

## EL FUTURO DEL PETRÓLEO

**Esta lectura explica qué es la gasolina, qué componentes tiene y los esfuerzos que hace la industria química para mejorar las cualidades. También se habla de una alternativa a las gasolinas cómo son los biocombustibles.**



**Les petroquímicas. ¿Qué obtenemos del petróleo?**

La figura 1 muestra el esquema de una instalación petroquímica.

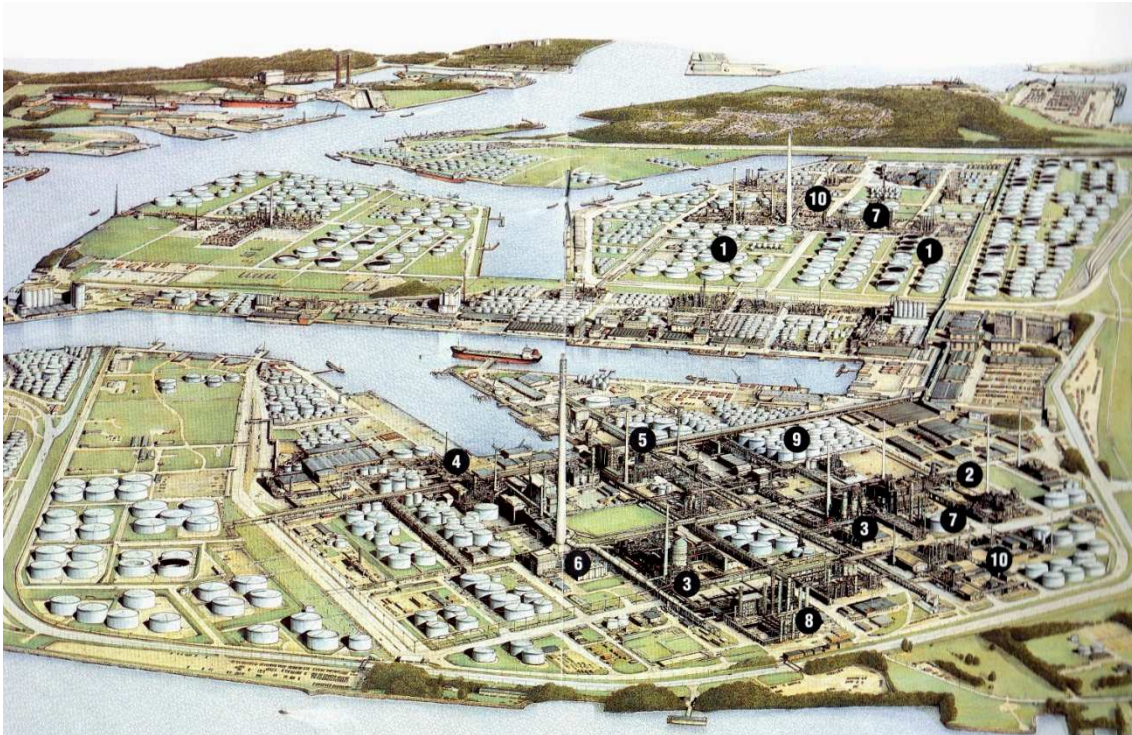


Figura 1: 1 Unidades de destilación; 2 Unidades de destilación al vacío; 3, 4 i 5 Unidades de cracking; 6 Unidad de manufacturación de hidrógeno; 7 Unidad de reformado; 8: Unidad de alquilación; 9: Aceites lubricantes; 10 Hidrodesulfuradores

Del crudo del petróleo, la industria química extrae una gran diversidad de productos y materiales:



Mientras tengamos petróleo a precios relativamente asequibles,



Del crudo del petróleo, se obtienen productos, a partir de los cuales se fabrican...



En muchos hogares la calefacción y cocinar son posibles gracias al butano, un producto derivado del petróleo



El Kevlar es un polímero de alta resistencia para los profesionales del peligro

## El futuro del petróleo

El crudo de petróleo proporciona los materiales de partida —o materias primas— para la industria petroquímica. Por ejemplo, se usa en la fabricación de fibras sintéticas, detergentes y productos farmacéuticos. A medida que las reservas vayan agotándose, los derivados del petróleo serán demasiado valiosos como para quemarlos a los motores de los coches. Algunos piensan que estamos cometiendo un error histórico al quemar algo tan valioso. Las generaciones futuras dirán: “a finales del siglo XX y principios del XXI prácticamente casi todas las sustancias obtenidas del petróleo se utilizaban para ser quemadas a los motores de diferentes vehículos y máquinas”.

### La gasolina: un combustible popular con inconvenientes

En el futuro probablemente se sustituirá la gasolina por otros combustibles. El gas butano ya es un combustible empleado en algunos vehículos. Pero, por ahora, casi todos los vehículos de transporte sean automóviles, barcos o aviones, queman gasolina, gasóleo o fuel-oil en los motores de combustión. La razón es el enorme poder calorífico de estos combustibles. Un litro de gasolina proporciona, cuando se quema, una energía de 34.000.000 J.

La gasolina es una fuente de energía altamente concentrada. Si además tenemos en cuenta como de fácil y económico es, relativamente, construir motores de gasolina, no es nada de extraño, pues, que la gasolina sea tan popular.

