

**Curso: Materiales avanzados y Nanotecnología**  
**Docente: Dra. Sandra M. Mendoza**  
**Ciclo lectivo 2019, UTN**

## **Unidad 5. Materiales compuestos**

**Generalidades. Materiales matriz. Fibras para materiales compuestos: fibras de vidrio, de carbono, de aramida. Estructura química de polímeros. Polímeros Conductores – Polímeros biodegradables. Polímeros biocompatibles. Plástico reforzado. Compuestos con matriz de metal. Compuestos con matriz de cerámica.**

# Generalidades

La mayoría de las tecnologías actuales requieren materiales con una **COMBINACIÓN DE PROPIEDADES** imposible de conseguir con los materiales tradicionales por separado.

Por ejemplo, los ingenieros solicitan cada vez más materiales de baja densidad que sean resistentes y rígidos, y también resistentes al impacto, a la abrasión y a la corrosión.

Estas combinaciones de características son bastante extraordinaria. Suele suceder que los materiales más resistentes son relativamente densos. Muchas veces un incremento de la resistencia y de la rigidez se traduce en una disminución de la resistencia al impacto.

Las combinaciones de propiedades de los materiales y la gama de sus valores se han ampliado, y se siguen ampliando, mediante el desarrollo de:

## **MATERIALES COMPUESTOS o COMPOSITES**



# Materiales compuestos o Composites

Se denomina material compuesto a un material que está formado por la combinación de diferentes componentes, obtenido a partir de la unión (no química) de ellos, de tal manera que se consigue un efecto sinérgico en las propiedades finales, obteniéndose materiales de características superiores a las de los componentes individuales.

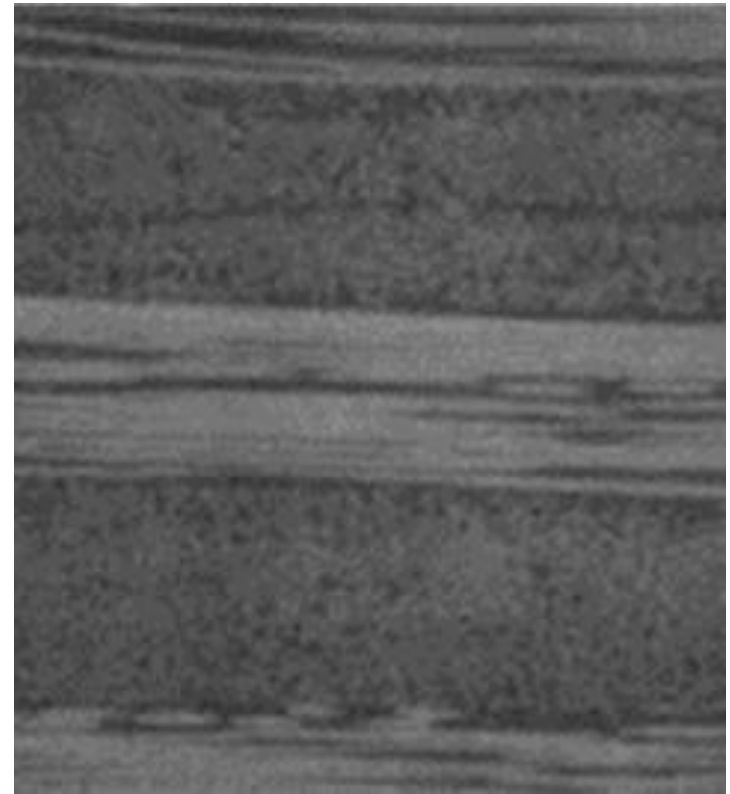


## Consideraciones:

- Material fabricado por el hombre
- No existe reacción química entre los componentes
- Material macroscópicamente heterogéneo
- Material "avanzado"

# Materiales compuestos o Composites

La estructura del Voyager está fabricada con composites de alta resistencia y baja densidad, a base de una serie de capas cruzadas consistentes en fibras de grafito embebidas en una matriz epoxi.



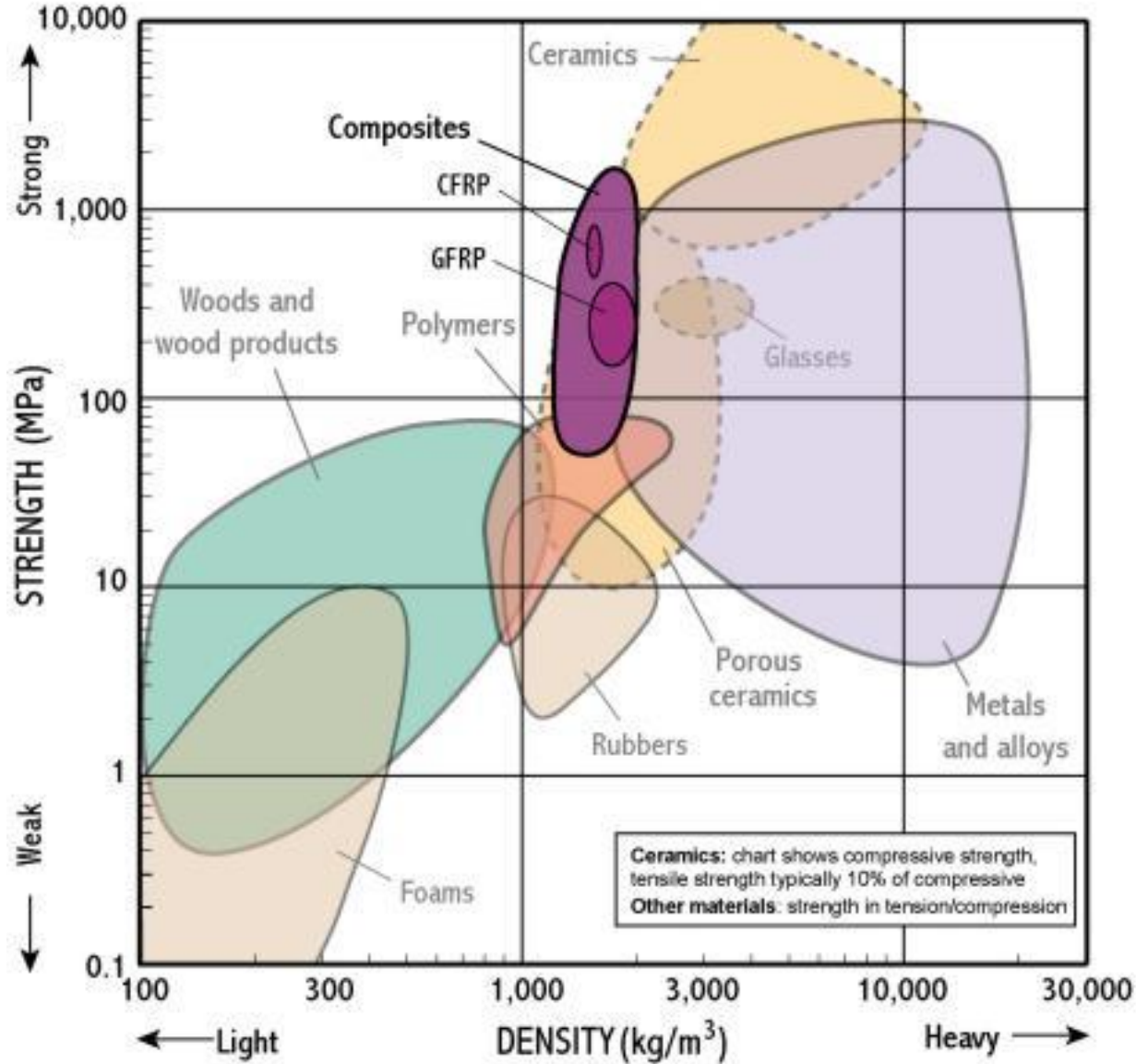
Fotomicrografía (100X). Se muestra una sección de esas capas cruzadas.



# Materiales compuestos. Aplicaciones



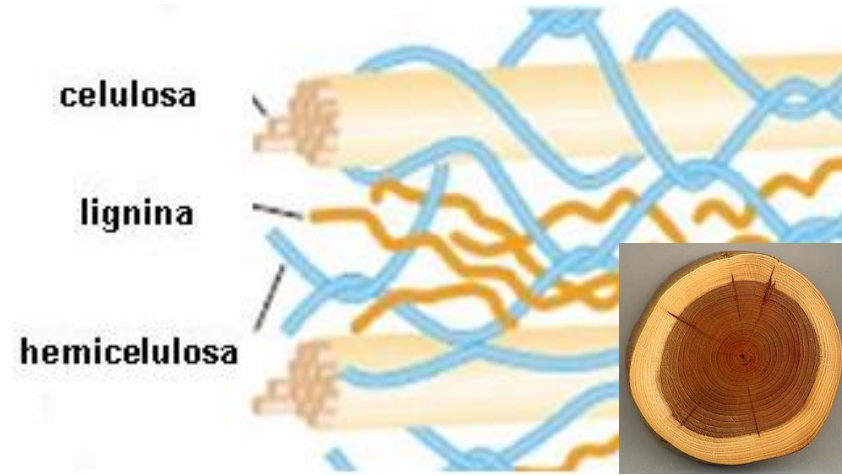
# Materiales compuestos. Propiedades



# Un poco de historia

## (a) Composites en la naturaleza

- Madera: mezcla de celulosa, hemicelulosa y lignina
- Dientes, cuernos, huesos: apatito y colágeno



