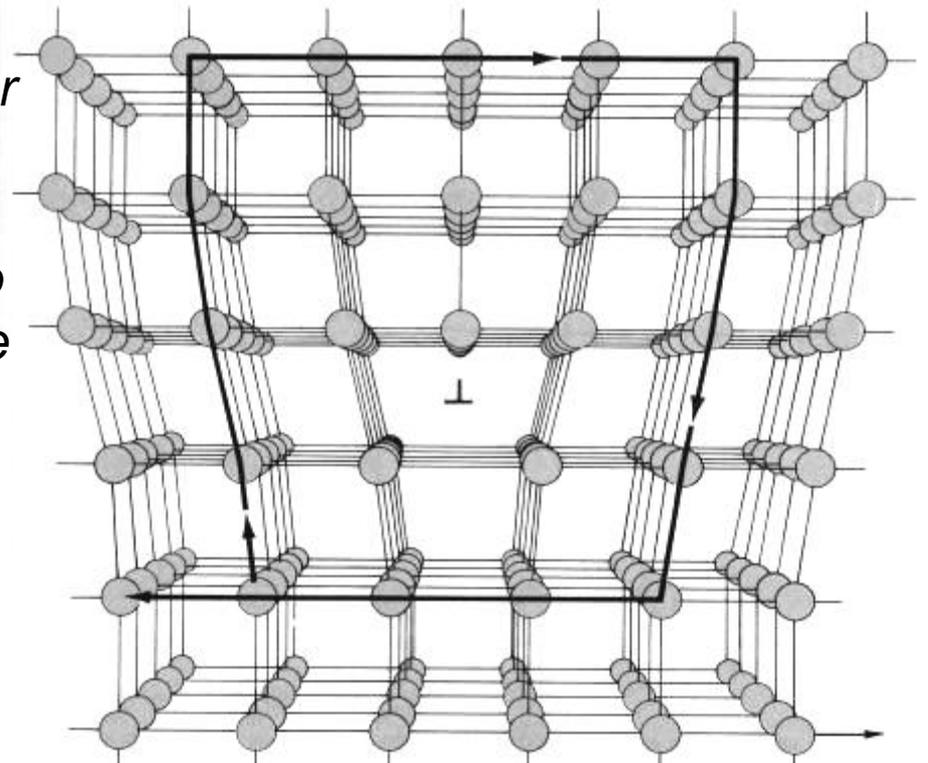
Los Materiales y la Humanidad

Diversos tipos de imperfecciones puntuales que pueden contener los cristales



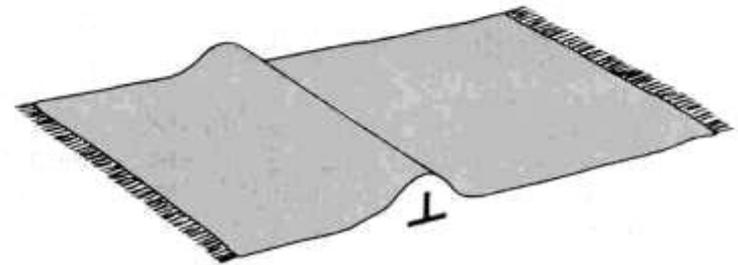
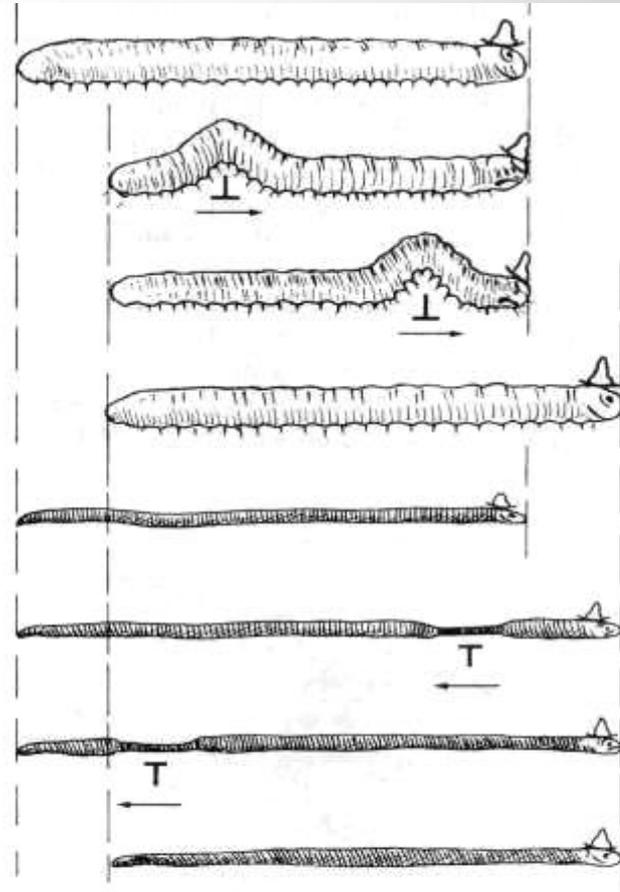
Los Materiales y la Humanidad

Modelo atómico de una dislocación de borde (derecha). La figura inferior muestra esquemáticamente el movimiento de una dislocación de borde en su plano de deslizamiento bajo la acción de esfuerzos de corte y el efecto que produce de desplazamiento de la porción superior del cristal respecto de la porción inferior.



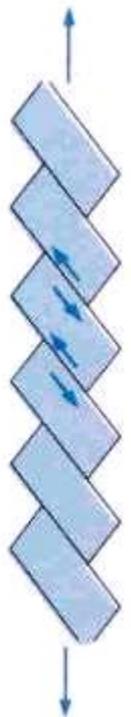
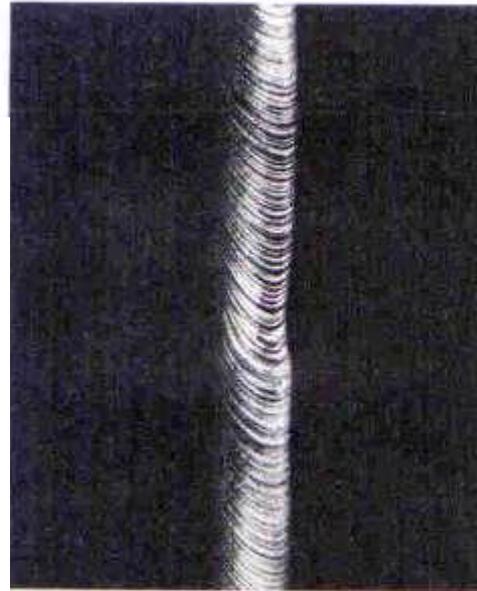
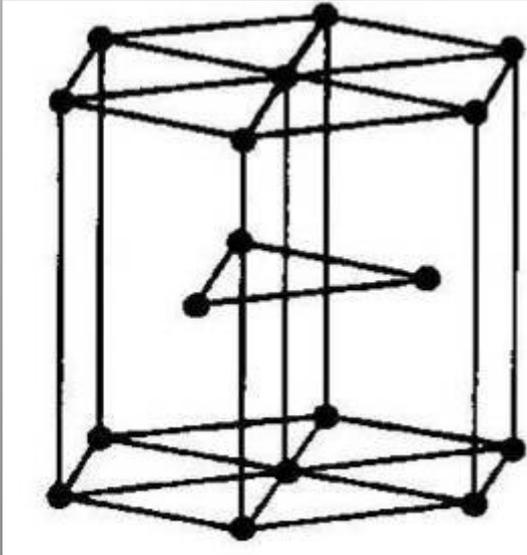
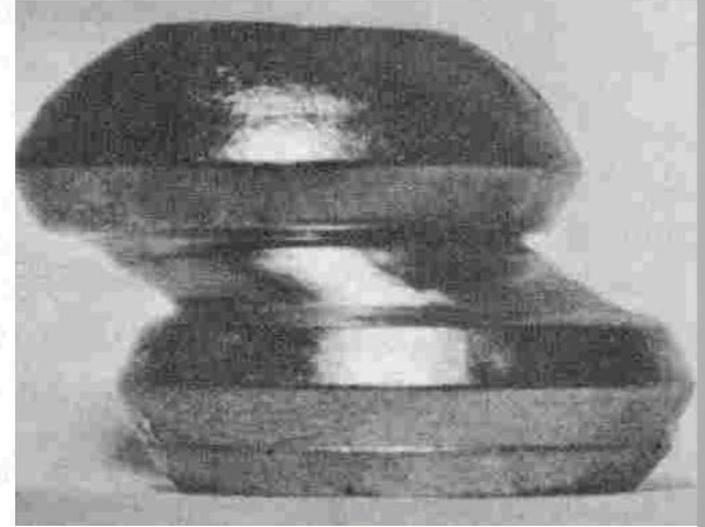
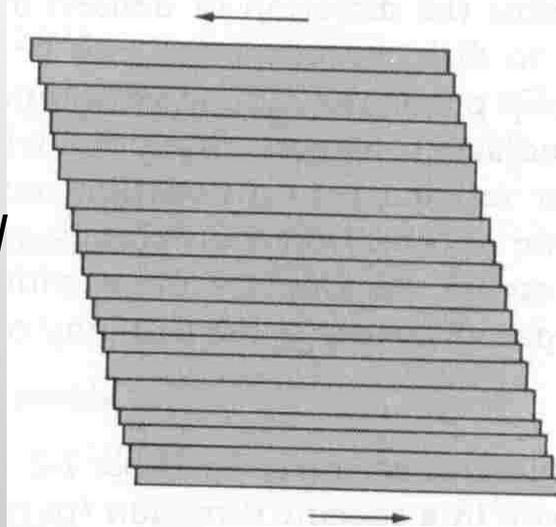
Los Materiales y la Humanidad

Analogía frecuentemente utilizada entre el movimiento de dislocaciones de borde positivas y negativas con los mecanismos empleados por orugas y gusanos para desplazarse, y con un posible método para lograr el desplazamiento de una alfombra pesada.