La gasolina tiene el inconveniente que es un recurso no renovable porque las reservas de petróleo son limitadas. Probablemente no durarán más de 100 años. Necesitamos el petróleo para otros cosas además de para producir gasolina. Otro de los inconvenientes de la gasolina es la contaminación que origina. Cuando se quema produce dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , que es la causa principal del efecto invernadero. Actualmente todos los vehículos indican su producción de  $\text{CO}_2$  por cada kilómetro recorrido. Saber calcular la demasiada y el volumen de  $\text{CO}_2$  generado por un motor de gasolina es importante, por eso hay que conocer la reacción que se produce entre el combustible y el oxígeno y saber trabajar con las ecuaciones químicas

### Gases: cómo tratarlos. Las leyes de los gases ideales

El gas butano ya es un combustible empleado en algunos vehículos. Muchos autobuses funcionan con gas metano o gas natural. Pero los gases tienen el inconveniente de que hay que comprimirlos para tener una demasiada suficiente para hacer que el vehículo tenga suficiente autonomía. El autobús de la figura 2, trae los depósitos de gas natural, el hidrocarburo metano, en el techo. El gas se transporta a altas presiones, de forma que en un volumen no demasiado grande, se puede transportar una demasiada suficiente para tener una autonomía de muchos kilómetros.

*Figura 2 El 30% dels autobusos de Barcelona usen gas metà com a combustible. El dipòsit el porten al sostre*

Para saber la relación entre el volumen de un gas, la presión a que está comprimido y la temperatura, hay que conocer las leyes de los gases



---

### ¿Qué es la gasolina?

La gasolina es una mezcla compleja de unos 100 componentes diferentes, hidrocarburos la mayor parte de ellos. La fracción llamada gasolina se obtiene por destilación fraccionada del petróleo crudo en una torre

## El futuro del petróleo

de destilación primaria. Esta fracción acontece entre el 15% y el 30% del crudo original, y es una mezcla de líquidos, alcanos entre cinco y diez átomos de carbono. Destila en el intervalo 20°C – 180°C.

Nombre de la fracción	Rango de ebullición /°C	Composición	% de petróleo crudo	Uso
gas de refinería	< 20	C <sub>1</sub> - C <sub>4</sub>	1 - 2	combustibles gaseosos y mezclas de materias delgadas del petróleo para productos químicos orgánicos
gasolina/nafta	20 - 180	C <sub>5</sub> - C <sub>10</sub>	15 - 30	combustible para automóviles (gasolina); producción de productos químicos orgánicos (*nafta)
queroseno	160 - 250	C <sub>10</sub> - C <sub>16</sub>	10 - 15	combustible para aviones a reacción; motores a reacción; combustible para calefacciones
gas-oil	220 - 370	C <sub>13</sub> - C <sub>25</sub>	15 - 20	gas-oil para motores diesel; combustible para calefacción
residuo	> 370	> C <sub>25</sub>	40 - 50	fuel oil para calefacción (p.e. centrales térmicas); lubricantes y ceras; betún o asfalto para carreteras y tejados

*Productos obtenidos en la destilación fraccionada del crudo de petróleo*

Existe una gran demanda para la fracción de gasolina. Parte de ella se trata en las refinerías para producir y mejorar los combustibles para motores. El resto —llamado nafta— se utiliza como materia delgada en diferentes procesos petroquímicos para la producción otras sustancias orgánicas de interés. La gasolina tal como sale de la destilación primaria no es un combustible de calidad. La función de la refinería consiste al convertirla en una mezcla de composición y propiedades adecuadas. Por eso hay que modificar de varias formas la serie de alcanos presente. Además, las fracciones más pesadas —queroseno y gas-oil— se rompen (cracking) para producir moléculas más pequeñas que se utilizarán como componentes extra de la gasolina.

El residuo también puede utilizarse para producir gasolina, pero primero se destila de nuevo, esta vez a baja presión (destilación al vacío). De este modo se evitan las altas temperaturas que serían necesarias trabajando a presión atmosférica y que provocarían el cracking de los hidrocarburos. Se destilen primero los componentes más volátiles, dejando un residuo de alquitrán. Los productos pueden utilizarse en centrales eléctricas, en calderas de barcos o someterse a “cracking” para producir más gasolina. Como resultado de los procesos que acontecen a la refinería, la gasolina que se obtiene no contiene sólo alcanos, sino también otros tipos de hidrocarburos como por ejemplo los cicloalcanos, que contienen sortijas; alquenos que contienen un doble enlace, C = C, e hidrocarburos aromáticos que contienen un anillo bencénico.

### Gasolina de invierno y de verano

Aproximadamente entre el 30 y el 40% de cada barril de crudo se destina a la fabricación de gasolina. El proceso no es tan simple como destilar en la refinería la parte correspondiente y enviarla a las gasolineras. Además, los componentes de la gasolina tienen que mezclarse en las proporciones adecuadas para conseguir las propiedades deseadas. Una propiedad importante es la volatilidad.

A los cilindros del motor de un automóvil se quema una mezcla de aire y vapor de gasolina. La mezcla vapor-aire se produce al carburador. Cuando el tiempo es muy frío resulta difícil evaporizar la gasolina y por eso nos cuesta poner en marcha el motor.

Para evitar este problema, las compañías petrolíferas preparan diferentes mezclas para cada época del año. En invierno se aumenta la proporción de componentes volátiles para facilitar su vaporización, esto significa aumentar la proporción de hidrocarburos de cadena corta como por ejemplo butano y pentano. Por otro lado, cuando el tiempo es caluroso no son deseables demasiados componentes volátiles porque la gasolina se evaporizaría con mucha facilidad. Parte de la gasolina contenida al depósito se evaporaría, lo cual, además de ser cara, produce mucha contaminación. Además, cuando se evapora una cantidad significativa de gasolina se forman bolsas de vapor al sistema de suministro de combustible, con lo cual la bomba de gasolina impulsa una mezcla de líquido y vapor, en lugar de ser casi todo líquido y, así, no llega suficiente combustible al motor para hacerlo funcionar, fenómeno conocido como *vapour lock* (cierre por vapor, ahogado).