## (b) El hombre y los primeros composites:

- antiguos: el adobe (arcilla húmeda mezclada con fibras naturales)
- contemporáneos: hormigón, neumáticos



## (c) 1930 - 1940: Fabricación de las primeras fibras tecnológicas, básicamente vidrio y carbono, que luego originaron los primeros composites

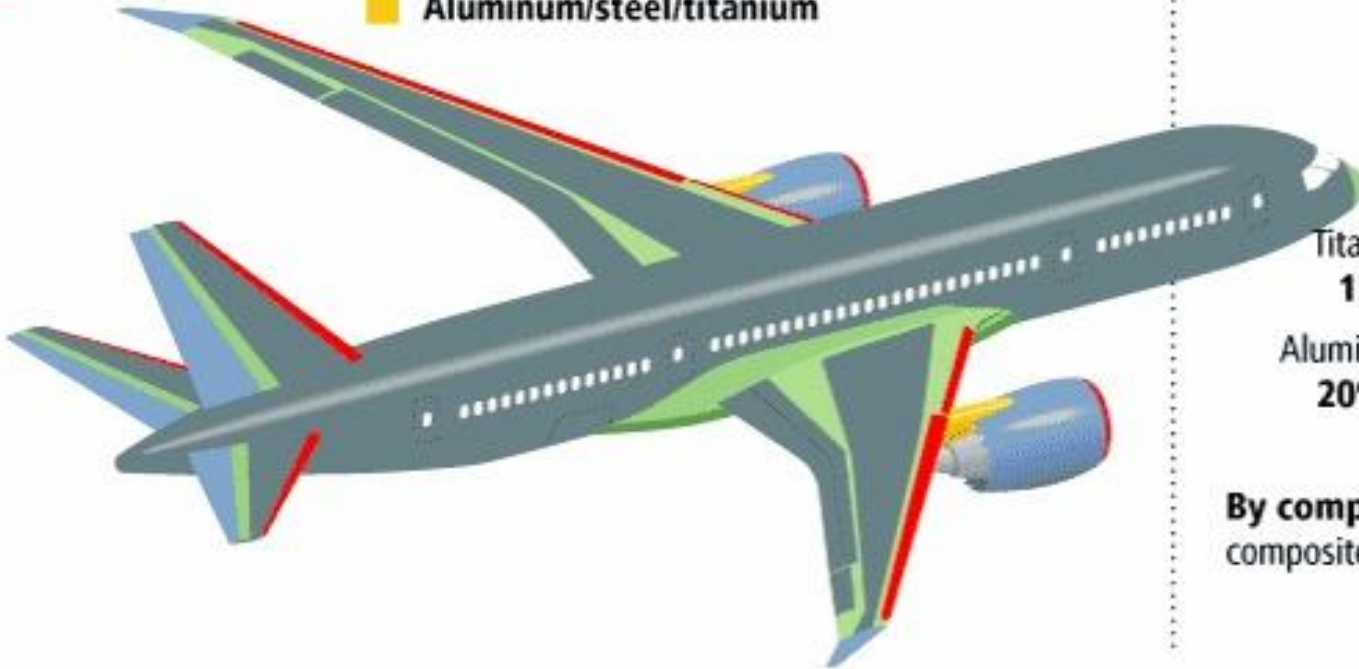
## (d) 1960 - 1970: Primeras aplicaciones industriales de los compuestos con fibras.



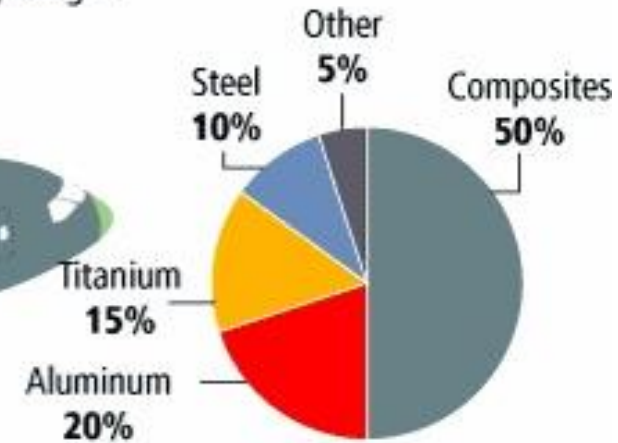
# Materiales compuestos. Ejemplos

## Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



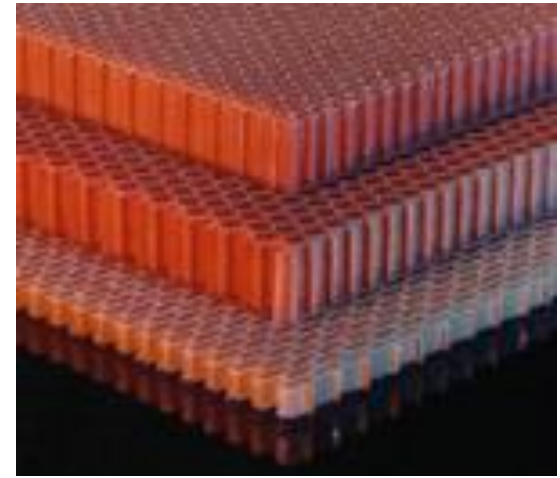
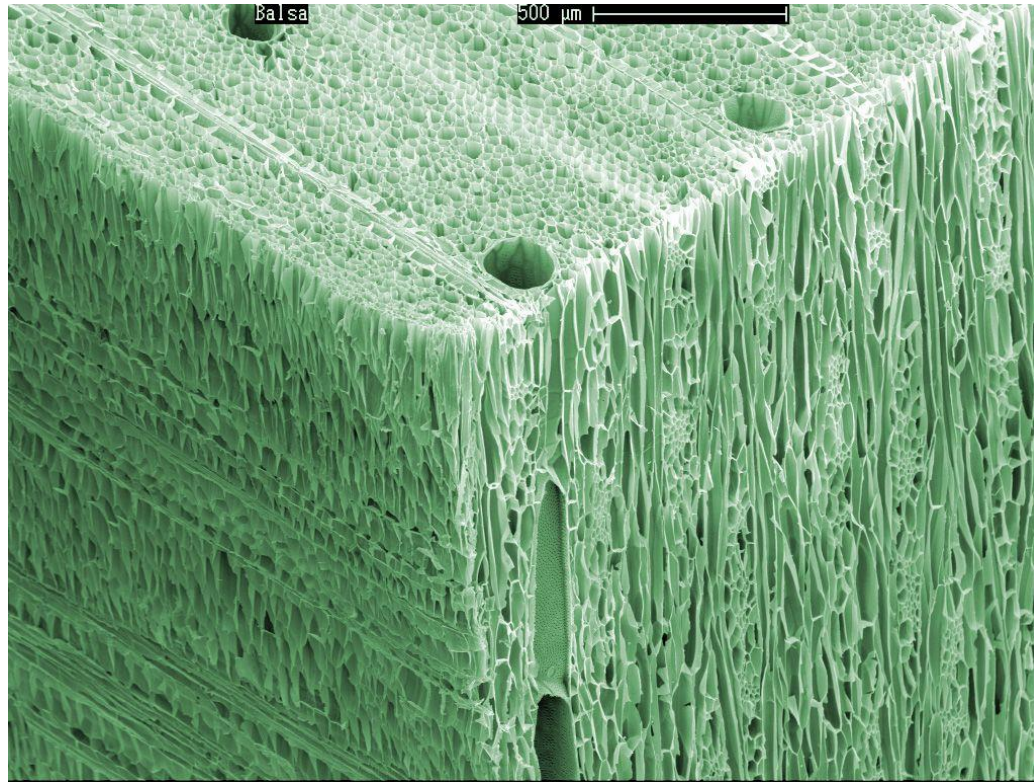
## Total materials used By weight



**By comparison,** the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.



# Materiales compuestos. Ejemplos



**Fotos de la microestructura de madera y honeycomb de Nomex**

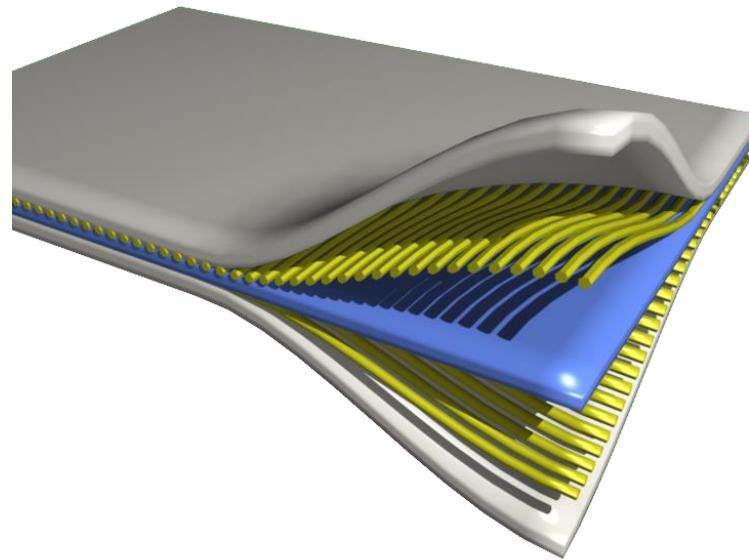
# Materiales compuestos: componentes

## Matriz y refuerzo

La matriz es el material que une a las partículas del refuerzo, el encargado de transmitir los esfuerzos entre dichas partículas.