Los Materiales y la Humanidad

Deformación de monocristales de Zn (derecha) y de otro monocristal hexagonal compacto (abajo) por acción de un esfuerzo de corte actuando sobre los planos basales



Los Materiales y la Humanidad

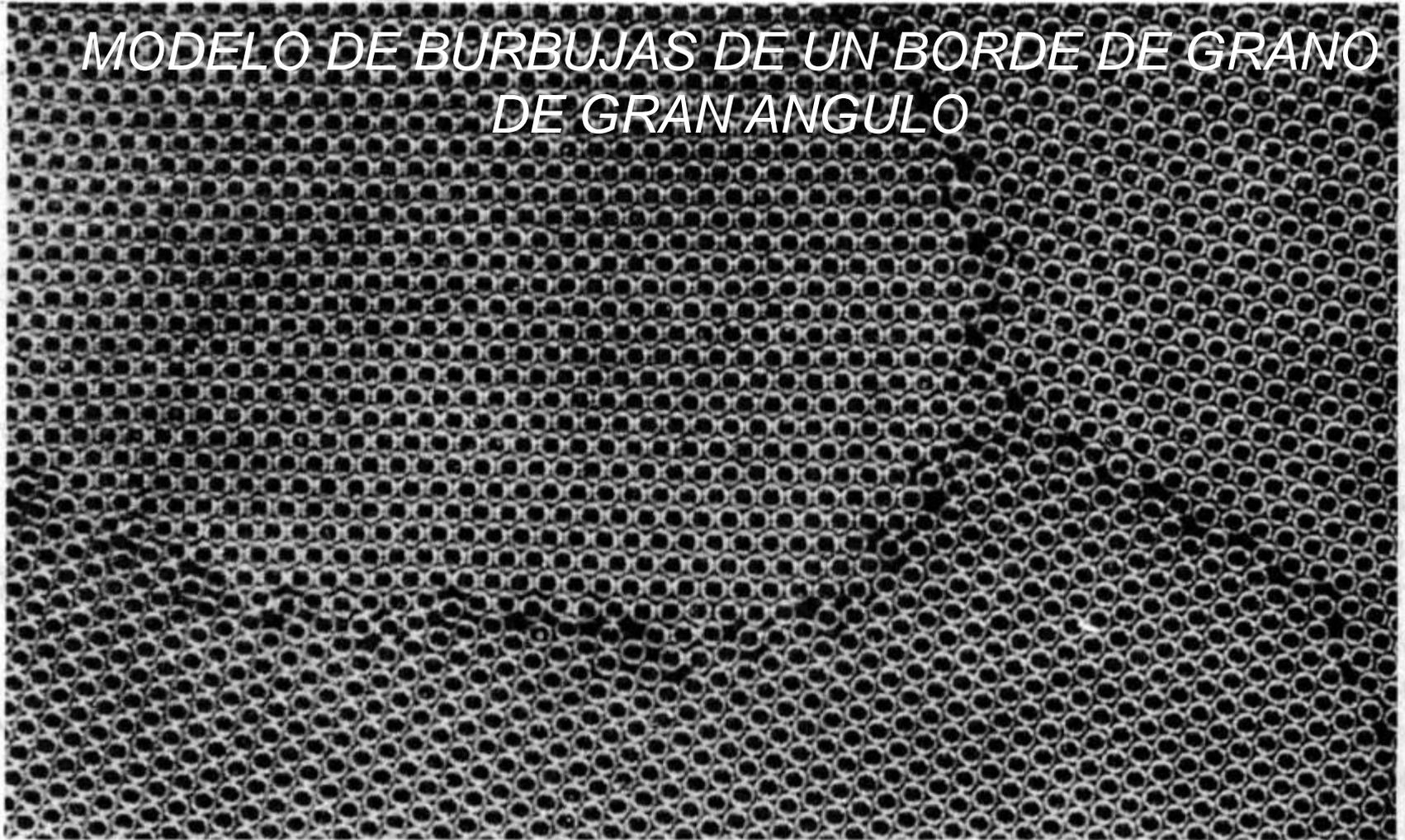


Egon Orowan

Bosque de dislocaciones observado mediante microscopía electrónica de transmisión. Arriba E. Orowan, que introdujo con otros el concepto de dislocación teóricamente. A la derecha, Sir A. Cottrell, que contribuyó a la comprensión de la interacción entre dislocaciones y átomos (Atmósferas de Cottrell).



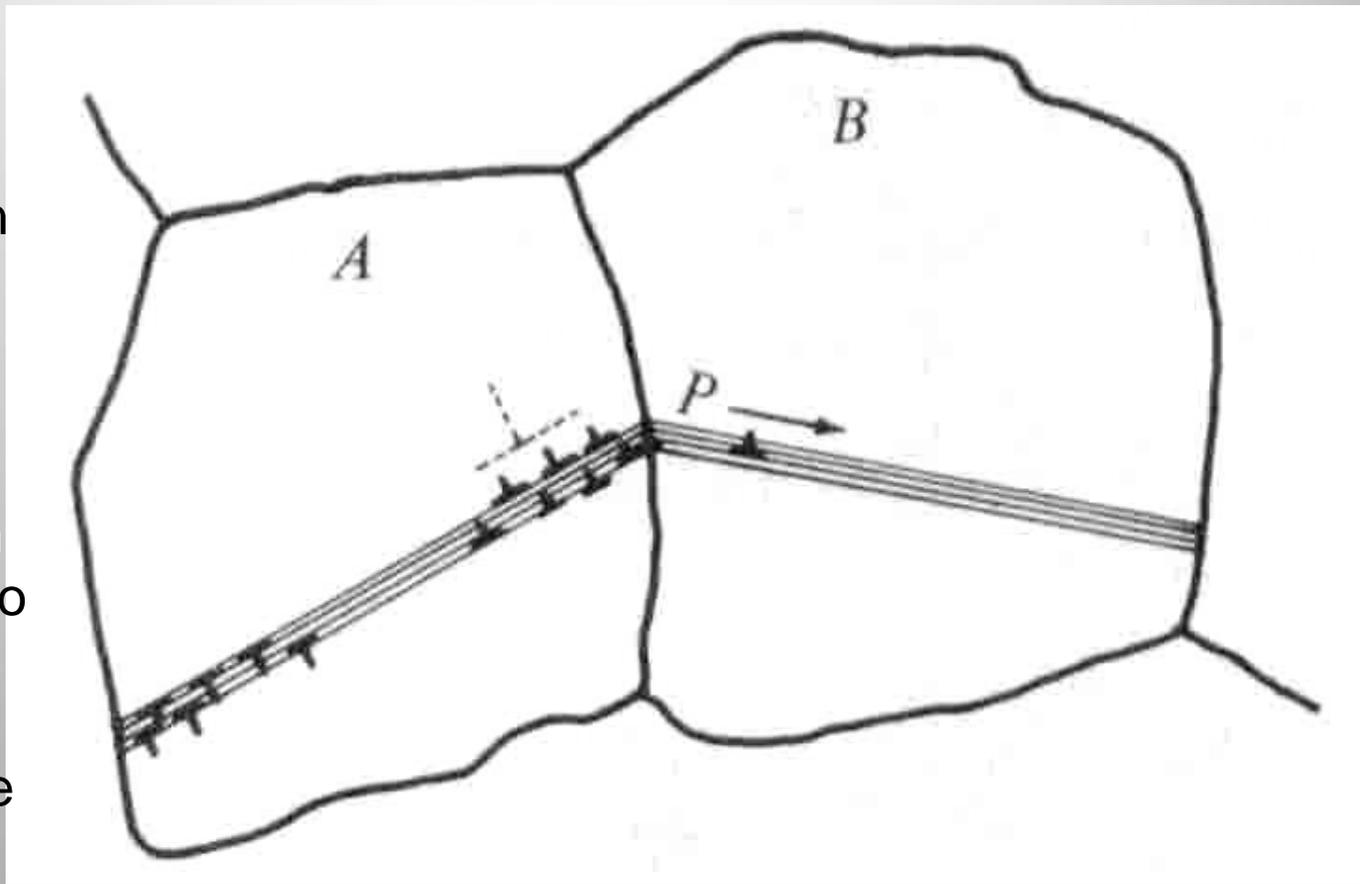
MODELO DE BURBUJAS DE UN BORDE DE GRANO DE GRAN ANGULO



Bubble raft model of a high-angle grain boundary. Photo courtesy J. F. Nye from L. Bragg and J. F. Nye, *Proceedings of the Royal Society, London*, **190**, 474 (1947). Used with permission.

Los Materiales y la Humanidad

La propagación de bandas de deslizamiento en un material policristalino requiere que el apilamiento de dislocaciones en el borde de grano deba producir una concentración de tensiones

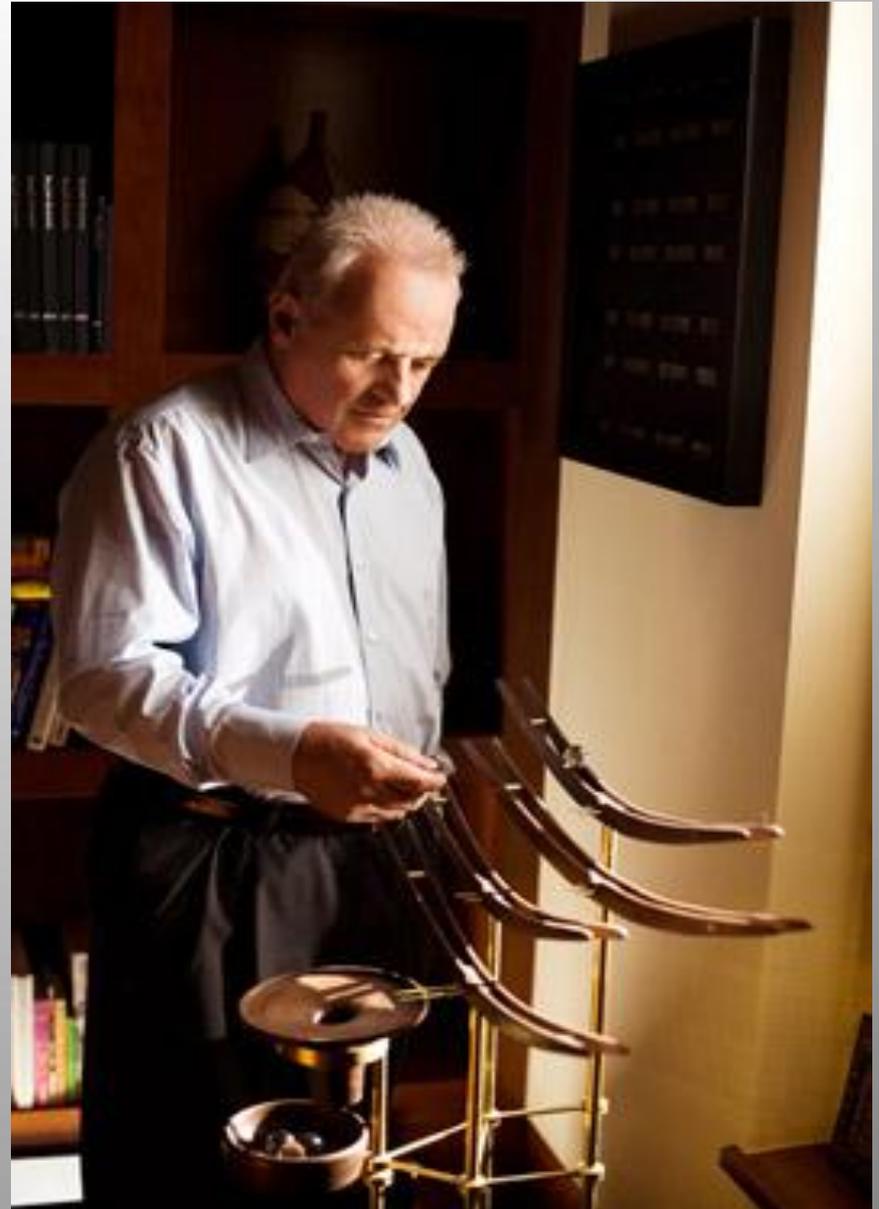


suficiente para iniciar el deslizamiento en un sistema del grano adyacente. Una estructura de grano más fina obliga a que haya más sitios de reiniciación lo que aumenta la resistencia a la deformación del policristal.

“Si se observa con suficiente cuidado, todo posee una pequeña fisura.....”