Cualquier gasolina es una mezcla de hidrocarburos de alta, media y baja volatilidad. Cuánto más frío sea el clima, mayor proporción de componentes volátiles tiene que contener la mezcla. Las compañías petrolíferas cambian la composición de la mezcla cuatro veces al año, y tú no te das cuenta, pero lo notarías si no lo hacen.

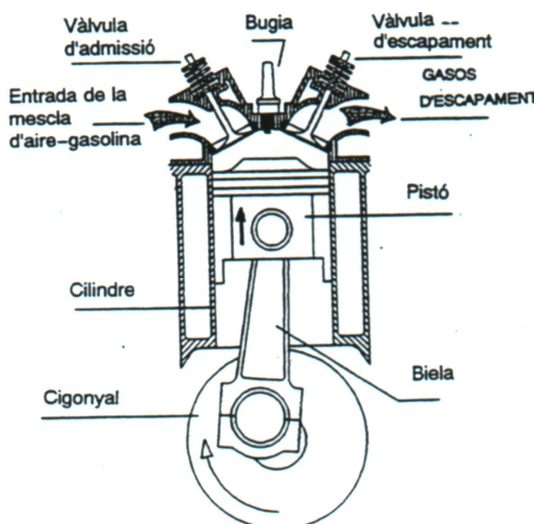
### El problema de “picar biela”

Otra propiedad importante de las gasolinas que tienen que tener en cuenta las personas que preparan las mezclas es el índice de octano, que es una medida de la tendencia de la gasolina a “picar biela”, problema producido cuando la gasolina se autoenciende antes de llegar a la máxima compresión.

En un motor de gasolina, la mezcla aire-combustible tiene que lograr el punto de ignición a su tiempo, en general, un instante antes de que el pistón alcance el punto más alto de su recorrido -punto muerto- por el interior del cilindro.

Cuánto más se comprime la mezcla aire-combustible en el interior del cilindro, mayor es la temperatura. Una de las razones por las cuales el rendimiento de los vehículos modernos es superior al de los antiguos es porque utilizan elevadas relaciones de compresión: los gases en el interior del cilindro se comprimen aproximadamente hasta 1/10 de su volumen inicial.

Bajo estas condiciones, muchos hidrocarburos pueden sufrir autoencendido. La mezcla aire-combustible se inflama al ser comprendida. En este caso tienen lugar dos explosiones, una debida al autoencendido y otra provocada por la chispa de la bujía, cosa que produce un sonido característico al motor, conocido como “picado de biela”. El empujón debido a la expansión de los gases ya no se produce al momento adecuado, cosa que hace disminuir el rendimiento del motor, a banda que pueden echarse a perder el interior del cilindro, los rodamientos de la biela y el cigüeñal.

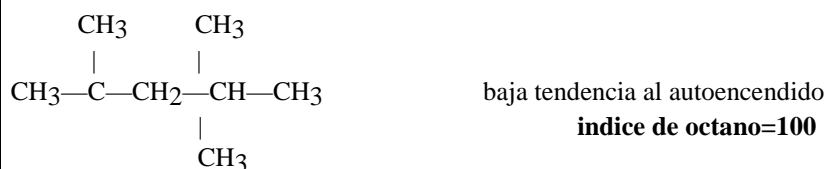


Esquema de trabajo de un motor de cuatro tiempos. Se muestra la etapa de compresión. Se cierra la válvula de admisión. El pistón comprime la mezcla gasolina-aire y, entonces, la bujía provoca su ignición mediante una chispa, con lo cual el pistón baja y la biela hace girar el cigüeñal.

### Índice de OCTANO

La tendencia de un combustible al autoencendido se mide mediante su índice de octano. El 2,2,4-trimetilpentano (que solía denominarse "iso octano", de aquí el nombre de la escalera) es un alcano ramificado con poca tendencia a la autoencendido. Se le asigna el índice de octano 100. Al heptano, un alcano de cadena lineal que sufre autoencendido muy fácilmente, se le asigna índice de octano 0.

El índice de octano de una gasolina es el porcentaje de 2,2,4-trimetilpentano, que habría en una mezcla de este, y de heptano, que sufrirá autoencendido, trabajando con la misma relación de compresión que la gasolina que se considera. Por ejemplo, la gasolina "extra" tiene un índice de octano de 97, y sufriría autoencendido a la misma relación de compresión que una mezcla del 97% de 2,2,4-trimetilpentano y 3% de heptano.



*2,2,4-trimetilpentano*



*heptano*

tendencia al autoencendido  
**índice de octano=0**

### Fabricación de la gasolina: cómo conseguir el índice de octano apropiado

Las relaciones de compresión varían según el tipo de automóvil. Los motores de alto rendimiento normalmente la tienen elevada, por eso requieren combustibles de alto índice de octano; de otra forma se produciría el "picado de biela" y el motor sufriría. Hay dos formas de luchar contra este problema. Una de ellas es añadir al combustible aditivos especiales que contrarrestan el autoencendido. La otra consiste en añadir a la gasolina ordinaria compuestos de alto índice de octano.

### Refinamiento y mezclas

Los hidrocarburos que proporcionan mejor rendimiento en un motor de gasolina no son los más abundantes en el crudo. Por eso, el trabajo de la refinería consiste en "modificarlos" para adaptarlos a nuestras necesidades.