La naturaleza de las matrices y los refuerzos puede ser muy variada:

- Polímeros
- Metales
- Cerámicas
- Otros



Matriz



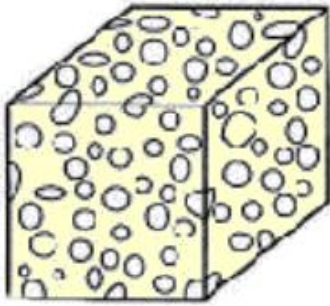
Refuerzo



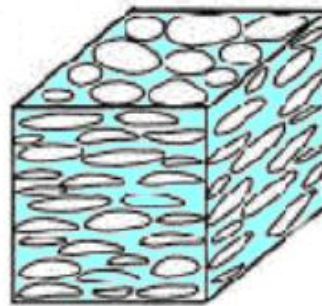
# Materiales compuestos: componentes

## Tipos de refuerzo

### Refuerzo discontinuo



Partículas



Plaquetas



Fibras cortas

Orientadas  
Orientación aleatoria

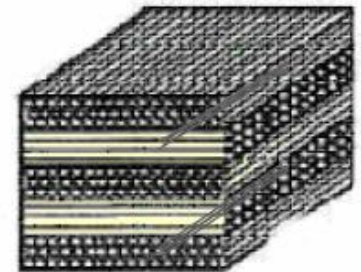
### Refuerzo continuo

Fibras largas

- Orientadas
- Orientación aleatoria

Tejidos

Laminados



# Materiales compuestos: componentes

## Tipos de fibras para refuerzos discontinuos

### Fibras cortas

- ◆ La sección transversal puede ser circular, cuadrada o hexagonal
- ◆ Diámetros: 2,5 micras – 0,1 mm
- ◆ Esbeltez:  $L/D \sim 100$

### Whiskers

Fibras cortas monocristalinas, virtualmente sin defectos

Acero: Resistencia mecánica 0,4 GPa

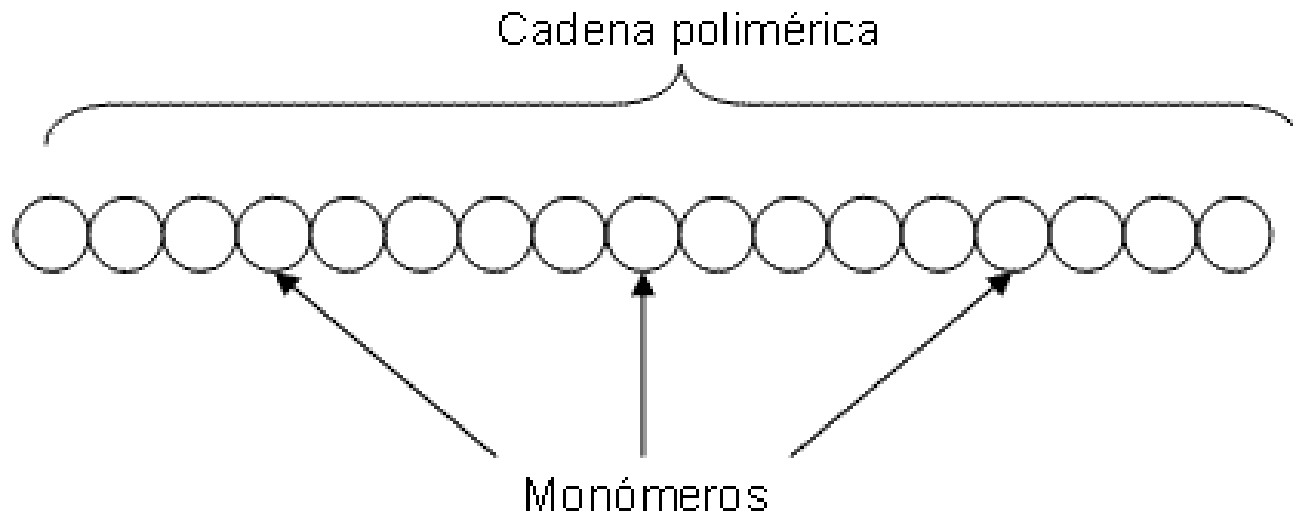
Whisker de acero: Resistencia mecánica 20 GPa

*Los **Whiskers** presentan un grave riesgo para la salud si se inhalan*



# Polímeros

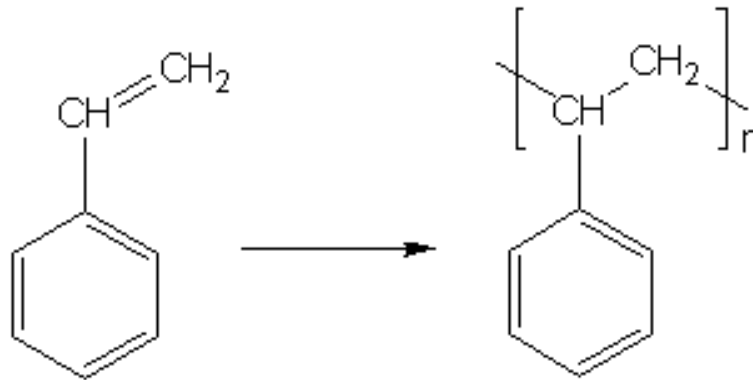
- Son moléculas de gran tamaño o macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por unidades repetitivas más simples llamadas monómeros.



- Según IUPAC: sustancia compuesta de macromoléculas.

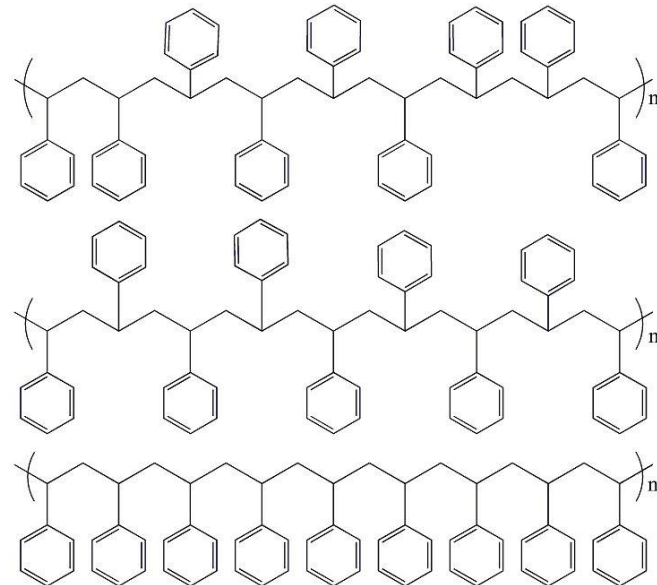
# Polimerización

Proceso químico por el que los reactivos (monómeros) se unen dando lugar a una molécula de gran peso molecular, llamada polímero.



*Ejemplo: Polimerización de estireno para dar poliestireno*

En general, para que se produzca la polimerización se debe contar con la intervención de **catalizadores**, que sirven para controlar al velocidad de reacción, ya sea acelerándola o retardándola.

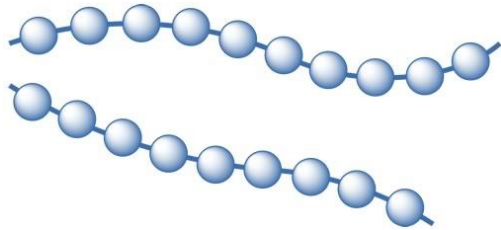


# Polimerización

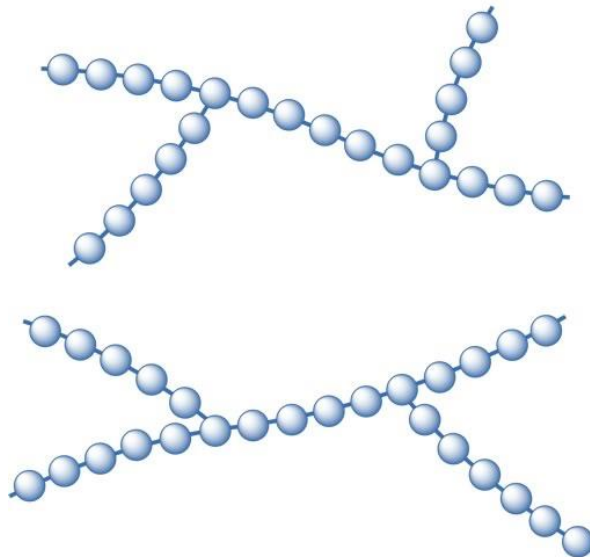
La mayoría de los polímeros son compuestos orgánicos, en los que los monómeros se unen mediante enlaces covalentes y forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas.

Las cadenas poliméricas resultantes pueden ser:

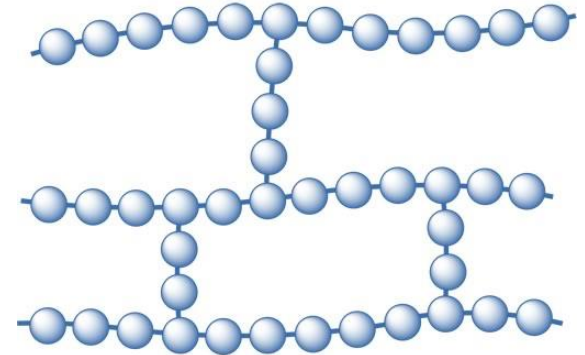
## LINEALES



## RAMIFICADAS



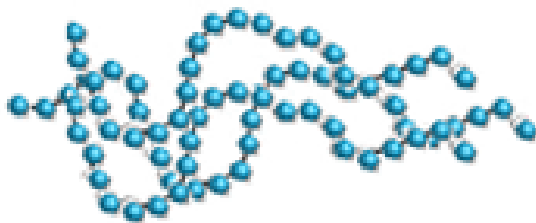
## ENTRECRUZADAS



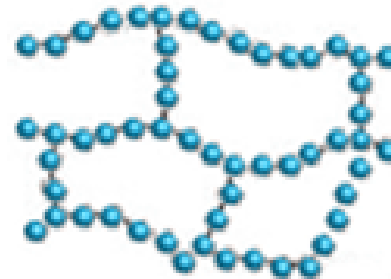
# Polimerización

Controlando el proceso de polimerización es posible direccionar el tipo de uniones entre monómeros, el grado de entrecruzamiento, etc. Así es posible diseñar un material que tenga las propiedades mecánicas deseadas.