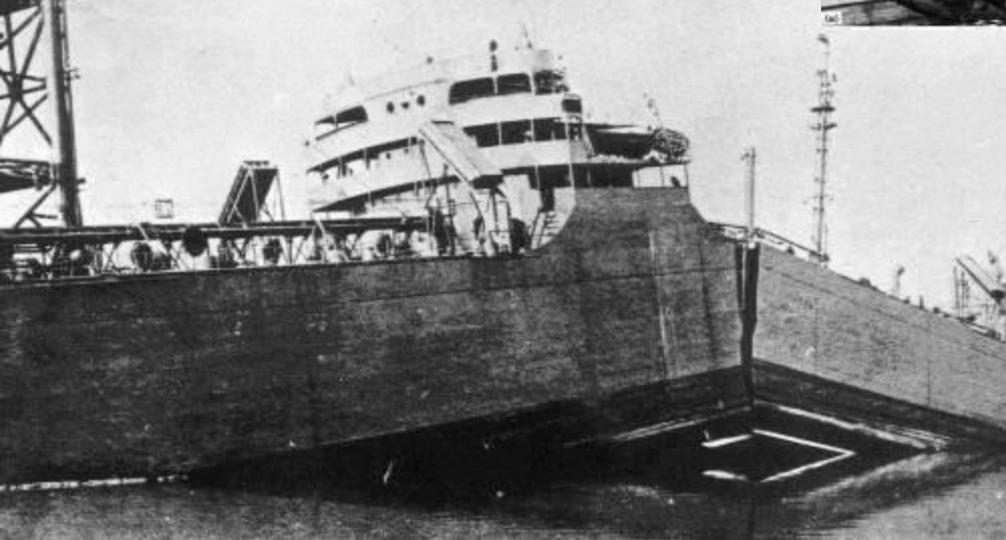
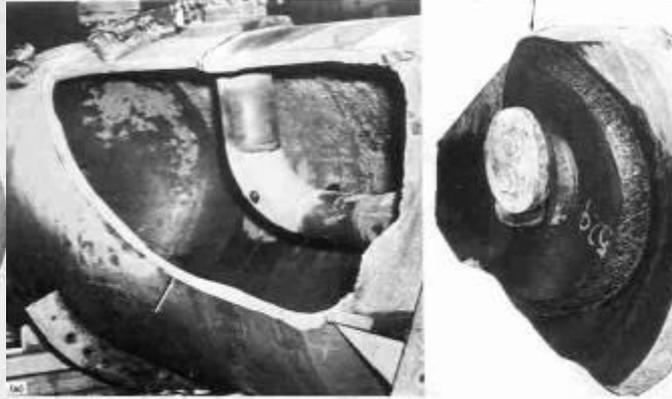
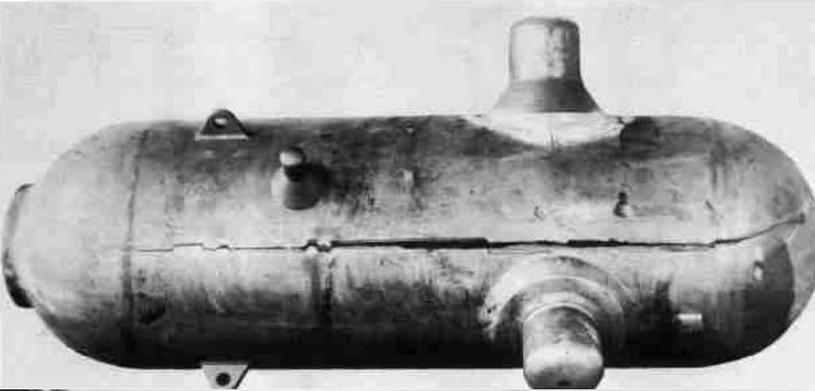
Ted Crawford

(personaje de ficción interpretado por Anthony Hopkins en el film policial “Fracture”)



Los Materiales y la Humanidad

La frase anterior expresa de manera clara y simple una de las premisas básicas de toda estrategia moderna de prevención de fallas por fractura rápida, que constituye una de las formas más letales y catastróficas de rotura que puede producirse en una estructura.



Los Materiales y la Humanidad

La experiencia diaria nos sugiere que los materiales presentan dos comportamientos bien diferenciados de rotura: la fractura frágil, como ocurre en un vidrio o en un cerámico y la de los metales en general, en los que la rotura es la culminación de un proceso de deformación plástica (fractura dúctil)



Los Materiales y la Humanidad

De Havilland Comet, primer jet comercial, en vuelo. Este avión, de origen británico fue presentado en los primeros años de la década del '50. Lamentablemente, una serie de catástrofes interrumpió la producción y el servicio de la aeronave. Cuando los problemas fueron resueltos luego de, 5 años de estudios, los EE.UU. ya habían tomado la vanguardia en la aviación comercial de reacción (Boeing)



Los Materiales y la Humanidad

Interior del fuselaje de un De Havilland Comet fallado



Los Materiales y la Humanidad

Detalle de la fisura por fatiga iniciada en la esquina de la ventanilla



Los Materiales y la Humanidad

Un final menos penoso correspondió al vuelo 243 de Aloha Airlines, que luego de sufrir una descompresión explosiva de la cabina, pudo aterrizar en el aeropuerto de Kahului (Maui) el 28 de Abril de 1988, con sólo un miembro de la tripulación fallecido al ser despedido al vacío. La falla se atribuye a una fractura detonada por una fisura originada por fatiga.



Los Materiales y la Humanidad

SPACE SHUTTLE
DISASTER



O ring similar al que produjo la falla en el Challenger (Izquierda)



La Tripulación del Challenger

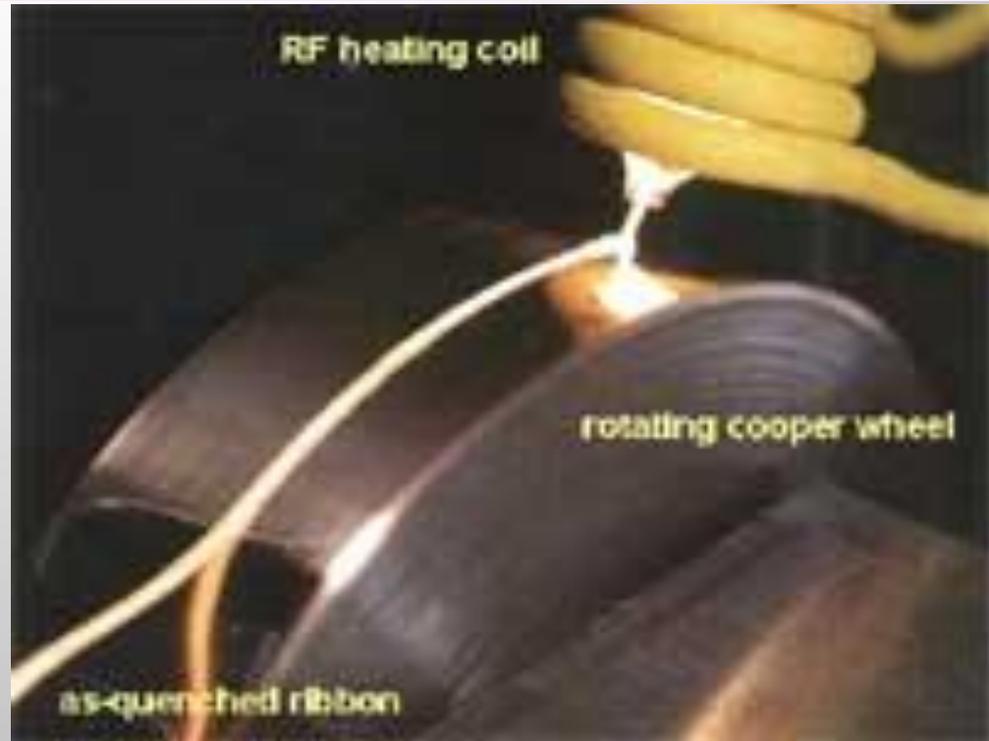


Daño en las tejas del escudo térmico registrada por los propios tripulantes durante la misión (Derecha)



Los Materiales y la Humanidad

Un método utilizado para producir aleaciones de aluminio nano-estructuradas es mediante la técnica conocida como “melt-spinning” que consiste en una rueda de Cu que gira a alta velocidad logrando así el brusco enfriamiento del aluminio fundido que se va depositando sobre la misma.



Este intenso sobreenfriamiento permite la formación de núcleos estables que al crecer conforman una estructura de grano ultrafina en forma de cinta. El material así logrado se consolida posteriormente por compresión.



Los Materiales y la Humanidad

Aleación superplástica nanoestructurada Pb-Sn

Pb-62% Sn

T=413 K

d=11.6 μm

Untested

$2.12 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$

$5.29 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$1.06 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

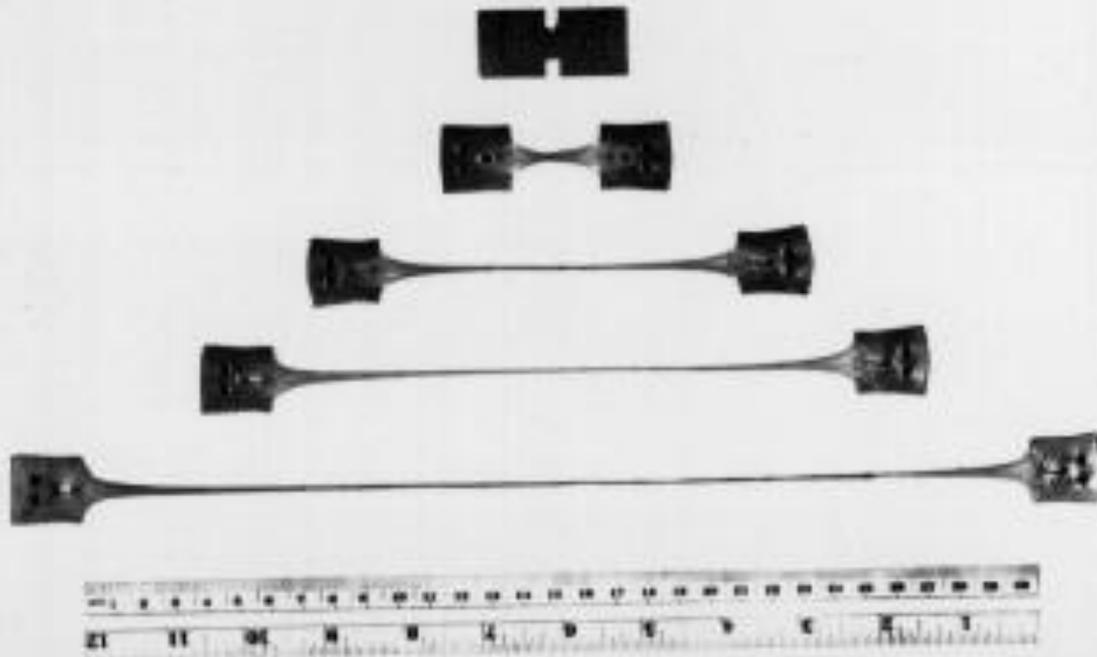
$2.12 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