Principalmente se trata de conseguir los tipos adecuados de alcanos, aunque también sean importantes otros tipos de hidrocarburos y de compuestos oxigenados, como ya veremos más adelante.

#### ¿Qué alcanos?

La estructura de los alcanos influye mucho en su tendencia al autoencendido; es decir, en su índice de octano. En general, cuánto más corta sea la molécula de los alcanos, es decir, la distribución de los átomos de carbono en las moléculas de los alcanos, más elevado será su índice de octano. Por supuesto los alcanos de cadena corta son también los más volátiles, de forma que pueden utilizarse tanto para aumentar el índice de octano, como para mejorar la puesta en marcha en frío. Incluso, pueden utilizarse alcanos gaseosos como el butano, disueltos en la gasolina.

## El futuro del petróleo

Pero quienes preparan las mezclas de gasolinas tienen limitado el número de alcanos de cadena corta que pueden incorporar: su exceso haría la mezcla demasiado volátil.

El otro factor que afecta al índice de octano es el grado de ramificación (cadenas laterales) de las cadenas de los alcanos. En general, cuánto más ramificada sea la cadena, mayor será el índice de octano.

El crudo contiene dos tipos de alcanos: los de cadena lineal y los de cadena ramificada.

Desgraciadamente, no se puede utilizar con relaciones de compresión que favorezcan un mejor rendimiento, porque no contienen isómeros de cadena ramificada suficientes para que su índice de octano sea muy alto. Su valor es aproximadamente de 70 para la gasolina sin aditivos.

Las compañías petrolíferas utilizan varios procedimientos para evitar estos inconvenientes y elevar el índice de octano. Entre ellos están la isomerización, el reformado y el cracking.

### ¿Los biocarburantes: el futuro está en las plantas?

Cómo ya sabes, las grasas son sustancias muy energéticas. Las grasas de origen vegetales son los aceites y muchas entonces de plantas oleaginosas tienen aceites. ¿Porque no usar estos aceites como combustibles?

Al igual que los aceites, también el etanol es un producto que se obtiene a partir de las plantas y se usa como combustible. Los combustibles líquidos obtenidos a partir de productos agrícolas se denominan biocarburantes.

Hay dos clases de biocarburantes: los bioalcoholes como el etanol y su derivado, el etilercibutiléter (ETBE)

El etanol se obtiene por un proceso de fermentación de restos de vegetales ricos en azúcar (principalmente caña de azúcar y acelga-rábano) o en almidón (básicamente cereales, mandioca y patatas). El éter derivado del etanol, el ETBE se obtiene por reacción de la isobuteno con etanol según la siguiente reacción:



La otra clase de biocarburantes son los aceites obtenidos a partir de los cultivos de entonces como por ejemplo la colza, la soja y lo gira-solo. Estos aceites pueden usarse sin refinar mezclándolos en pequeña proporción con gas-oil o modificar su molécula mediante un proceso químico y obtener un combustible más adecuado por los motores.

### Los aceites como combustibles

Nuestra manera de cocinar tiene como base el aceite de oliva, pero en todo el mundo la producción de aceites tiene como finalidad no sólo la alimentación humana si no la elaboración de piensos para el ganado la fabricación de jabones, de cosméticos y quizás en un futuro inmediato, la producción de combustibles.

El aceite de más producción en todo el mundo es el de soja y después, el de colza.

Los aceites son ésteres obtenidos a partir de un ácido carboxílico y un alcohol de tres grupos hidróxido: la glicerina.

La reacción general de formación de un éster es:



El compuesto obtenido pertenece a la familia de los \*ésteres. Esta reacción se denomina una esterificación. En la naturaleza los \*ésteres son los compuestos responsables del olor de las frutas y de bebidas como los vinos envejecidos y los licores

### ¿Por qué no usar directamente el aceite de colza como combustible?

Uno de los motivos es que su viscosidad a 20°C es unas 15 veces superior a la del gas-oil y a la de su ester metílico, los combustibles más semejantes en poder calorífico. Esta característica impediría fluir con la suficiente rapidez al aceite desde el depósito de combustible al motor además de obturar las válvulas inyectoras. La viscosidad se debe a fuerzas entre las moléculas.

Otros motivos son la muy baja volatilidad de este aceite y la facilidad con que la mezcla con aire se autoinflama, es decir, el bajo índice de octano que tiene.

Pero el motivo fundamental que impide que los aceites vegetales se usen directamente como combustibles, radica en el grupo funcional éster de su molécula. Cuando el aceite se quema, se originan compuestos como la acroleína, que tiene un grupo funcional aldehído y varios polialcoholes. La acroleína es el compuesto responsable del olor desagradable del aceite quemado y es tóxico.

Todos estos inconvenientes se solucionan convirtiendo el aceite vegetal en un éster metílico o etílico, mediante una reacción química llamada transesterificación. En esta reacción a partir de un triglicérido se obtienen 3 moléculas de un éster y 1 molécula de glicerina.

La glicerina que se obtiene como producto residual se utiliza en muy diversas aplicaciones, desde la industria de cosméticos, los fármacos, las pinturas, las bebidas y los explosivos. Sólo en Europa la industria necesita más de 200.000 toneladas al año de glicerina.

Como resultado del proceso de esterificación del aceite vegetal, se obtiene un éster con propiedades como combustible muy parecidas a las del gas-oil.

En la tabla siguiente se comparan los parámetros principales del aceite de colza, del éster metílico, obtenido a partir del aceite de colza y de varios combustibles.