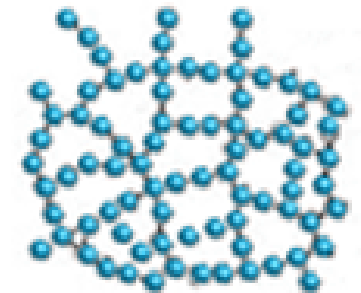
Según el tipo de estructura de las cadenas poliméricas (lineales o entrecruzadas) y el grado de entrecruzamiento, es posible obtener:



**Termoplástico**



**Elastómero**

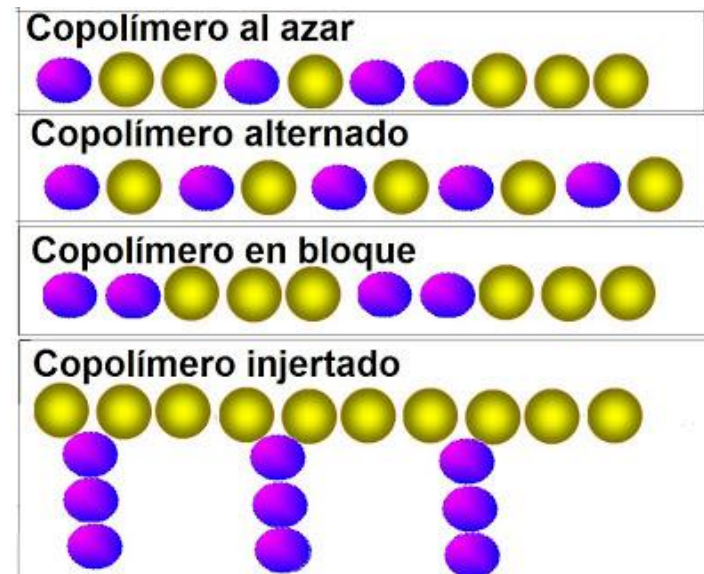
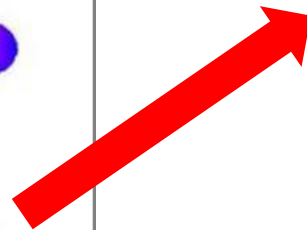
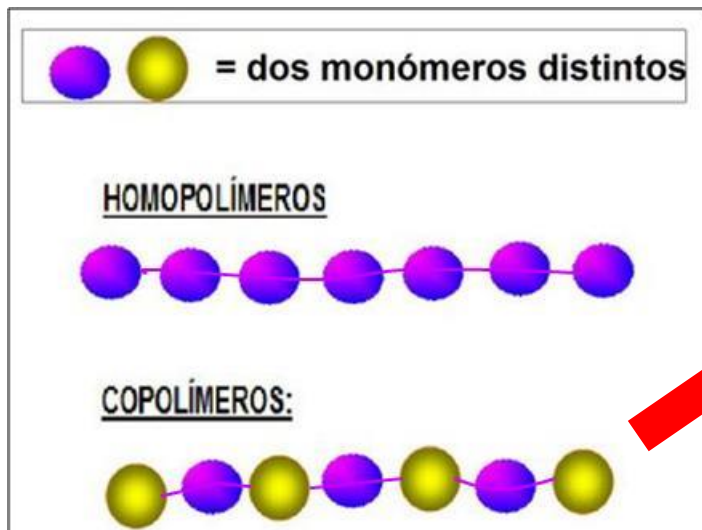


**Termoestable**



# Polimerización

En el caso de que el polímero provenga de un único tipo de monómero se denomina **homopolímero** y si proviene de varios monómeros se llama **copolímero o heteropolímero**.



Los monómeros que conforman la cadena de un copolímero se pueden ubicar en la cadena principal alternándose según diversos patrones. Según el patrón, el copolímero se denomina: alternante, en bloque, aleatorio o injertado.

# Termoplásticos

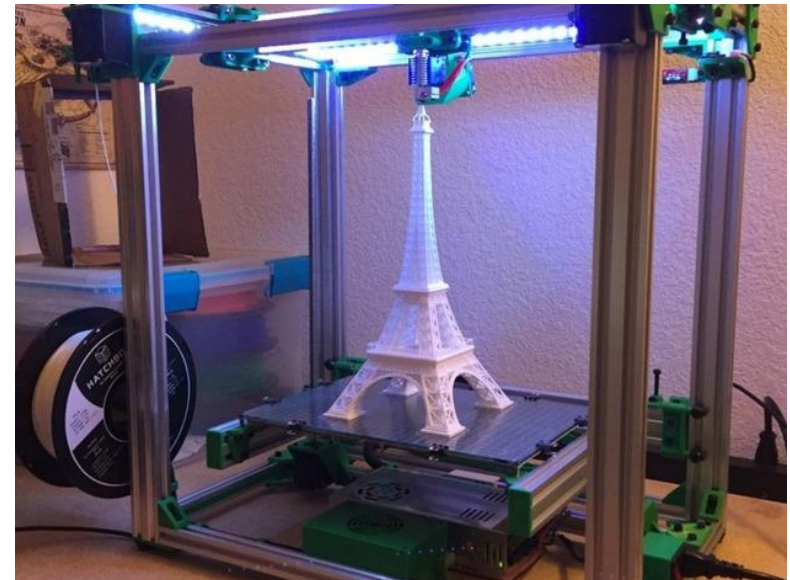
Son materiales sólidos que pueden fundirse y moldearse muchas veces por acción del calor, recuperando sus propiedades originales al enfriarse a temperatura ambiente.

El término termoplásticos se aplica generalmente a materiales poliméricos.

Son reciclables.

Generalmente tiene estructuras químicas lineales o ramificadas.

Ejemplo: polietileno, poliestireno.



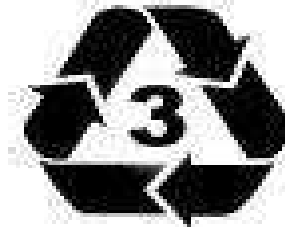
# IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS MÁS COMUNES



**PET**  
Polietileno  
Tereftalato



**PEAD**  
Polietileno  
de Alta  
Densidad



**PVC**  
Cloruro de  
Polivinilo



**PEBD**  
Polietileno  
de Baja  
Densidad



**PP**  
Polipropileno



**PS**  
Poliestireno

# Termorrígidos

**Materiales que una vez calentados y moldeados, pierden su plasticidad. Es decir que no pueden ser moldeados por calentamiento nuevamente, (no se ablandan) ya que se descomponen a temperaturas inferiores a las temperaturas de fusión.**

**El término “termorrígido” se aplica generalmente a plásticos poliméricos.**

**La estructura química de los polímeros es generalmente reticular o entrecruzada.**

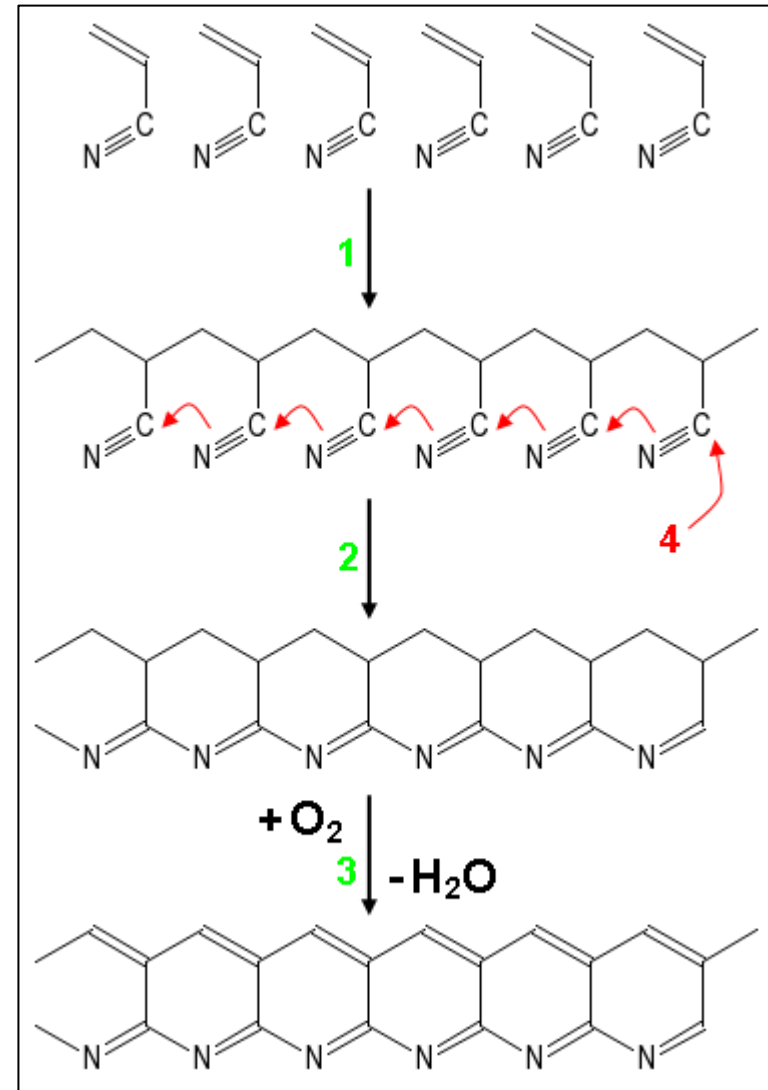
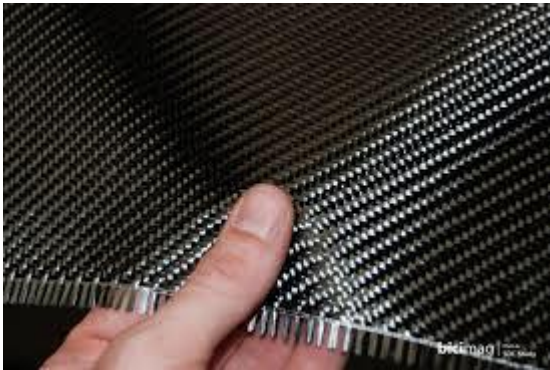
**Ejemplos: baquelita, caucho, siliconas, resinas epoxídicas, acrílico, poliuretano.**