630%

2800%

4600%

7550%



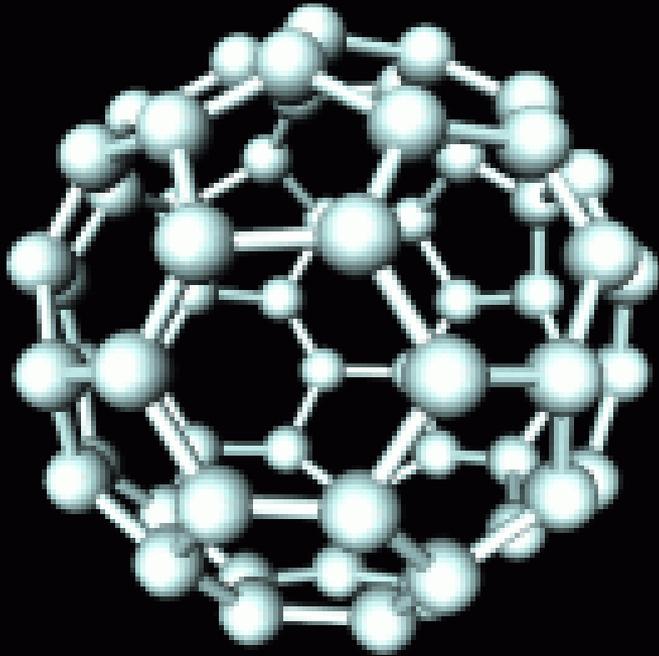
Los Materiales y la Humanidad

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



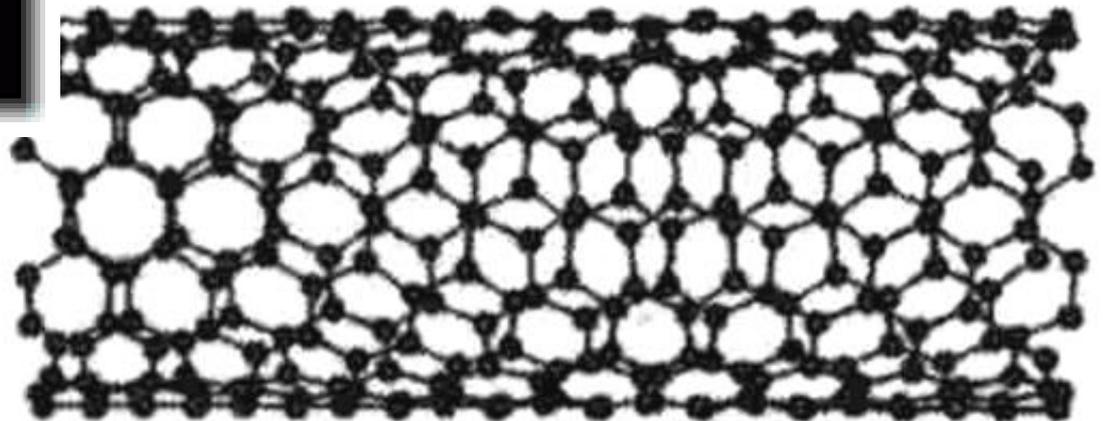
Los Materiales y la Humanidad

Hoy, los científicos e ingenieros en materiales han sido capaces de producir estructuras que no se encuentran en la naturaleza.



Un ejemplo reciente es el C_{60} , llamado buckminsterfullerene!!, ó mas simplemente “*buckyball*”, que tiene una gran cantidad de aplicaciones tecnológicas aún no totalmente explotadas.

Otro ejemplo es el “*buckytube*” que vemos abajo



Los Materiales y la Humanidad

El progreso de la industria aeroespacial depende críticamente de la ingeniería en materiales



Los Materiales y la Humanidad

La estructura de los aviones modernos contiene, a diferencia de las aeronaves del pasado construidas casi enteramente en aluminio y acero, una diversidad de materiales.

Entre estos se destacan los compuestos avanzados consistentes en filamentos de grafito y boro en una matriz epoxy.

En el esquema vemos un jet Air Force 17 mostrando las partes hechas con compuestos de matriz polimérica.



Carbon/epoxy

Aramid/DuPont Nomex

Carbon/aramid/epoxy

Aramid/foam core

Glass-fiber reinforced plastic

Carbon/DuPont Nomex

Los Materiales y la Humanidad

Por ejemplo, una aleación de base níquel llamada Alloy 718 es empleada para compresores y turbinas en la industria aeronáutica. Esta aleación se ha venido mejorando progresivamente durante 30 años a través del agregado de Mg, técnicas de fusión al vacío, y contrariamente a lo que se creía hasta no hace mucho, mediante adiciones controladas de P, C y B para mejorar su resistencia a altas temperaturas

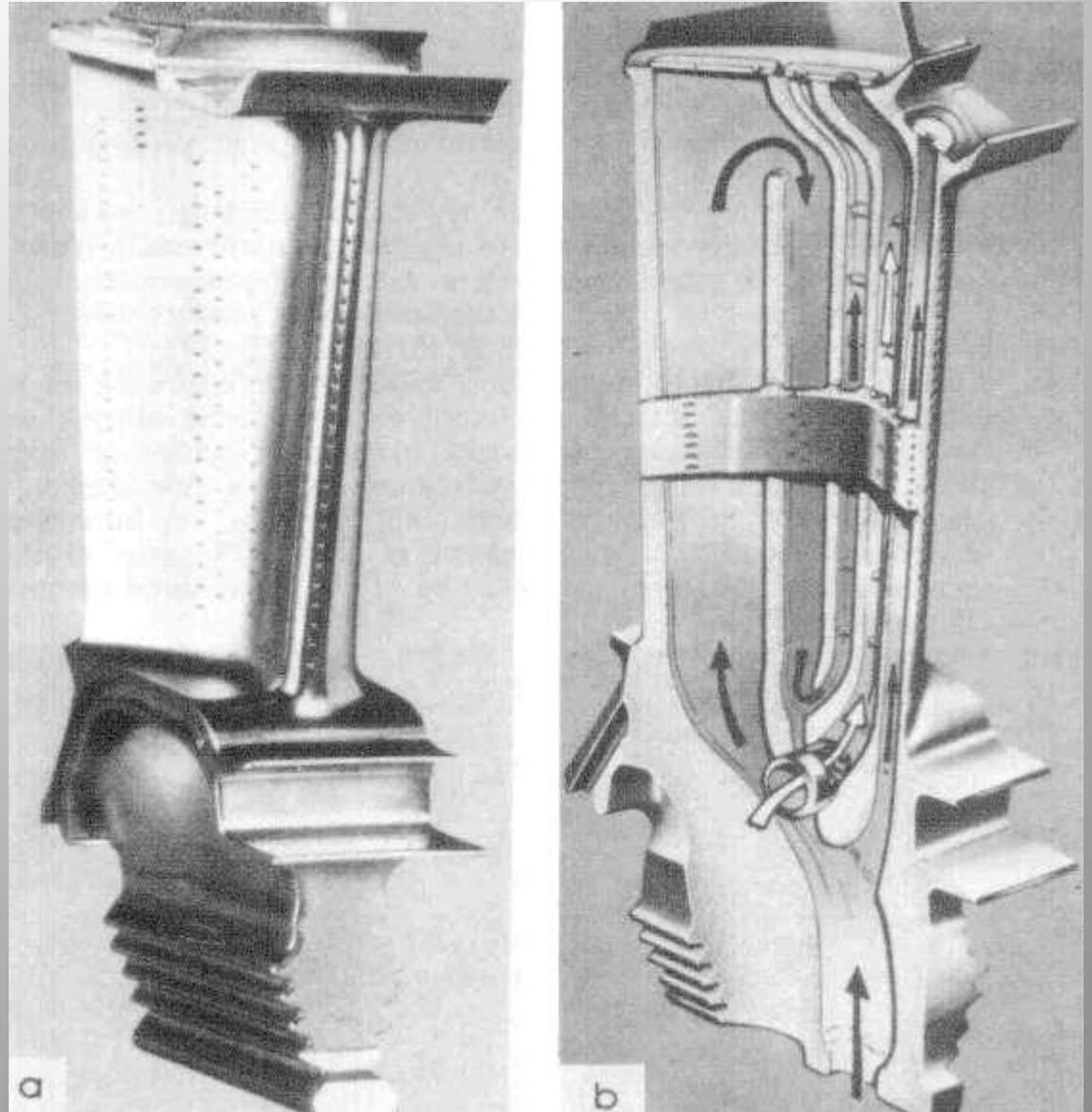


Los Materiales y la Humanidad

Alabes de turbina aeronáutica de superaleación de base Ni.

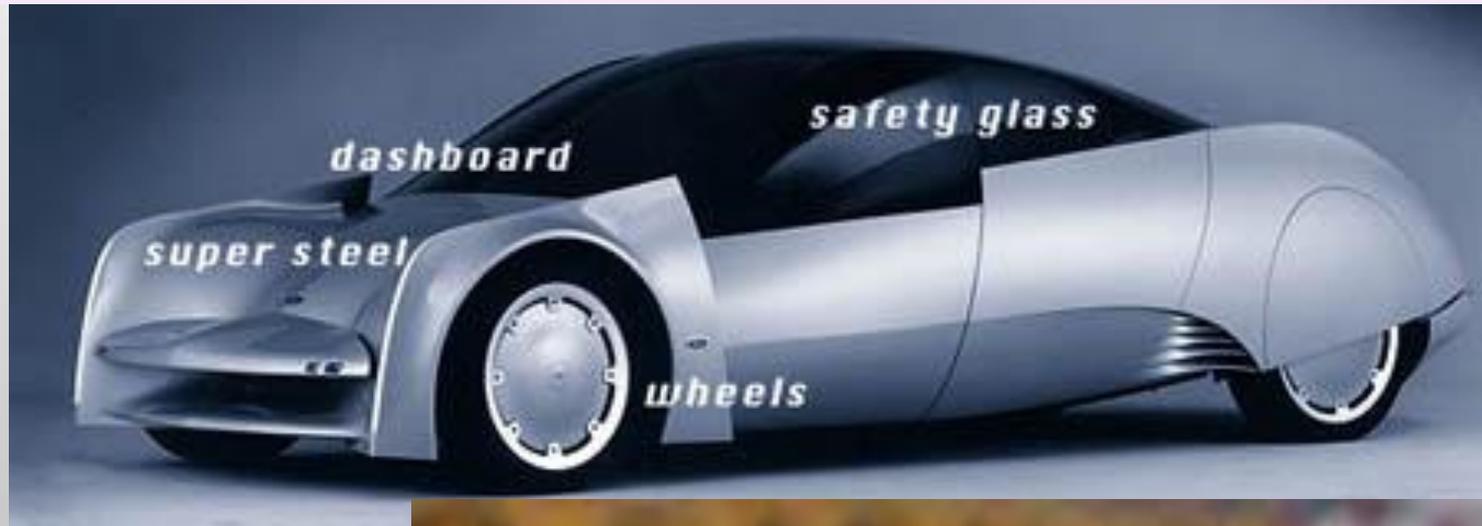
La imagen de la derecha corresponde a un diseño avanzado refrigerado por aire.

Estos elementos deben mantener adecuada resistencia mecánica y estabilidad dimensional en ambientes agresivos a temperaturas de aproximadamente 1000°C.



Los Materiales y la Humanidad

El automóvil, quizás más aún que el avión, es el ejemplo más elocuente de aplicación de la ingeniería en materiales.