PROPIEDADES	COLZA	ESTER METÍLICO DE LA COLZA	GASOLINA	ETANOL	ETBE	GAS-OIL
Densidad a 15°C / g.cm <sup>3</sup>	0,92	0,88	de 0,72 a 0,77	0,79	0,74	0,84
Poder calorífico / MJ L <sup>-1</sup>	34,3	35,2	32,0	21,3	26,6	38,5

Actualmente, en Europa, el desarrollo de los biocarburantes está en una doble fase de estudio: estudio de sus propiedades y mejora de sus características y operaciones de demostración sobre vehículos de transporte público. Se han hecho varias pruebas en las ciudades de Vic, Mataró y Barcelona, se ha suministrado biocarburantes derivados de aceites a autobuses durante unos meses con plena satisfacción; entre otros resultados positivos, la emisión de gases por el tubo de escape ha estado entre un 35% y un 90% inferior a cuando el combustible era el gas-oil. Los vehículos consumieron un 10% más que cuando iban con gas-oil. Sólo se comprobó que el desgaste de los manguitos de caucho era muy superior. En un futuro cercano, el panorama agrícola de nuestros cultivos será parecido al actual, pero muchas de las cosechas no irán a nuestros estómagos, sino a los motores de nuestros vehículos.

### ¿Por qué algunos combustibles son líquidos y otros gases? Fuerzas entre las moléculas

A la unidad "Los elementos de la vida" estudiaste de qué manera un enlace covalente mantiene unidos los átomos para formar una molécula. A temperatura ambiente, algunas sustancias formadas por moléculas

## El futuro del petróleo

son gaseosas, otras son líquidas y algunas son sólidas. ¿Qué es el que determina que una sustancia molecular sea un gas, un líquido o un sólido?

Muchos de los gases de la atmósfera de la Tierra existen como moléculas formadas por átomos unidos con enlace covalente ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ )- Los gases nobles (Ne, Ar) existen como átomos simples.

En un líquido o en sólido, hay fuerzas de atracción, si no existieran estas fuerzas que unen las moléculas, las sustancias serían gases. Estas fuerzas entre moléculas se denominan enlaces intermoleculares

Si la temperatura es suficiente baja, todas las sustancias solidifican, por más baja que sea su temperatura de fusión o de solidificación. Cuando un sólido funde y más tarde hierve, se rompen los enlaces intermoleculares. Todos los enlaces covalentes en la molécula permanecen intactas. (Figura 12)

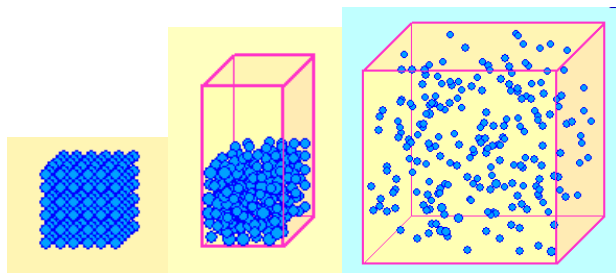


Figura 12 Al calentar una sustancia molecular, cambia de sólido a líquido y después a gas. La energía suministrada sirve para vencer las fuerzas intermoleculares, no los enlaces covalentes entre los átomos de la molécula

Elemento	Temperatura ebullición (K)	Alcano	Temperatura ebullición (K)
He	4	hexano	342
Ne	27	3 metilpentano	336
Ar	87	2 metilpentano	333
Kr	121	2,3 dimetilbutano	331
Xe	166	2,2 dimetilbutano	323

Taula 5 temperaturas de ebullición de los gases nobles y de algunos alcanos

Cuando los gases nobles pasan de líquido a gas, se necesita energía para separar los átomos. Puesto que en los gases nobles no hay enlaces covalentes, tienen que existir ciertas fuerzas que mantengan unidos los átomos.

Dichas fuerzas serán mucho más débiles que los enlaces covalentes.

Existe una tendencia en estas temperaturas de ebullición: el isómero con la cadena de carbonos no ramificada tiene el punto de ebullición máximo y el de la cadena más ramificada tiene el mínimo. Entre las moléculas de cadena lineal tienen que existir fuerzas más intensas que entre las moléculas de cadena ramificada. Se necesita más energía y, por lo tanto, mayores temperaturas para vencerlas de forma que las moléculas del alcano quedan libres. Para entender cómo se originan las fuerzas intermoleculares en el caso de los alcanos y cómo afectan a los tamaños relativos de sus moléculas, tenemos que tener en cuenta si existe una distribución de carga eléctrica en las moléculas, recibiendo pues estas el nombre de dipolos.

## ¿Qué más podemos sacar del petróleo?

### **Del eteno al poli(eteno). Un descubrimiento accidental**

El 1930, la industria química ICI del Reino Unido, emprendió un programa de investigación sobre el desarrollo de procesos a elevadas temperaturas y presiones con el objetivo de diseñar nuevos colorantes. Sus resultados no fueron satisfactorios y el proyecto fue finalmente abandonado.

El trabajo del equipo de investigación se orientó entonces hacia el campo de las reacciones gaseosas a presiones elevadas. El viernes 24 de marzo de 1933, dos químicos llevaron a cabo la reacción entre el eteno y el benzaldehído a una presión cercana a las 2.000 atmósferas. Ambos investigadores esperaban obtener una cetona a partir de los dos productos mencionados.

Dejaron reaccionar la mezcla durante todo el fin de semana, pero el montaje debía de tener algún escape y en un momento determinado tuvieron que añadir una cantidad adicional de eteno.