# Fibras de carbono

Son fibras de aproximadamente 5-10  $\mu\text{m}$  de diámetro y compuestas principalmente de átomos de carbono. Las fibras de carbono tienen varias ventajas incluyendo alta rigidez, alta resistencia a la tracción, bajo peso, alta resistencia química, tolerancia a alta temperatura y baja expansión térmica.



Cada filamento de carbono se produce a partir de un polímero tal como poliacrilonitrilo, rayón o derivados de petróleo.

# Fibra de vidrio

**La fibra de vidrio es un material que consta de numerosos filamentos poliméricos extremadamente finos, basados en dióxido de silicio.**

- **Buen aislante térmico**
- **Agente de refuerzo con muchos productos poliméricos para producir plástico reforzado con vidrio.**
- **Más económica que la fibra de carbono.**

## **Manufactura:**

La fibra de vidrio se conforma de hebras delgadas hechas a base de sílice o de formulaciones especiales de vidrio, extruidas a modo de filamentos de diámetro diminuto y aptas para procesos de tejeduría. Se fabrican mediante diversos procesos, tales como fundición o de filamentos continuos.

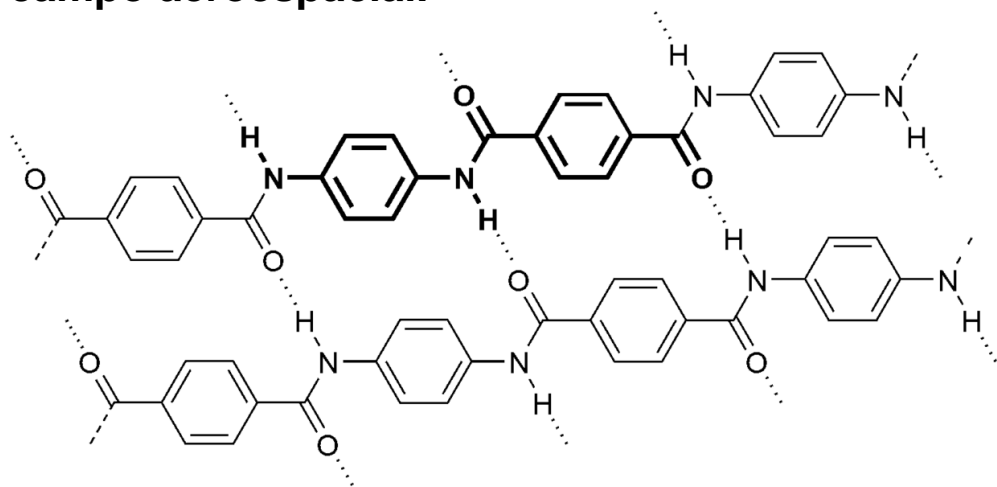


# Fibra de aramida

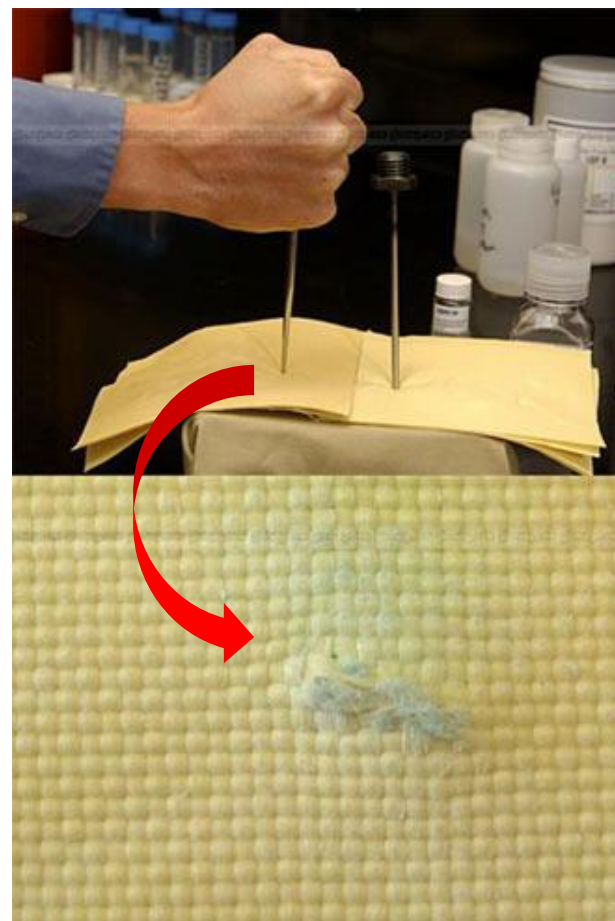
La aramida corresponde a un grupo de polímeros derivados de poliamida aromática. Generalmente se refiere a una categoría de fibra sintética, robusta y resistente al calor.

Un ejemplo es el Kevlar, que tiene una resistencia a la tracción superior al acero, rigidez mecánica y se descompone a aprox. 450 °C (alta T para un polímero).

Las aramidas se utilizan para fines militares (compuestos balísticos o protecciones personales), en elementos de seguridad y en el campo aeroespacial.



*Estructura química del Kevlar.*



*Tejidos de fibra de aramida.*

# Kevlar. Usos más comunes

BULLET / STAB  
PROOF VESTS



DIVING GLOVES



WALKING BOOTS



MILITARY HELMET



CUT RESISTANT  
GLOVES



BICYCLE TYRES



CAR TYRES



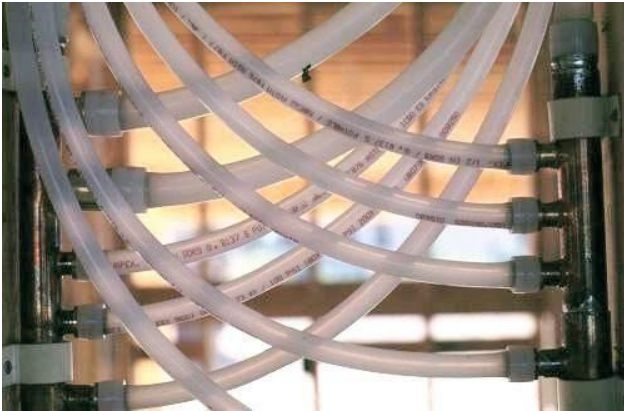
FIRE PROOF  
CLOTHING



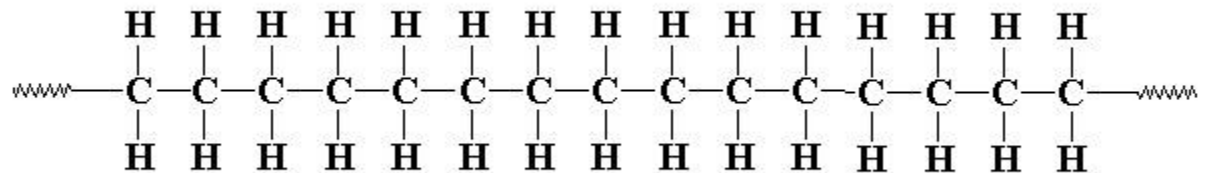
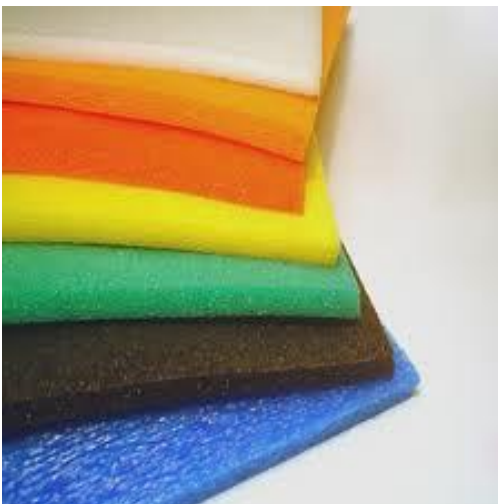


# Polietileno reticulado

Tubos PEX utilizados en pisos radiantes



Espuma de polietileno reticulado



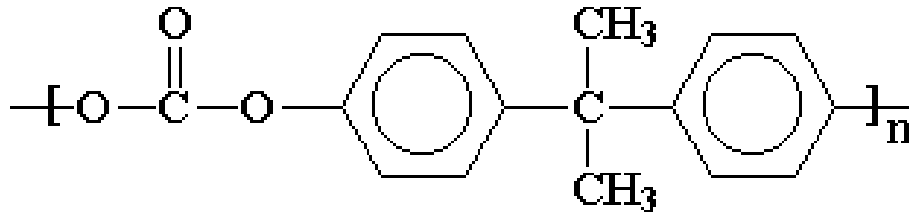
Estructura química del polietileno.