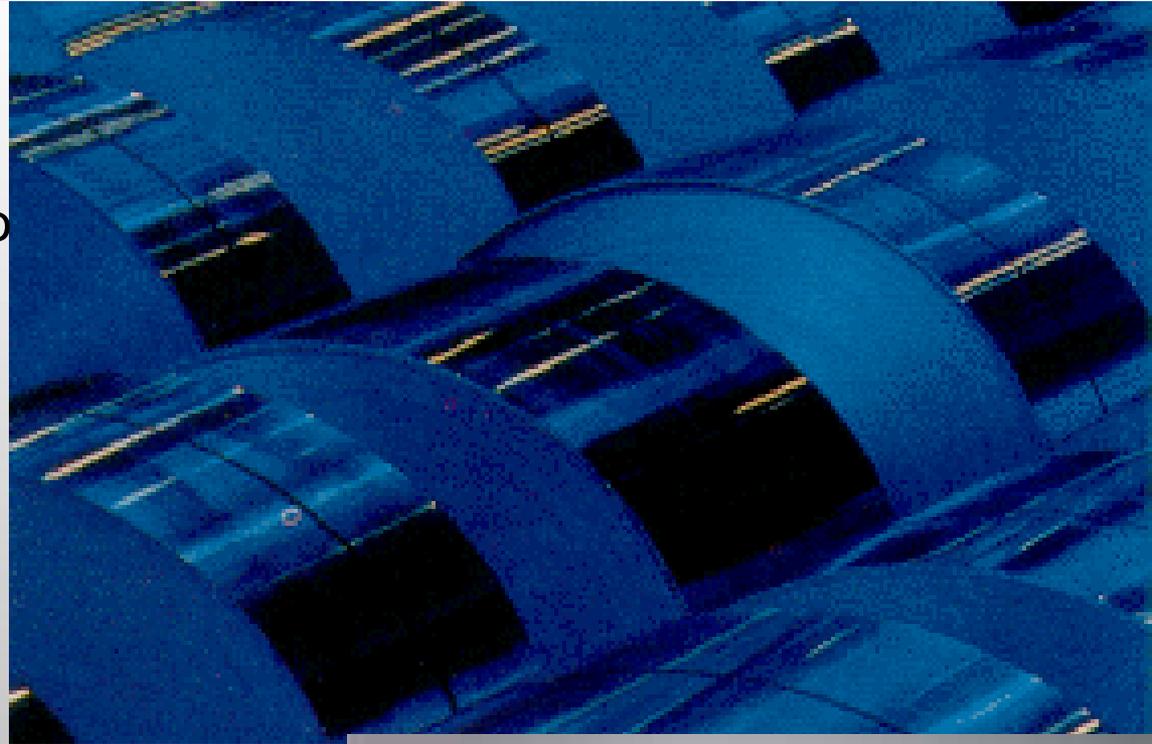
Es un sistema complejo con más de 15000 piezas y con docenas de sistemas diferentes que deben cumplir su función de manera segura y eficiente.

El esquema superior destaca partes y materiales críticos que intervienen en la construcción de un concept car.



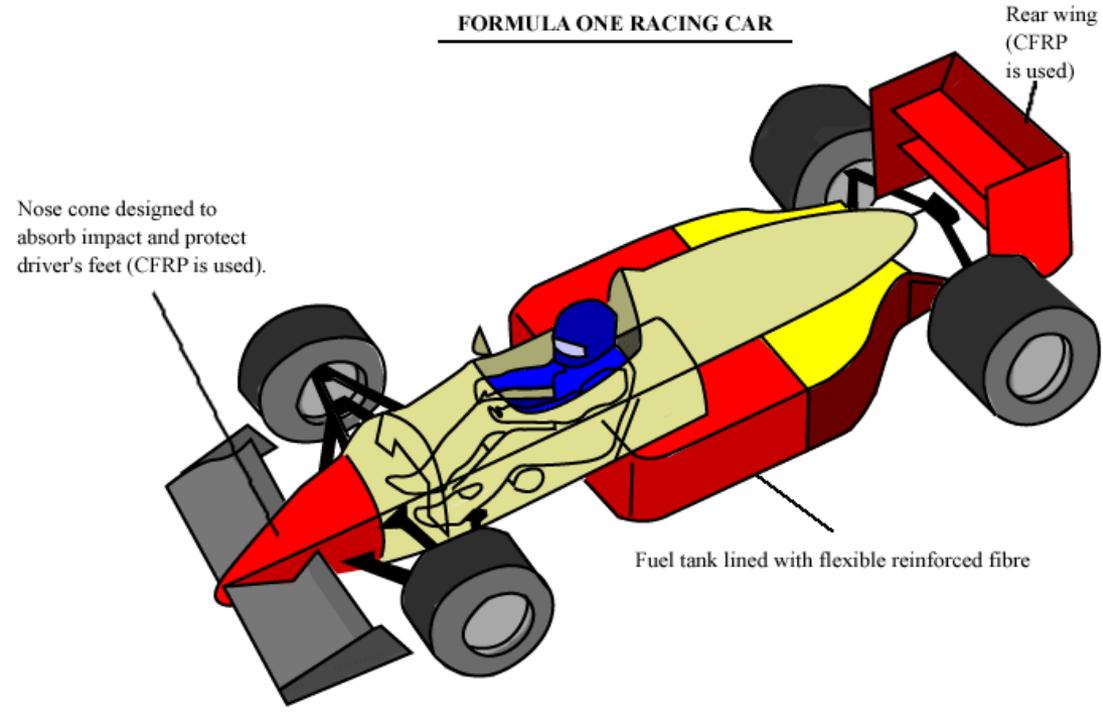
Los Materiales y la Humanidad

Cuando se pensaba que el uso del acero en el automóvil ya no dejaba lugar a mejoras, la industria siderúrgica en conjunto con la automotriz ha logrado recientemente diseñar y construir un automóvil de estructura de acero que es 24% más liviano y 34% más resistente a un costo inferior al de los autos convencionales.



Los Materiales y la Humanidad

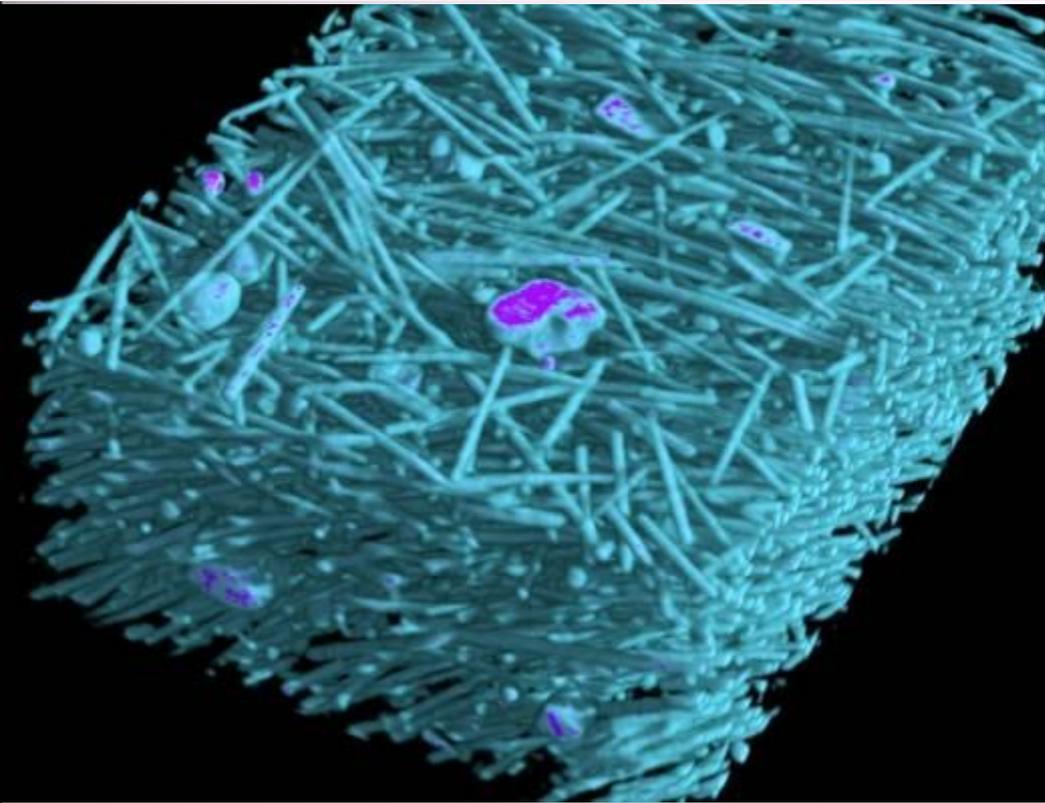
Los materiales compuestos permiten obtener combinaciones de propiedades imposibles de obtener con un solo tipo de material. Entre los materiales compuestos se destacan los reforzados por fibras o por partículas.



En la imagen superior vemos el aprovechamiento que se hace de plásticos reforzados con fibra de carbono (CFRP) en un vehículo de competición.

A la izquierda pueden verse diversos perfiles estructurales hechos con el mismo tipo de compuesto.

Los Materiales y la Humanidad



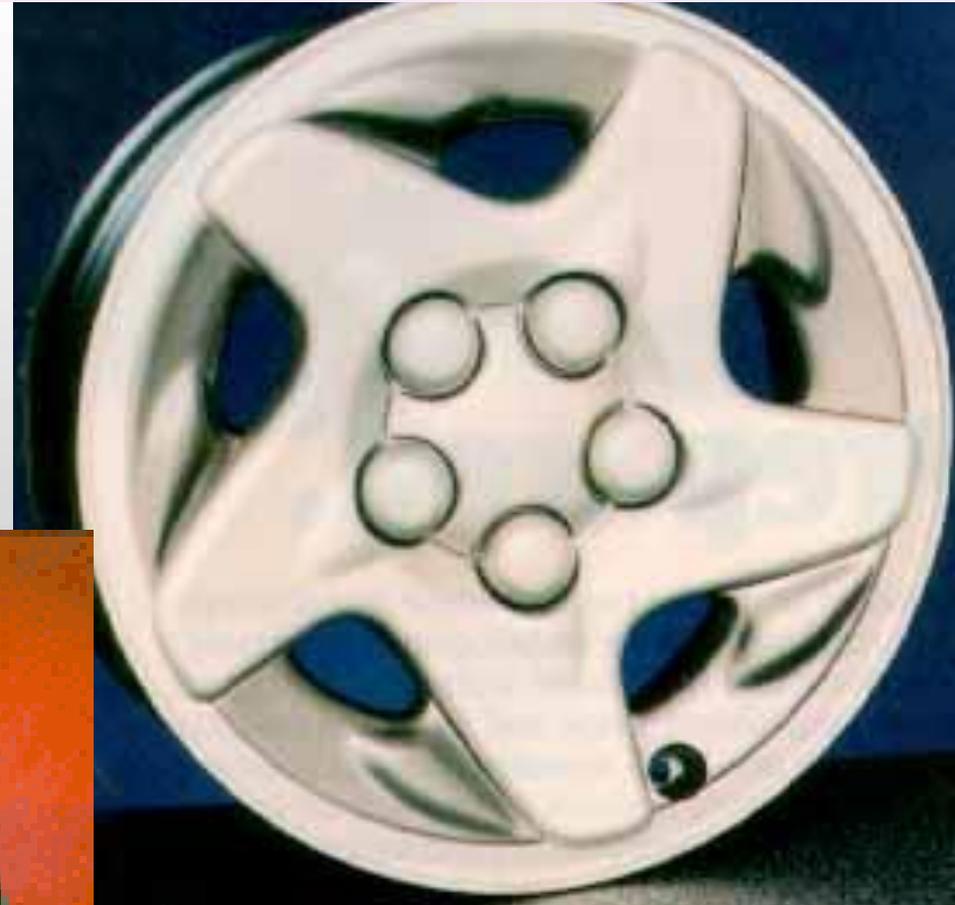
Paquete de fibras de vidrio de refuerzo antes de ser incluidas en un polímero (arriba).