Abrieron el matraz el lunes siguiente y encontraron una sustancia blanca de aspecto cerio. Lo analizaron y comprobaron que su fórmula empírica era  $\text{CH}_2$ . Al intentar reproducir el experimento, no fueron capaces de repetir los mismos resultados: algunas veces obtenían el sólido blanco descrito y en otras ocasiones tenían peor suerte, hasta el punto que la mezcla explotaba dejándolos enmascarados de hollín. El trabajo fue interrumpido en julio de 1933 debido al carácter irreproducible y peligroso de la reacción.

En diciembre de 1935 los mismos químicos retomaron el trabajo y encontraron la manera de controlar el calor después en la reacción añadiendo eteno frío a un ritmo adecuado. De esta forma se regulaba la temperatura de la mezcla y se prevenía la posibilidad de explosión. También observaron que podían controlar la velocidad de reacción y la demasiada molar del producto sólido obtenido haciendo variar la presión. Un mes más tarde disponían ya de la suficiente cantidad de material como para fundirlo, amoldarlo y utilizarlo como aislante. ¡Habían sintetizado el primero polímero artificial de la historia de la química!

El más decisivo de todo fue la identificación del papel del oxígeno en el proceso. Si el oxígeno no se encontraba presente, la polimerización no tenía lugar; aun así, un exceso de oxígeno impedía mantener bajo control la reacción. La estrategia consistía, por lo tanto, a añadir la cantidad justa de oxígeno. Esto explica el papel que tuvo el escape que había al montaje inicial, que permitió la entrada de una pequeña cantidad de oxígeno, sin la cual el descubrimiento del polietileno no se habría producido.

El polieteno (Figura 43) (o politeno, como se lo denomina habitualmente) es resistente, duradero y posee unas excelentes calidades como aislante eléctrico. A diferencia del caucho, utilizado anteriormente como aislante de cables, el polietileno no es afectado por el agua ni por los agentes atmosféricos, ni absorbe señales eléctricas, lo cual fue decisiva para su uso como aislante en cables telefónicos. Sus peculiares propiedades eléctricas también fueron determinantes en el desarrollo del radar durante la Segunda Guerra Mundial.

### **Distintos tipos de polímeros sintéticos orgánicos según sus aplicaciones: fibras, plásticos y elastómeros**

Las propiedades de los polímeros varían ampliamente. Los polímeros blandos y elásticos, que pueden ser deformados y recuperar su forma inicial, son denominados elastómeros. El caucho es un elastómero.

El polietileno no es tan elástico, y cuando se deforma por encima de un cierto límite, tiende a conservar la forma adquirida, experimentando así una deformación plástica permanente. Las sustancias que se comportan de esta forma se denominan plásticos.

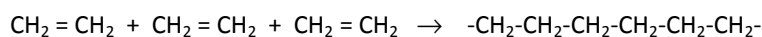
Los polímeros más fuertes, que no se deforman fácilmente, son precisamente los que se utilizan en la industria textil y pueden prepararse en forma de fibras resistentes que pueden tejerse. Estos polímeros constituyen las llamadas fibras sintéticas, como el nilón. Esta clasificación no puede aceptarse de una forma demasiado rígida: algunos polímeros como el polipropileno o el polietileno, utilizados muchas veces para fabricar objetos rígidos o láminas, poseen unas propiedades que permiten su utilización para obtener fibras con las cuales tejer esteras y tapices.

### Haciendo y deshaciendo polímeros...

#### Las reacciones de polimerización

Polimerización por adición

La reacción puede ser resumida en:



*eteno*

*polieteno*

La reacción requiere la presencia de algún catalizador. En el proceso original desarrollado por la industria química ICI, el catalizador utilizado fue el O<sub>2</sub>, pero habitualmente se utiliza un peróxido orgánico. En el mecanismo de reacción intervienen radicales, siendo el catalizador el que los proporciona porque se inicia la reacción

El polietileno producido por esta reacción es que denominamos polietileno de baja densidad (\*LDPE). A nivel molecular, es una estructura muy irregular, con cadenas muy ramificadas. Por eso, difícilmente podían alinearse de una forma definida, se enrollan aleatoriamente y forman un complicado lío. Este tipo de estructura da lugar, obviamente, a que, a igualdad de demasiado, el volumen ocupado sea mayor que si las cadenas se dispusieran de una forma ordenada y, por lo tanto, más juntas unas de las otras, obteniéndose, consecuentemente, un material de menor densidad. Esta estructura relativamente desorganizada y abierta también comporta una disminución en la resistencia mecánica del polietileno. El polietileno de alta densidad (HDPE) se utiliza a menudo para fabricar palanganas, bidones y tubos para conducciones. Es fuerte y fácilmente moldeable en formas complicadas: depósitos de combustible en automóviles, por ejemplo. A diferencia del LDPE, el polietileno de alta densidad no se deforma fácilmente al calentarlo y por eso tuvo un de sus primeros usos más característicos en la fabricación de recipientes para guardar alimentos. Cómo que mantienen su forma al calentarse pueden utilizarse en la fabricación de artículos que tengan que ser esterilizados, como por ejemplo los equipamientos sanitarios, cubiertos, etc.

Las propiedades físicas, de los polímeros no dependen tanto de cómo están constituidas las cadenas, sino de las interacciones entre estas y el tipo de empaquetamiento a que dan lugar. En este sentido, el descubrimiento del polietileno de alta densidad (\*HDPE) es un ejemplo mucho ilustrativo. La posibilidad de formación de enlaces entre las cadenas de polímeros, sean de dipolo inducido o de puentes de hidrógeno cuando la cadena contiene grupos —OH, es el que explica el comportamiento diferente de los polímeros cuando son sometidos a fuerzas de estiramiento o de compresión.