# Resinas acrílicas

- Transparentes
- excelentes propiedades mecánicas (resistencia al impacto 10 veces superior a la del vidrio)
- Fácil de moldear y trabajar
- Su principal aplicación esta en luminotecnia, construcción, piletas o bañeras; lentes de contacto; etc.



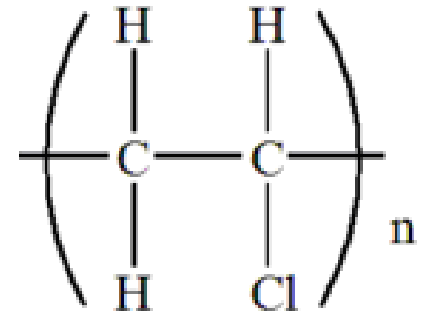
# Policarbonatos



- Transparentes, inodoros e insípidos.
- Excelentes propiedades mecánicas con gran resistencia al choque.
- Su más importante cualidad es que conservan todas las propiedades citadas hasta temperaturas de  $-140^{\circ}\text{C}$ . Por eso se lo usa en aplicaciones eléctricas astronáuticas y en la fabricación de cables superconductores, etc.
- Sirve además para la construcción de antiparras, cristales de anteojos, o para crear efectos especiales en las fotos, etc.

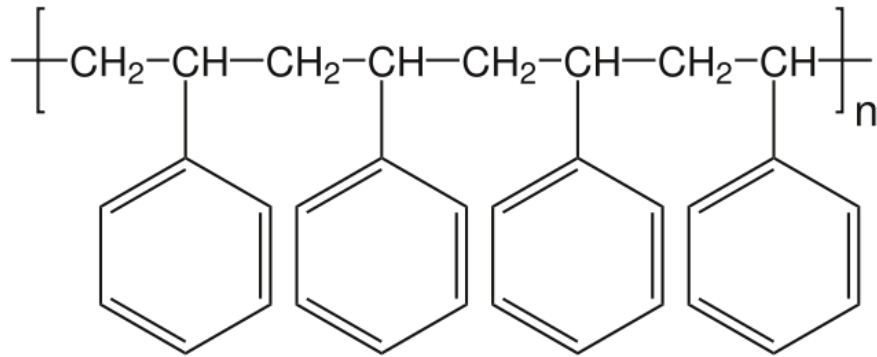
# Policloruro de vinilo (PVC):

- Es inodoro, insípido y no tóxico, insoluble en agua; es resistente a los agentes químicos e impermeable.
- Arde con dificultad y la llama se extingue por sí sola.
- Es duro y tenaz, tiene excelentes propiedades eléctricas, excepto en lo que se refiere a las pérdidas dieléctricas.
- Se emplea en construcción, tuberías y válvulas, películas impermeables, recubrimiento de cables, p/fabricar cinta aisladora, etc.
- Se utiliza además como aislante eléctrico para baja frecuencia, para el alambrado de aparatos electrónicos, para cuadros de maniobra, distribución y medición a baja tensión.
- **POLICLORURO DE VINILO RETICULADO:** se convierte el PVC termoplástico en termoestable, cuyas características mecánicas son considerablemente mejoradas.





# Poliestireno



## POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) O TELGOPOR



# Resinas fluoradas

A pesar de su elevado costo, se emplea donde otros materiales no resistirían ataques químicos o altas temperaturas (industria eléctrica), aislamiento de conductores eléctricos, para la fabricación de soportes

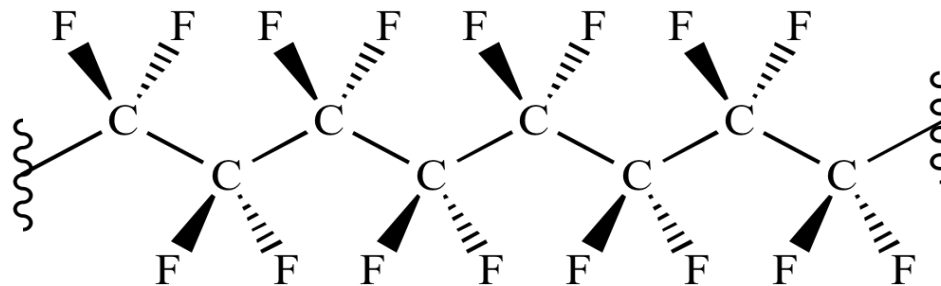
de radar y antenas, etc. Usos más comunes:

➤ Aislamiento de conductores sometidos a muy exigentes condiciones de funcionamiento y de dieléctricos de condensadores cerámicos.

➤ Aplicaciones médicas (prótesis y órtesis)

➤ Utensillos para el hogar

➤ Utensillos de laboratorio para manejo de ácidos fuertes.



*Politetrafluoroetileno (PTFE)*

# RESINAS FLUORADAS

HI/LO TEMP  
RESISTANCE



LOW FRICTION



NONSTICK



CHEMICAL RESISTANT



NONWETTING



FDA CONFORMING



ABRASION  
RESISTANT



ELECTRICAL



# Polímeros biodegradables

Son un tipo específico de polímero que se descompone después de cumplir su propósito, para resultar en subproductos naturales como gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ), agua, biomasa, y sales inorgánicas.

Aplicaciones más comunes:

- **Medicina y ortopedia**
- **Alimentos**
- **Embalajes**

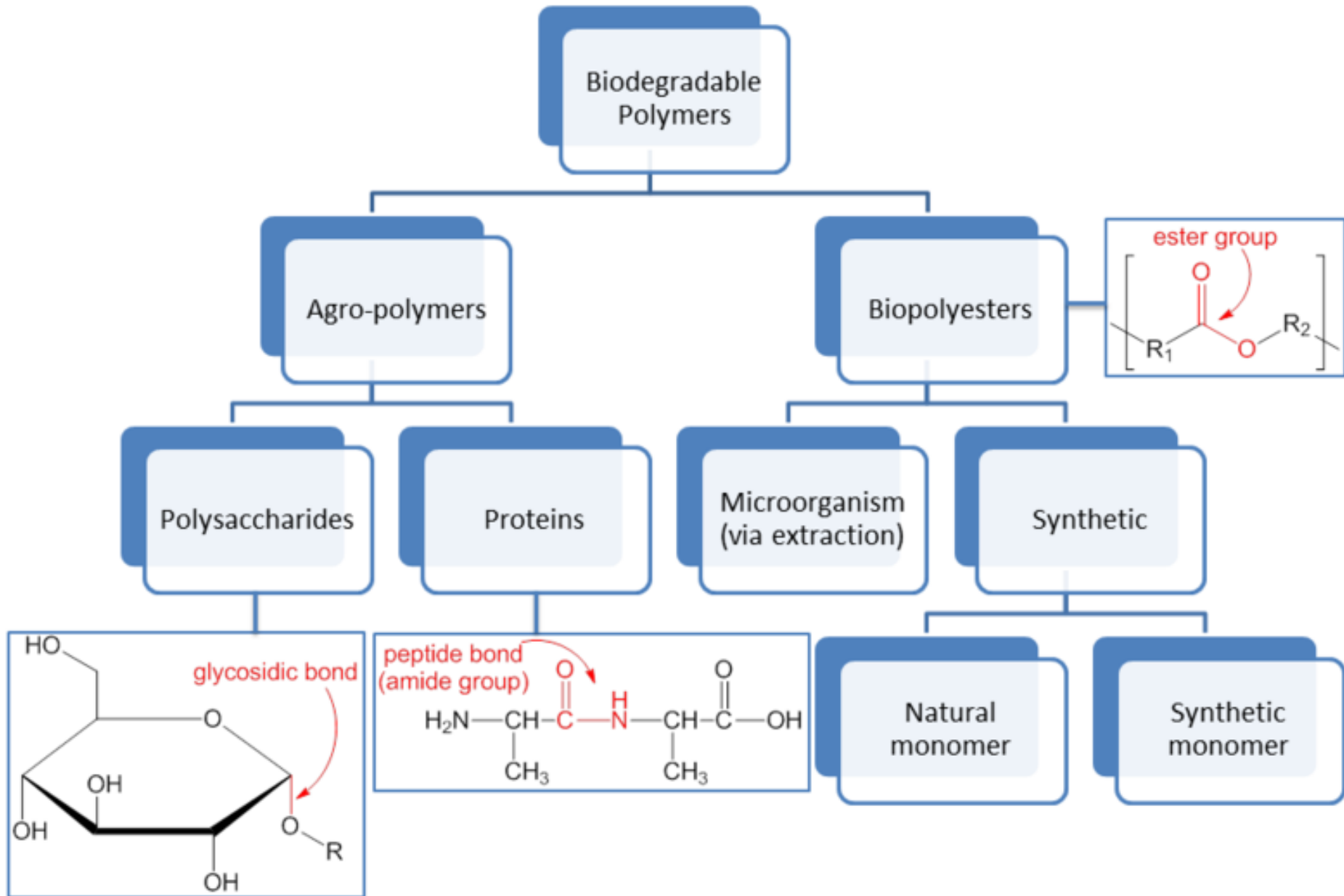


*Suturas hechas de ácido poliglicólico.*



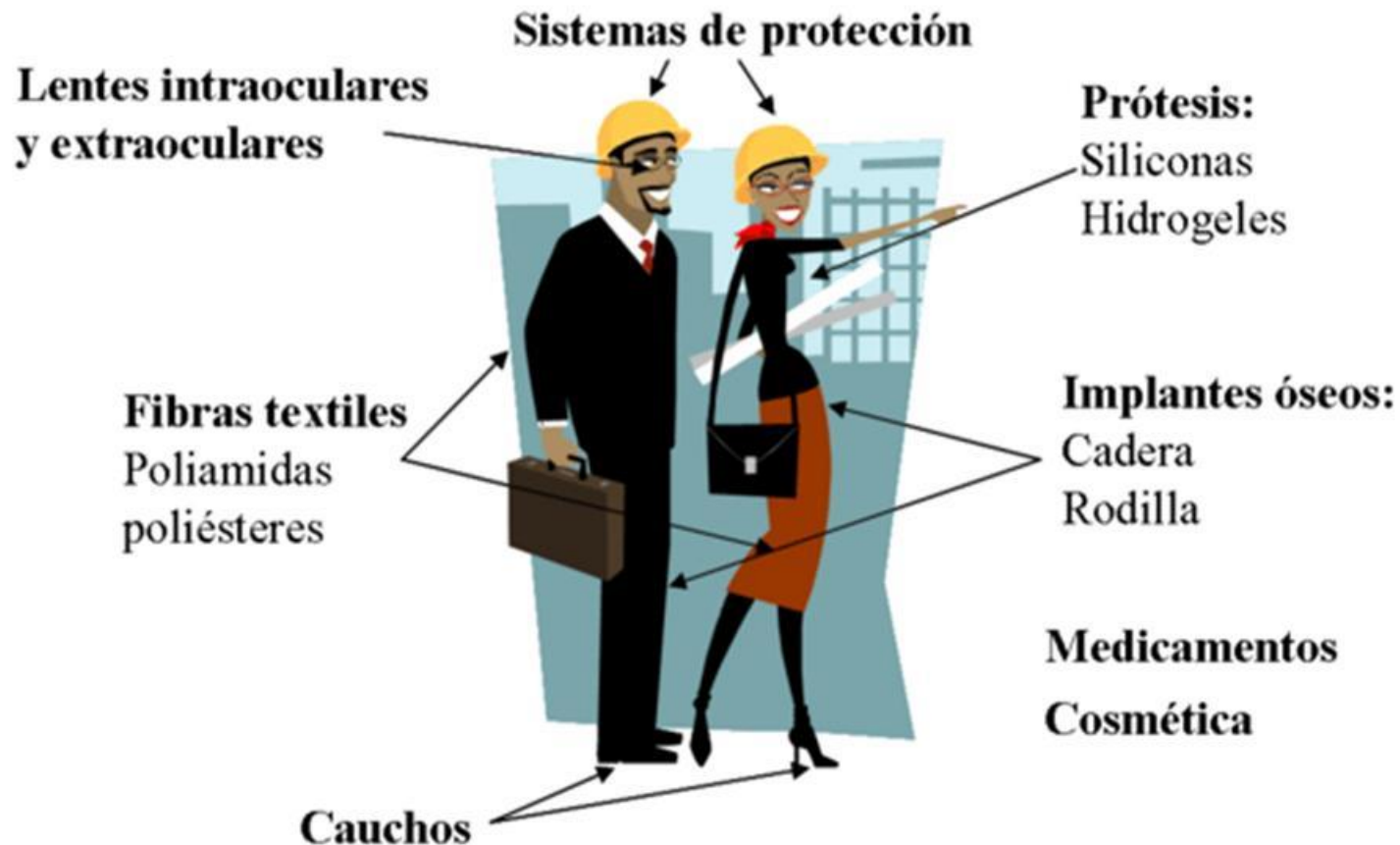
*Bolsa de basura hecha a base de poli- ácido láctico.*





# Composites biocompatibles

La **biocompatibilidad** es la habilidad que tiene un material de ser aceptado por el cuerpo de un ser vivo, de tal modo que no irrite a los tejidos circundantes, no provoque una respuesta inflamatoria, no produzca reacciones alérgicas y que no tenga efectos carcinogénicos, o sea, que no produzca cáncer.



# Materiales compuestos de matriz cerámica

**Matrices más comunes: SiC, ZrC, HfC, TiC, TaC y NbC**

**Ejemplos:**

**Fibras de carbono (Cf) en carburo de circonio (ZrC)  
Resiste ambientes oxidantes a temp. > 1940°C**

**Fibras de carbono en carburo de hafnio (HfC)  
Resiste ambientes oxidantes a temp. > 2200°C**

**El HfC es uno de los compuestos refractarios más conocidos, con un punto de fusión de 3890 °C.**



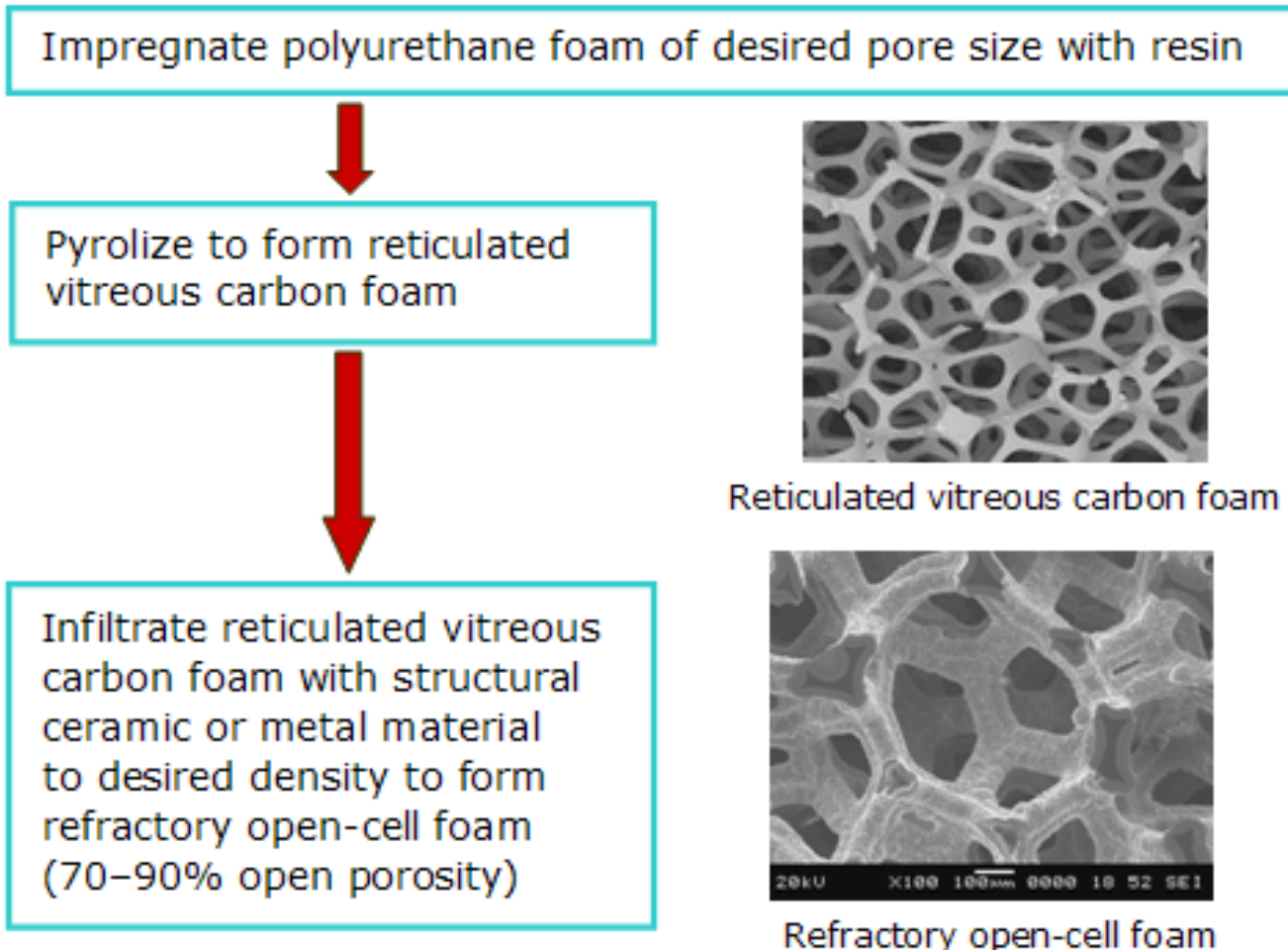
*Cámara de combustión  
hecha de Cf-HfC.*

*Fuente: [www.ultramet.com](http://www.ultramet.com)*

# Materiales compuestos de matriz cerámica

Las **espumas refractarias** son materiales de baja densidad con estructuras porosas ligeras, que actualmente se emplean en aplicaciones aeroespaciales e industriales.

Fabricación (Fuente: [www.ultramet.com](http://www.ultramet.com)):





# Aerogel

Material coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad ( $3 \text{ kg/m}^3$ ) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico.

**Aerogeles Inorgánicos:** basados en óxidos metálicos como dióxido de silicio.

**Aerogeles Orgánicos:** Presentan una estructura basada en polímeros orgánicos. Los más estudiados son los RF obtenidos por policondensación de (resorcinol con formaldehído) y MF (melamina con formaldehído).