Elemento estructural reforzado por fibras (derecha).



Los Materiales y la Humanidad

Aquí vemos otros avances: un recubrimiento de poliuretano directamente unido a la llanta de acero o aluminio la protege de la corrosión y la abrasión aumentando considerablemente la vida útil de la rueda.

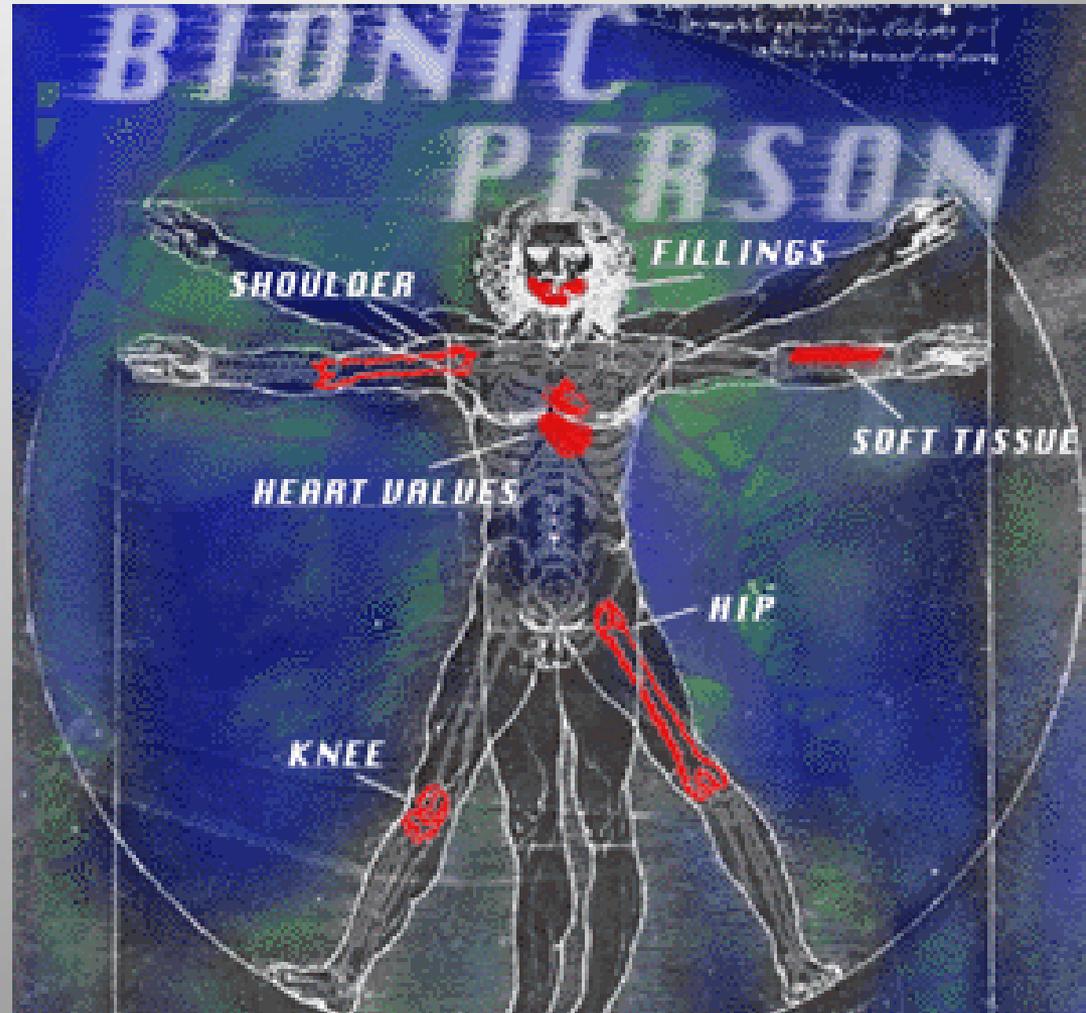


A la izquierda vemos una tapa de guantera moldeada en una sola pieza en resina ABS, con diseño de "panel de abejas"

Los Materiales y la Humanidad

El cuerpo humano es la máquina más compleja que existe sobre la tierra. Como toda máquina, a veces se daña. El gran desafío de los ingenieros y científicos en materiales es hallar sustitutos artificiales para aquellas partes que deben ser reemplazadas.

Aquí vemos algunos componentes del cuerpo humano que ha podido ser sustituidos exitosamente gracias a que se ha desarrollado materiales biocompatibles que se comportan como los tejidos naturales.



Los Materiales y la Humanidad

Estas partes pueden ser tan simples como las amalgamas que el odontólogo ha venido utilizando desde 1832 para reparar huecos en los dientes, y cuya composición habitual es

50% Hg (Mercurio)

20% Máx. Ag (Plata)

15% Mín. Cu (Cobre)

15% Máx. Sn (Estaño)



En los últimos 10 años se han desarrollado compuestos cerámicos aptos para el relleno de piezas dentales que aventajan a las amalgamas en varios aspectos: son químicamente inertes, de baja conductividad térmica, muy resistentes y estéticas.

Los Materiales y la Humanidad

Las articulaciones son estructuras biomecánicas sorprendentes. Los esfuerzos que soportan son increíblemente grandes. La ingeniería de materiales debe encontrar reemplazos que cumplan eficientemente su función, pero que además su superficie exterior permita que el hueso crezca sobre ella para asegurar una correcta fijación.

A la izquierda vemos una prótesis de hombro y a la derecha una de cadera. Tradicionalmente estas prótesis se han fabricado con materiales metálicos, tales como aceros inoxidable y aleaciones de Ti, pero muy recientemente han comenzado a desarrollarse piezas de vidrios-cerámicos.



Numerosos investigadores están trabajando actualmente en temas tales como el desarrollo de polímeros que se contraen en presencia de un campo eléctrico y que servirían para desarrollar músculos artificiales aplicables a problemas ortopédicos.



MUSCULOS ARTIFICIALES

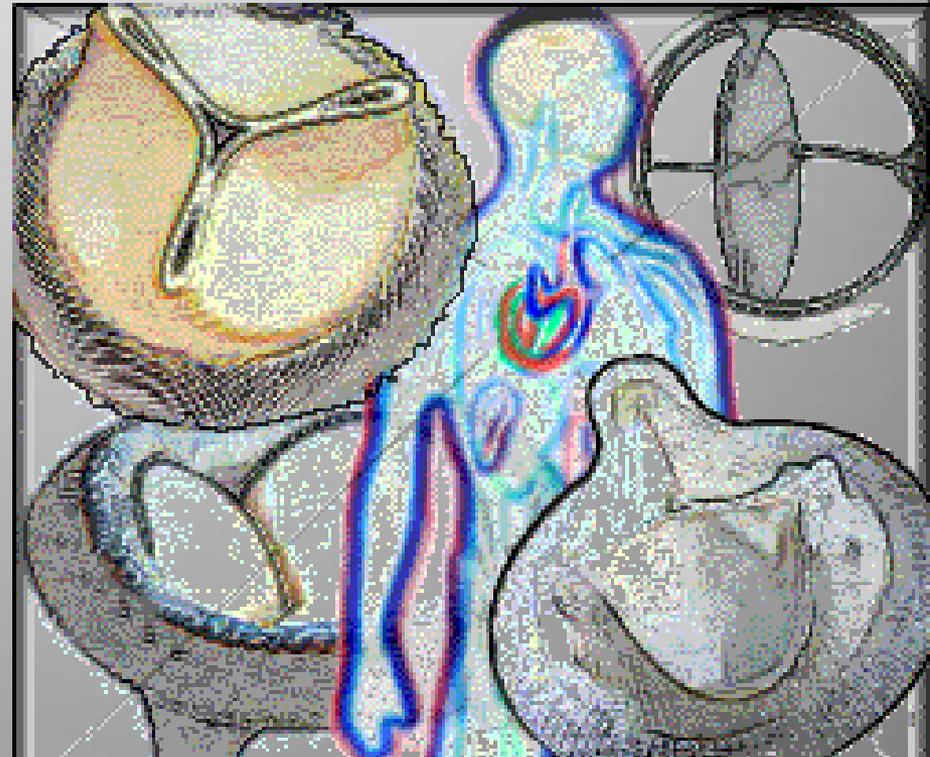
Polímeros estimulados eléctricamente

Los Materiales y la Humanidad



Un desafío quizás todavía mayor para la ciencia e ingeniería de los materiales es el reemplazo de tejidos blandos con productos que sustituyen desde vasos sanguíneos, hasta músculos y porciones de piel mediante fibras sintéticas poliméricas.

El corazón es otra pieza sorprendente de biomecánica. Durante nuestras vidas debe latir 2500 millones de veces y bombear casi 200 millones de litros de sangre a través del cuerpo. La primera válvula cardíaca artificial de aleación CoCr se implantó hace unos 40 años. Hoy, esta tecnología representa un negocio de U\$S 500 millones al año!!



Los Materiales y la Humanidad

Ejemplos de aplicación de cerámicos avanzados.



Las tejas utilizadas en la región de nariz del Satche Shuttle como blindaje térmico durante el reingreso a la atmósfera.



Tejas de alúmina reforzadas con fibras del mismo material utilizadas en servicio de alta abrasión.

Rótula de cadera de alúmina.



Los Materiales y la Humanidad



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

Los Materiales y la Humanidad

Pastillas o “pellets” de dióxido de Uranio (UO_2) para elementos combustibles nucleares de potencia producidas mediante el proceso de sinterizado en atmósfera controlada.