#### Polimerización por condensación: el nilón

El 1928 el químico norteamericano Wallace Carothers dirigía un equipo de investigación que tenía como objetivo la producción de polímeros para la elaboración de fibras sintéticas. Era precisamente en estos años que los científicos empezaban a tener una mayor comprensión de la estructura de los polímeros; de



este modo, Carothers dispuso de una fundamentación teórica para su trabajo. Se sabía que la lana y la seda poseían la estructura de las proteínas, que, en definitiva, son polímeros constituidos por el enlace peptídico. Los químicos también empezaron a descubrir que las fibras naturales estaban constituidas por moléculas muy largas y apretadas, como las de los polímeros sintéticos. La Figura siguiente muestra un fragmento de una cadena \*proteica de una fibra de seda.

\*Carothers no realizó sus descubrimientos accidentalmente, sino que llevó a

## El futuro del petróleo

cabo un intento sistemático de creación de nuevos polímeros. En una serie de experimentos decidió intentar producir polímeros sintéticos en los cuales las moléculas estuvieron formadas con una secuencia similar a la de las cadenas proteicas de la lana y la seda. En lugar de utilizar aminoácidos (elementos básicos de las mencionadas cadenas), Carothers partió de aminas y ácidos carboxílicos. El polímero sintetizado se comercializó con el nombre de NYLON (nilón)

Las aminas son compuestos orgánicos relacionados con el amoníaco. Sus estructuras son similares a las moléculas de amoníaco en las cuales grupos alquilo han sustituido un dos o los tres átomos de hidrógeno.

Las proteínas son también polímeros de condensación que contienen el grupo  $-\text{CONH}-$ . En las proteínas, este grupo se denomina grupo péptido, y los monómeros son los aminoácidos.

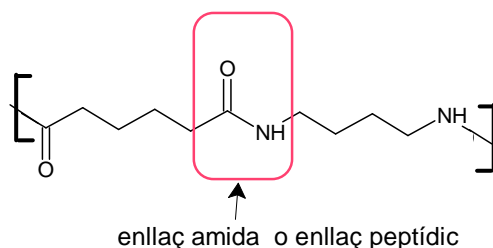


Figura 46 Múltiples usos del nilón, a la izquierda un anuncio de las primeras medias puestas a la venta el 1940. ¡El primer día, se vendieron 72.000 pares!

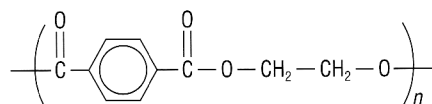
El año 1939 se comercializaron las primeras medias de nilón. En aquellos años, el nilón se usó sobre todo para fabricar los paracaídas por los soldados de la segunda guerra mundial. Posteriormente se sintetizaron muchas poliamidas.

El nilón se usa actualmente como fibra y también para sustituir piezas metálicas, como ruedas y engranajes y otros muchos usos, como cuerdas por guitarra (Figura 46). Sus propiedades son en parte debidas a que las cadenas de poliamida están unidas por enlaces de hidrógeno, mientras que las de polietileno, lo están por fuerzas de dipolo, más débiles.

El uso de tejidos de nilón presentaba un problema: las fibras son muy hidrófobas, es decir repelen el agua, por lo tanto la ropa y los vestidos de nilón no absorben la humedad corporal e impidiendo la evaporación del sudor, lo cual generaba una sensación muy desagradable. La investigación sobre las fibras de poliamida se dirigió entonces a intentar imitar las propiedades de las fibras naturales. Se desarrolló un proceso de obtención tal que se formaban numerosos poros entre las fibras de poliamida. La nueva fibra, fue bautizada Tactel. Esta fibra, es capaz de permitir que el agua en forma de vapor pase a través, pero impide el paso del agua líquida, de tal manera que permite la transpiración corporal, pero es impermeable.

### Más polímeros de condensación: los poliésteres

El más conocido de los poliésteres es el polietileno tereftalato, más conocido por las siglas PETO, la figura 47 representa un fragmento de la cadena de polímero, su nombre proviene de que la polimerización se hace por una reacción de esterificación entre un ácido dicarboxílico y el 1,2-etanodiol



En cirugía el hilo para coser es un poliéster, hecho a partir del ácido lácteo (ácido 2-hidroxipropiónico), la molécula de este monómero contiene el grupo —OH y el grupo ácido carboxílico. El poliéster forma hilos de elevada resistencia, que son los empleados para coser heridas, pero, en presencia de agua, se hidroliza y se deshace lentamente, dando productos inofensivos por el cuerpo.

### Del propeno a la aspirina: la síntesis de medicamentos

La industria farmacéutica actual, tiene sus orígenes en la cultura popular y en las tradiciones; dentro de la historia de la medicina abundan las hierbas y el remedios caseros.

Pero los medicamentos que son “productos naturales”, como los que provienen de las plantas, pueden ser difíciles de conseguir en el momento que los necesitamos. Las existencias pueden ser estacionales, depender de las condiciones meteorológicas e incluso de la contaminación.

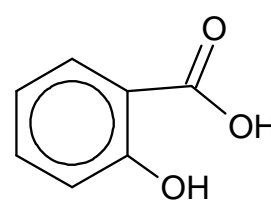
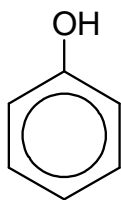
Los químicos, por lo tanto, no quieren confiar exclusivamente en los productos obtenidos de las plantas como única fuente de sustancias químicas e intentan sintetizarlas a partir de materias primas.