**Aerogeles de Carbono :** Poseen una estructura desordenada de carbono  $\text{sp}^2$ , son los únicos que conducen la corriente eléctrica, se obtienen de la carbonización de aerogeles orgánicos mediante un proceso de pirólisis a  $T$  superiores a  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  e inferiores a  $2100 \text{ }^\circ\text{C}$ , pues a  $T$  mayores se pierden las características del aerogel.



Ver: <https://www.sciencealert.com/you-can-now-3d-print-one-of-the-world-s-lightest-materials-aerogel>



## You Can Now 3D Print The World's Lightest Material - Graphene Aerogel

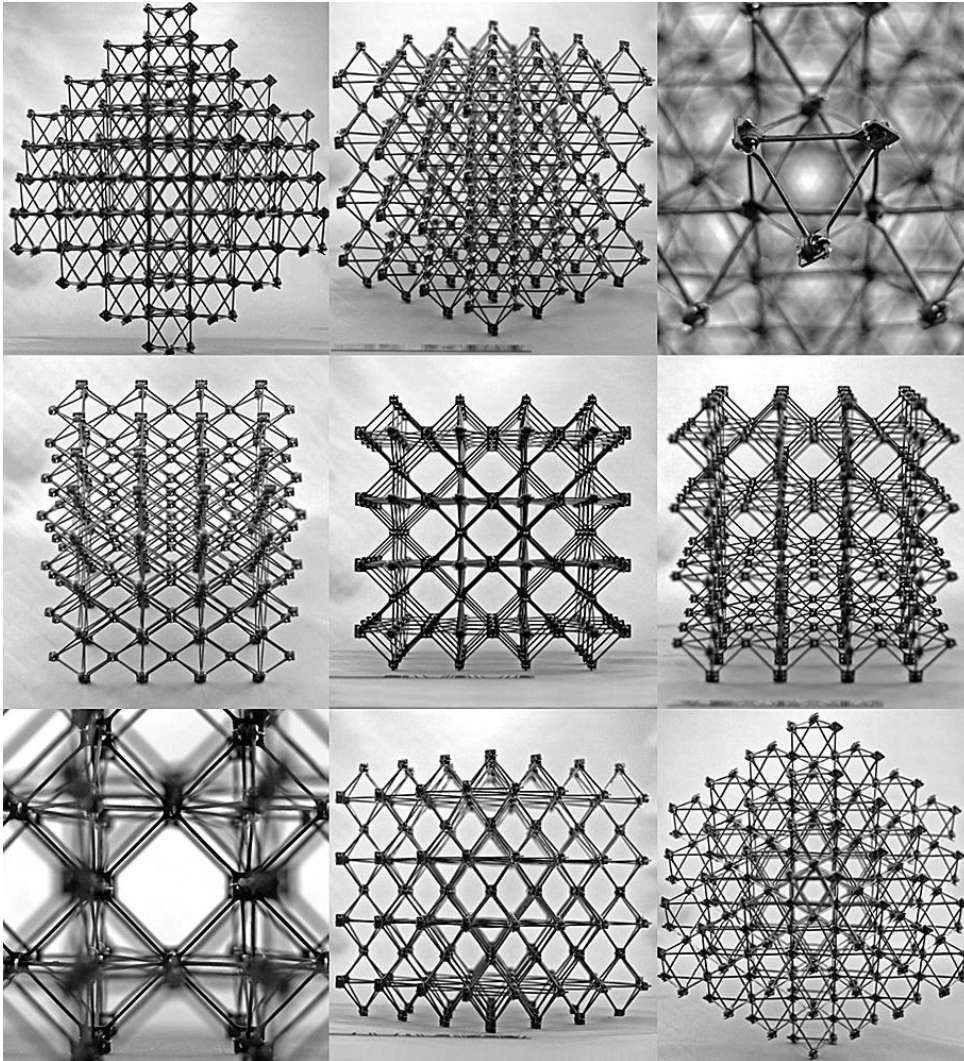
YES PLEASE.

BEC CREW 3 MAR 2016

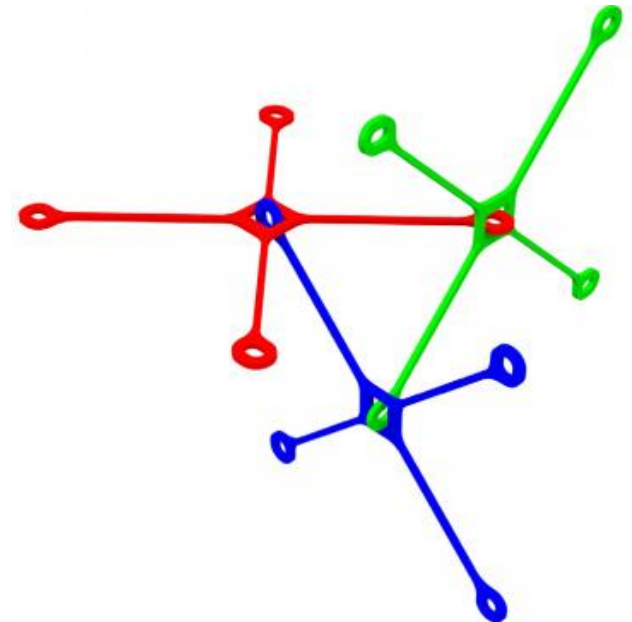


It's 7.5 times lighter than air, and a cubic metre of the stuff weighs just 160 grams. It's 12 percent lighter than the second lightest material in the world - aerographite - and you can balance a few cubic centimetres of the stuff on a dandelion head. Water is about 1,000 times as dense.

Fuente: [www.extremetech.com](http://www.extremetech.com) (Agosto de 2013)



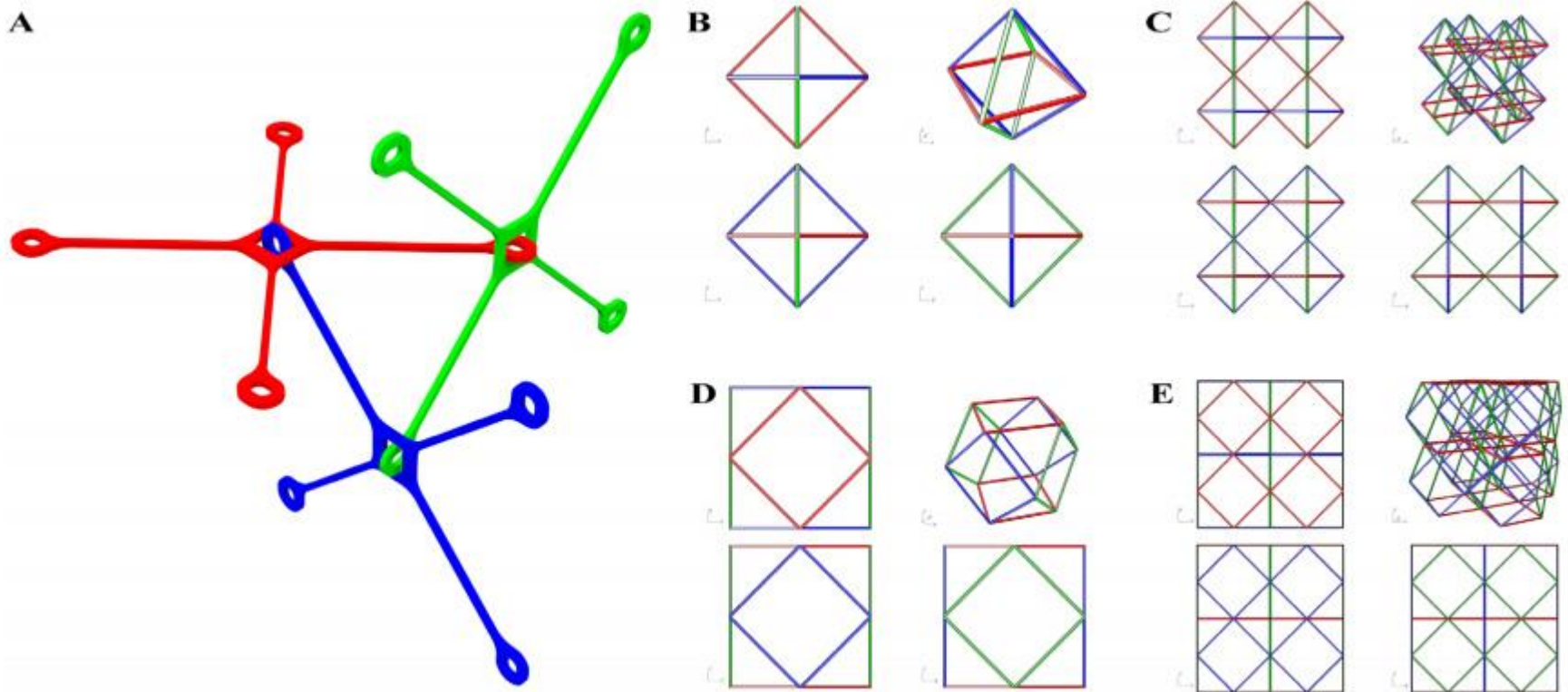
**El MIT ideó bloques tipo “Lego”, hechos a base de fibras de carbono, idea que podría usarse para crear aviones, cohetes o puentes.**





Fuente: [www.extremetech.com](http://www.extremetech.com) (Agosto de 2013)

**Cada bloque está hecho de fibras de carbono impregnadas con resina epoxi, y tiene forma de X**



**¿Podrías hacer tu avión con una impresora 3D?**