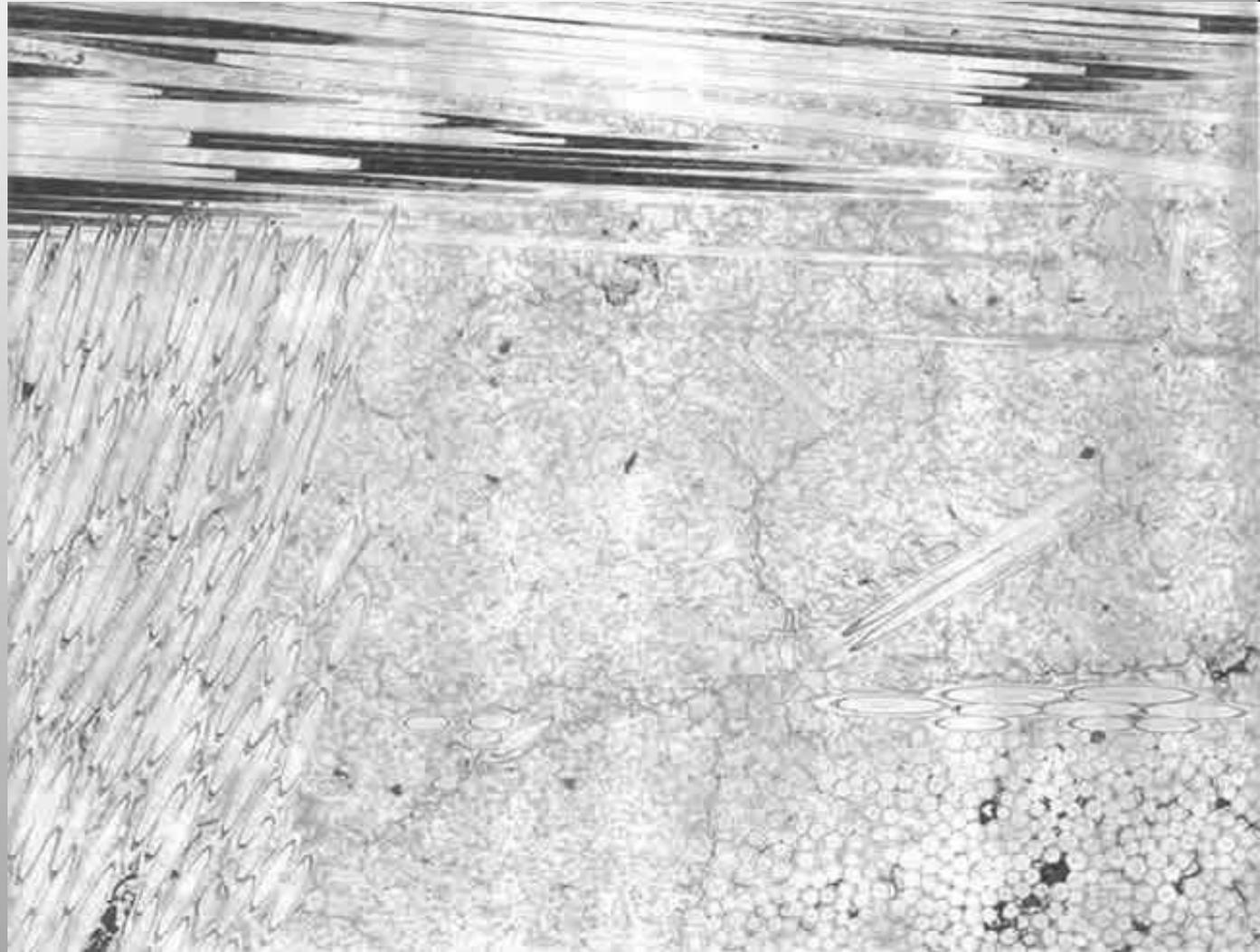


Los Materiales y la Humanidad

Matriz de SiC reforzada con fibras largas del mismo material (SiCf/SiC).

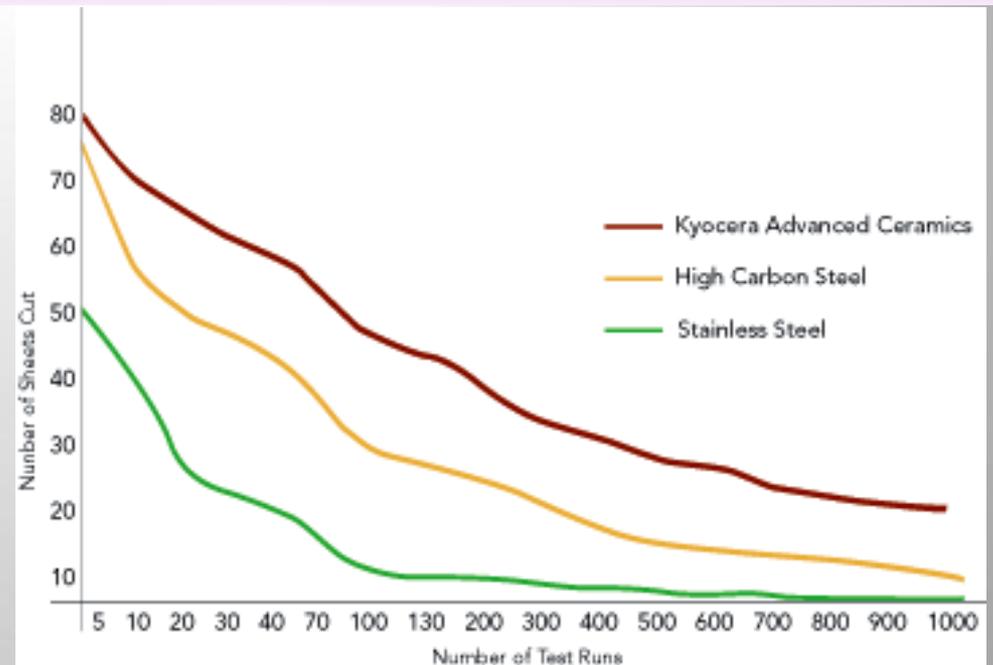
Este es un material experimental para los futuros reactores de fusión debido a su elevada resistencia mecánica a altas temperaturas y su baja activación neutrónica.

Actualmente se investiga el mejoramiento de su conductividad térmica.

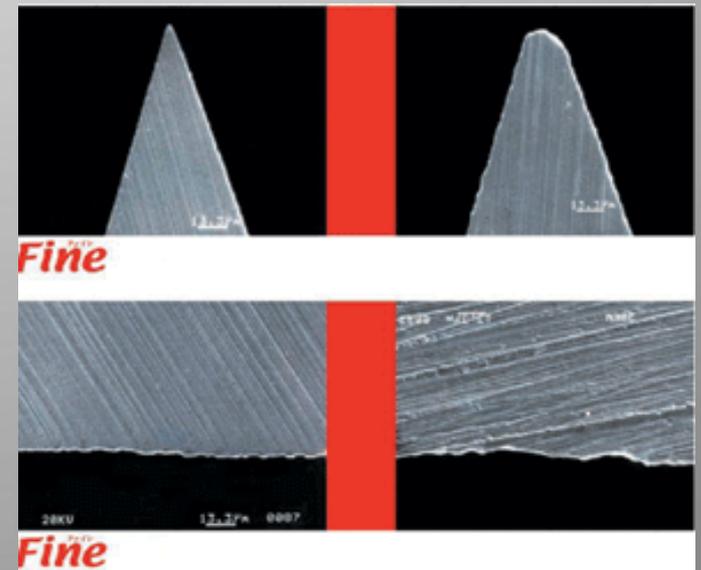


Los Materiales y la Humanidad

Hojas de cuchillos de cerámicos avanzados de grano ultra fino retienen el filo 10 veces más que los de acero incluyendo los de alto carbono.



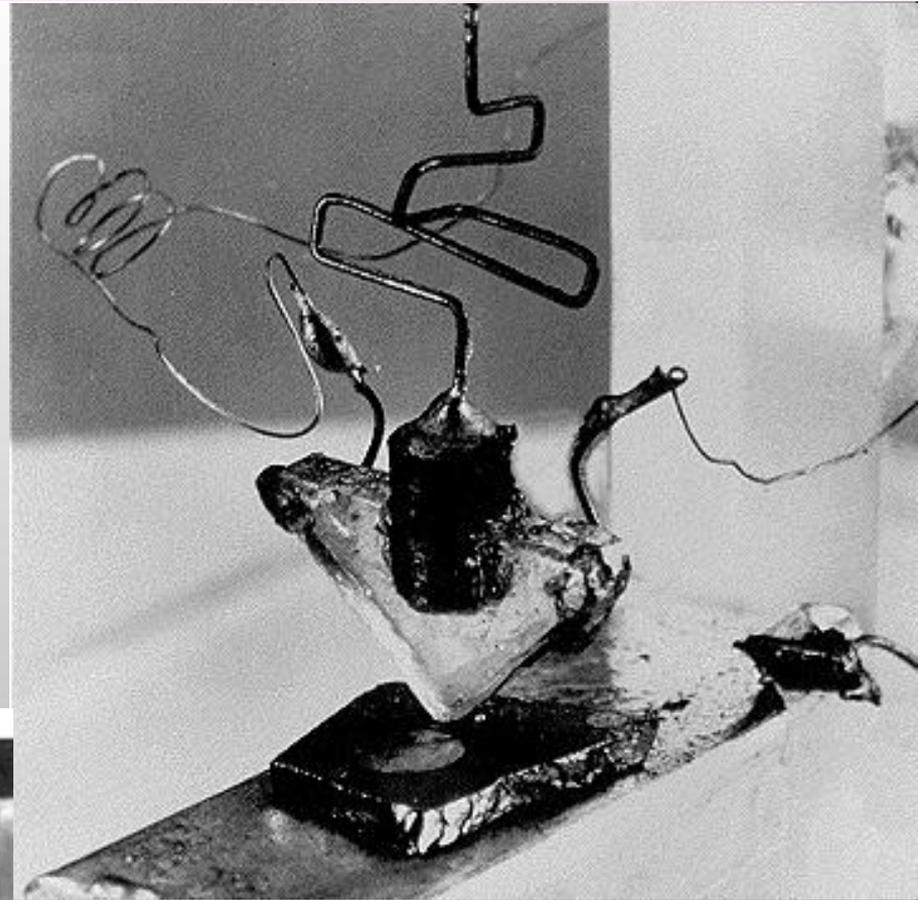
En un ensayo de desgaste consistente en corte de blocs de papel repetido 1000 veces se observa el menor desgaste en el cerámico avanzado con respecto a un cerámico convencional.



Los Materiales y la Humanidad

La técnica de *fusión zonal* se aplicó para producir germanio y silicio muy puros. Partiendo de estos elementos muy puros, los físicos pudieron controlar sus propiedades eléctricas, variando el contenido de impurezas. Así es como desarrollaron los transistores.

En la figura podemos ver la apariencia que tenía el primer transistor, hecho en 1947 y por cuyo trabajo sus autores recibieron el Premio Nobel.



Primer transistor - 1947

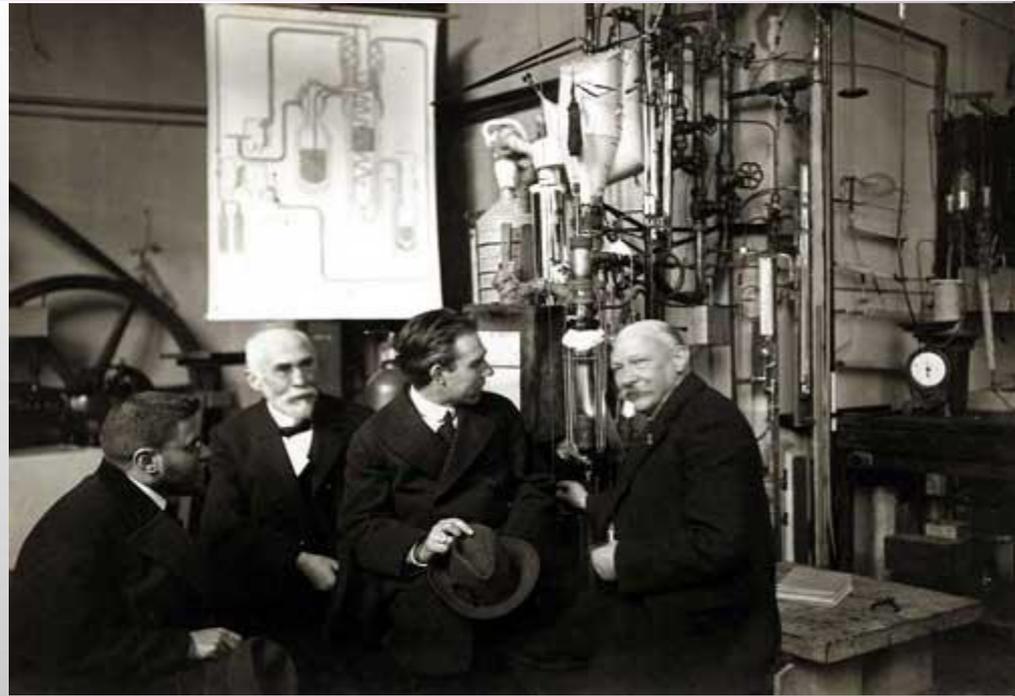


Los Materiales y la Humanidad

La superconductividad es la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones.