Un golpe se conoce la estructura química del compuesto activo de una planta, los químicos inician la búsqueda de cómo sintetizarlo artificialmente. Sustancias inorgánicas simples como el cloruro de aluminio, pueden ser sintetizadas directamente a partir de sus elementos, pero moléculas más complejas ya no pueden obtenerse de una manera tan simple. Entonces los químicos buscan un compuesto conocido que tenga una estructura parecida en el compuesto deseado y que pueda ser modificada.

De la corteza de los sauces se puede extraer un compuesto que actúa como principio activo en el organismo, es el ácido salicílico (figura 50)

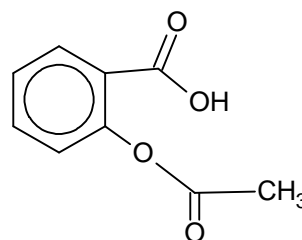
El fenol es un compuesto conocido en la industria farmacéutica. También resulta fácil de obtener a partir de materias primas como el propeno y el benceno. El problema de convertir el fenol en el ácido salicílico es introducir el grupo funcional en la posición correcta de la sortija, sin

distorcionar el resto de la molécula. En este caso particular, controlando cuidadosamente las condiciones, el dióxido de carbono puede combinarse directamente con el fenol obteniendo ácido 2-hidroxibenzoico. Este método general es conocido como la síntesis



de Kolbe. Su versión industrial fue desarrollada por el químico alemán Félix Hofmann. Así se obtuvo el ácido 2-hidroxibenzoico de síntesis, de pureza fiable, el cual fue comercializado por la compañía química Bayer.

El ácido 2-hidroxibenzoico sintético fue utilizado ampliamente por todas partes para curar la fiebre y como calmante del dolor, pero cada vez más se detectó que producía efectos irritantes a la boca, la garganta y el estómago. Se veía claramente que la nueva maravilla de medicamento presentaba efectos secundarios



## El futuro del petróleo

no deseados. Los químicos tenían un reto: ¿podrían modificar la estructura para reducir los efectos irritantes, a la vez que se mantenían los efectos beneficiosos?

Hofmann preparó una serie de compuestos realizando pequeñas modificaciones en la estructura del ácido 2-hidroxibenzoico. Su padre sufría de reumatismo crónico y Hoffmann le administraba cada una de las preparaciones nuevas para observar los efectos que le producían. Era un método más primitivo que los actuales tests de medicamentos. No sabemos qué pensaba el padre de Félix Hofmann de todo esto, pero vivió el tiempo suficiente porque su hijo preparara, el 1898, un derivado tan efectivo como el ácido 2-hidroxibenzoico pero menos desagradable de tomar. Este producto tan efectivo fue el ácido 2-etanoilhidroxibenzoico (o ácido acetilsalicílico), conocido con el nombre de aspirina. (Figura 51)

El desarrollo de un nuevo medicamento es extraordinariamente caro. El precio de mercado que las compañías farmacéuticas deciden tendría que ser suficiente no sólo para cubrir los gastos de producción y marketing del producto sino también para recuperar los costes de búsqueda y de desarrollo. Si otra compañía simplemente copiara el medicamento, podría venderlo a un precio mucho más bajo. Aquí es donde las patentes acontecen importantes.

Cuando una compañía farmacéutica descubre un nuevo medicamento, saca una patente para proteger el descubrimiento. Las patentes sólo son válidas en un país, por lo tanto se tienen que sacar varias patentes, para evitar que compañías en otros países puedan producir el medicamento. Cuando el medicamento es aprobado, la compañía farmacéutica lo pone al mercado con un nombre comercial o marca comercial. Las patentes tan sólo duran un tiempo determinado, pero mientras están vigentes en un país cabe otra compañía farmacéutica puede fabricarla en este territorio.

Los fármacos, normalmente, son compuestos complejos con un nombre químico largo y difícil de decir. Por comodidad, los medicamentos se denominan con nombres cortos y más triviales. Estos se llaman “nombres genéricos” en el mundo de la farmacia.

Así muchos fármacos tienen tres nombres:

- El nombre químico.
- El nombre genérico.
- El nombre comercial.

Un ejemplo es el ácido 2-(4-(2-metilpropil)fenil) propanoico, conocido con el nombre genérico ibuprofen, mientras sus nombres comerciales son es Brufen (de Boots), Lidifen (de Berk) y Mortin (de Upjohn).

Antes no se acabe la vigencia de una patente, la compañía que había hecho el descubrimiento de la medicina tendría que haber vendido suficiente cantidad para cubrir los costes totales del desarrollo. A partir de entonces cualquier compañía puede fabricar y vender el medicamento - normalmente cada una le pone un nombre comercial propio. Esta es la razón por la cual hay tanto ibuprofen en el mercado. El 1899, cuando la compañía alemana Bayer decidió lanzar al mercado el ácido acetilsalicílico, como que no se trataba de un compuesto nuevo, no podía ser protegido por una patente. Entonces, la compañía patentó el proceso de obtención y también grabó el nombre comercial Aspirina en tantos países como fue posible. La protección del nombre comercial permaneció hasta la Primera Guerra Mundial, cuando otros países no podían obtener aspirina de Alemania. Un farmacéutico australiano, desarrolló un proceso para fabricar una forma “soluble” del medicamento y la sacó al mercado bajo el nombre comercial Aspro. Cuando las empresas pueden prescindir de los costes de desarrollo del medicamento, las nuevas marcas comerciales pueden ser más baratas que las originales. Normalmente, los gobiernos animamos a los médicos a prescribir algunos medicamentos como genéricos. Los farmacéuticos son libres de dispensar las marcas más baratas, siempre que se trate del mismo principio activo, la misma dosis y la misma forma farmacéutica. Esta estrategia hace bajar los precios de los servicios sanitarios.