La resistencia de un superconductor desciende bruscamente a cero cuando el material se enfría por debajo de su *temperatura crítica*.

Una corriente eléctrica que fluye en una espiral de cable superconductor puede persistir indefinidamente sin fuente de alimentación. Al igual que el ferromagnetismo y las líneas espectrales atómicas, la superconductividad es un fenómeno cuántico.

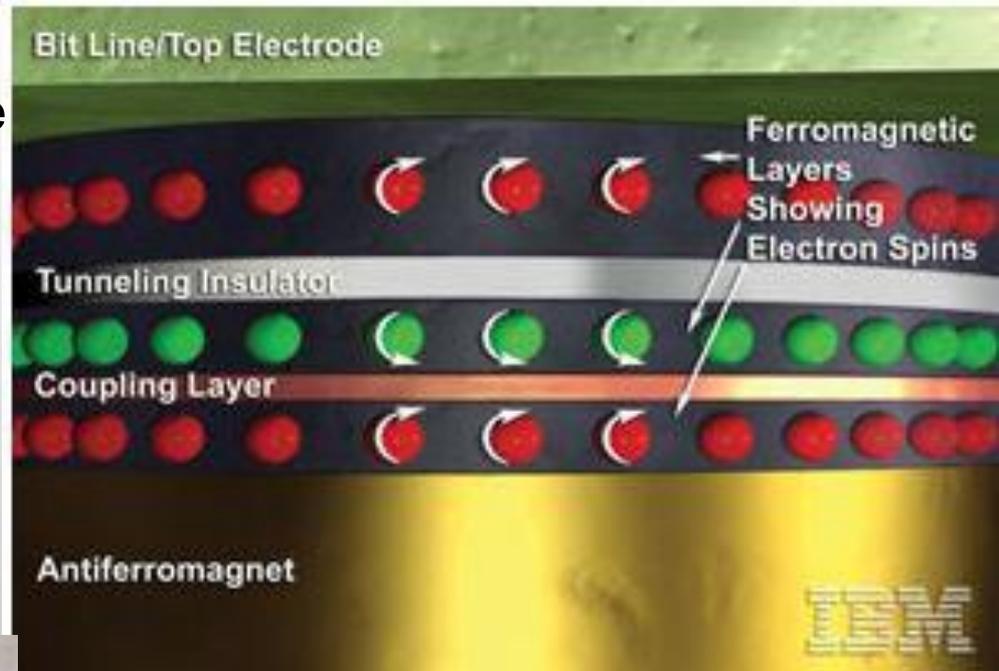


Heike Kamerlingh Onnes (right), descubridor de la superconductividad en 1911.

La superconductividad ocurre en una gran variedad de materiales, incluyendo elementos simples como el estaño y el aluminio, diversas aleaciones metálicas y algunos semiconductores fuertemente dopados.

Los Materiales y la Humanidad

Hoy la Física del Sólido ha permitido entender tales estados “especiales” de la materia, lo que ha conducido al desarrollo de memorias magnéticas avanzadas para computadoras (derecha) y materiales superconductores (abajo) que permiten diseñar sistemas de transporte de alta velocidad con suspensión levitatoria.

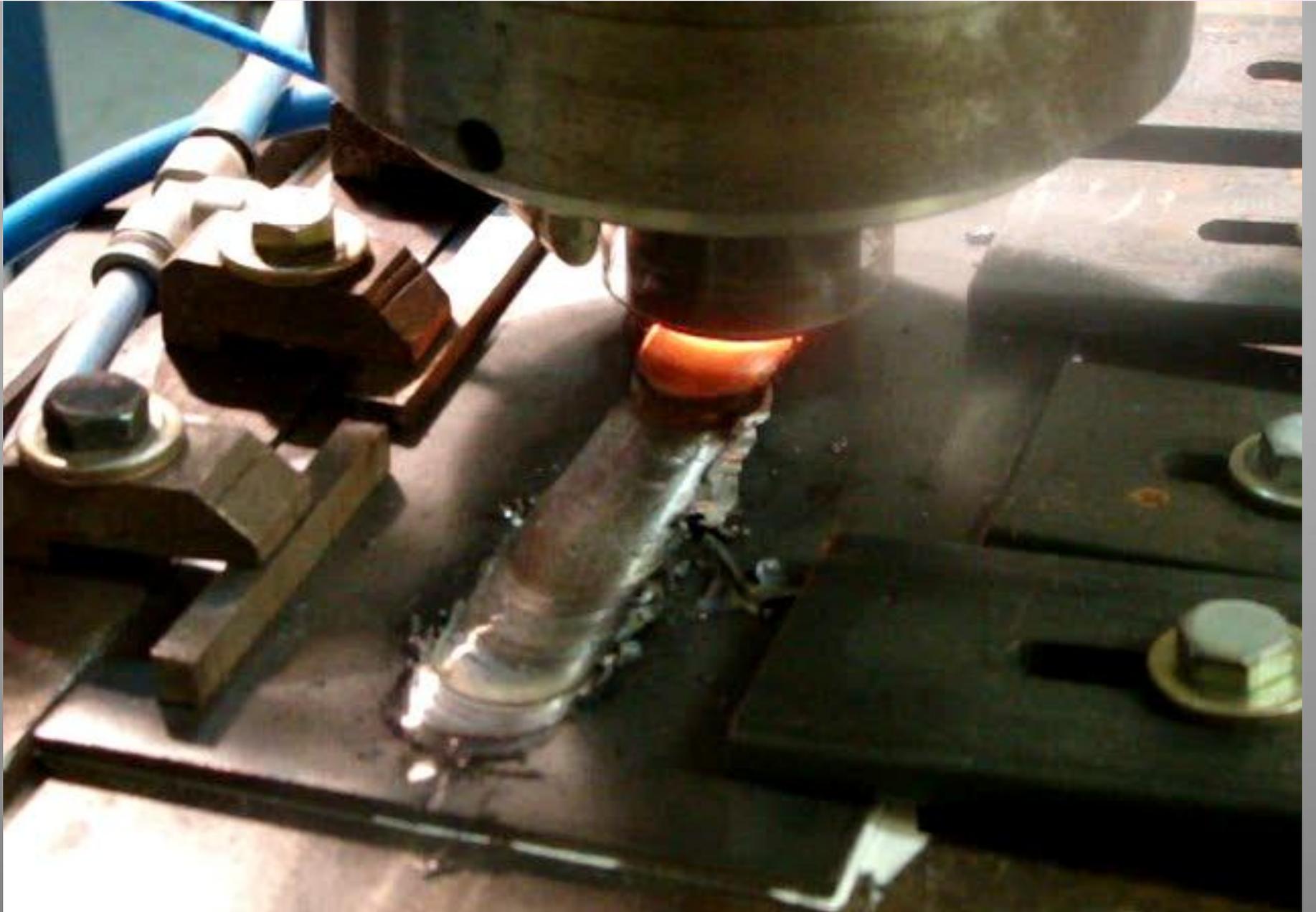


Los Materiales y la Humanidad



Equipo de soldadura en fase sólida de aceros por Fricción - Agitación (Friction Stir Welding) desarrollado recientemente en la Argentina empleando una herramienta de cerámico avanzado.

Los Materiales y la Humanidad



Los Materiales y la Humanidad



El puente de suspensión "Golden Gate" en la bahía de San Francisco.

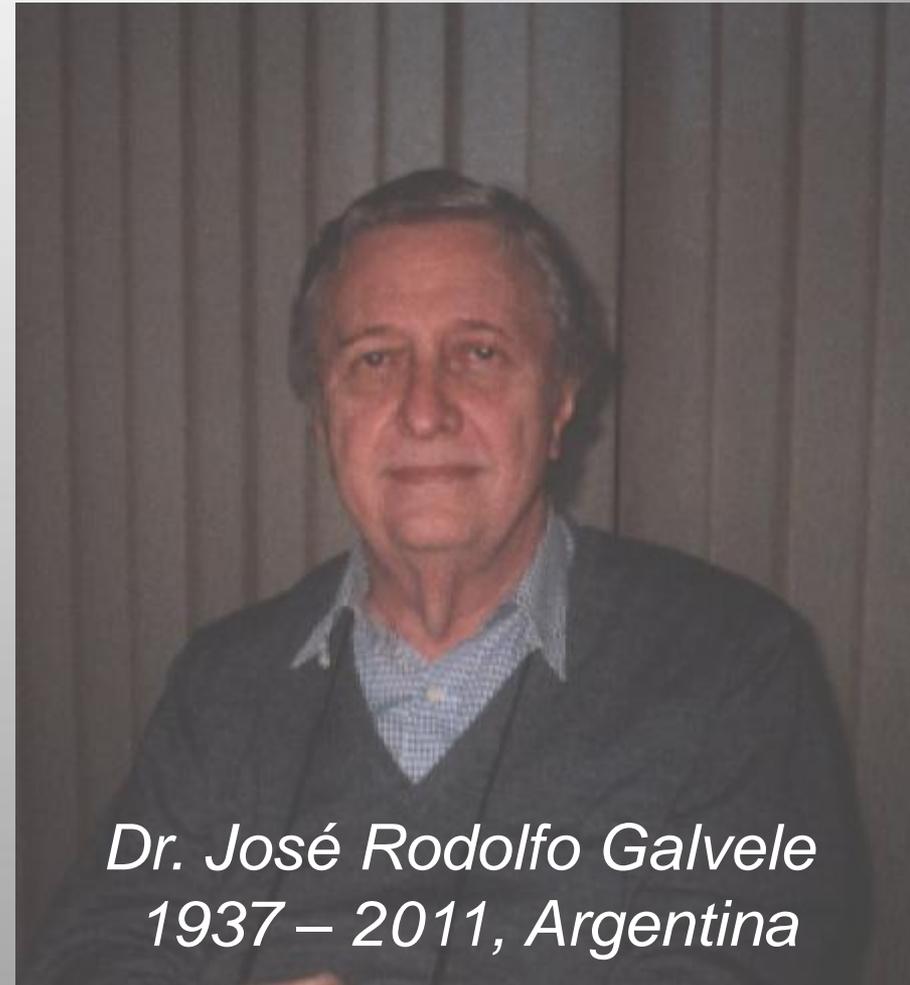
Los Materiales y la Humanidad



Puente "Box Girder" Río-Niterói

Los Materiales y la Humanidad

Sea esta presentación en homenaje y afectuoso recuerdo del Dr. José R. Galvele, por su pasión por la ciencia de los materiales, su permanente esfuerzo por la formación de investigadores en el área y por sus importantes contribuciones al conocimiento de los fenómenos de corrosión metálica que le valieron el reconocimiento de la comunidad científica internacional.



*Dr. José Rodolfo Galvele
1937 – 2011, Argentina*