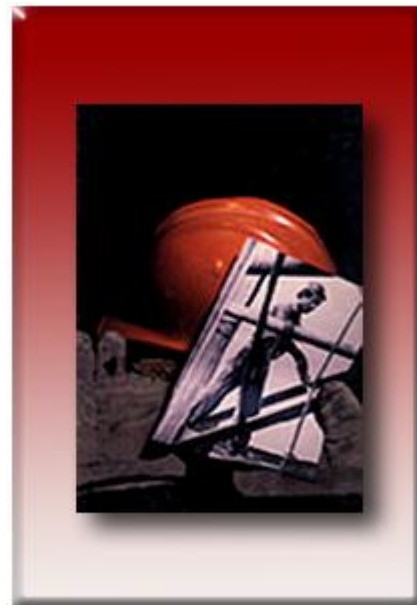


# PETROQUÍMICA Y SOCIEDAD

**Autora:** SUSANA CHOW PANGTAY

- COMITÉ DE SELECCIÓN
- EDICIONES
- AGRADECIMIENTOS
- PENSAMIENTOS
- PRESENTACIÓN
- PRÓLOGO
- INTRODUCCIÓN
- I. HISTORIA DEL PETRÓLEO
- II. EL ORIGEN Y COMPOSICIÓN DEL PETRÓLEO
- III. SEPARACIÓN DEL PETRÓLEO EN SUS FRACCIONES
- IV. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA Y OCTANAJES DE GASOLINA
- V. FABRICACIÓN DE LA GASOLINA COMERCIAL
- VI. LOS PETROQUÍMICOS Y SUS MATERIAS PRIMAS
- VII. PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS BÁSICOS
- VIII. RELACIÓN ENTRE EL PRECIO DE LOS PETROQUÍMICOS BÁSICOS Y EL CONSUMO DE LOS COMBUSTIBLES.
- IX. PRODUCTOS INTERMEDIOS DE LA PETROQUÍMICA
- X. POLÍMEROS DERIVADOS DEL PETRÓLEO
- XI. HULE SINTÉTICO
- XII. LOS PETROQUÍMICOS Y LAS NECESIDADES PRIMARIAS DEL HOMBRE
- XIII. CONCLUSIONES
- APÉNDICE
- GLOSARIO
- BIBLIOGRAFÍA
- CONTRAPORTADA



## EDICIONES

Primera edición, 1987

Quinta reimpresión, 1996

Segunda impresión, 1997

Primera reimpresión, 1998

La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R. © 1987, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

D.R. © 1998, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-5430-7 (segunda edición)

ISBN 968-16-2669-9 (primera edición)

Impreso en México

## P R E S E N T A C I Ó N

En muy pocos años la industria petroquímica ha llegado a ser una de las actividades industriales más importantes para nuestro país. Su importancia deriva no sólo de su participación relativa en el producto interno bruto, que supera el 2%, de su elevada tasa de crecimiento anual, que se encuentra entre los más altos de la industria, o de su alto grado de integración nacional, difícil de superar por otros sectores industriales, sino de la influencia directa que esta industria tiene, a través de sus diversas cadenas productivas, sobre cualquier actividad de la vida moderna.

Para convencerse de ello invitamos al lector a realizar el sencillo experimento de desprenderse de cualquier artículo o prenda de vestir fabricado en una alta proporción con materiales sintéticos derivados de la petroquímica. Le recomendamos esperar para ello a estar en la privacidad de su hogar, ya que, en el mejor de los casos, se quedaría sólo con la ropa interior puesta, si es que ésta es de algodón, y esto sólo -si reacciona con suficiente rapidez, ya que perdería hasta el elástico, por ser éste de material sintético. Desaparecerá casi toda la decoración de la casa, ya que hoy en día los acabados son en su mayoría de materiales sintéticos (alfombras, cortinas, tapices, pintura), así como la mayoría de los enseres domésticos, que son fabricados total o parcialmente de plástico.

Su coche se quedará sin neumáticos y seguramente perderá las suelas de sus zapatos, si no es que los zapatos también, ya que cada vez se fabrican en mayor proporción con elastómeros sintéticos, al igual que la tapicería del automóvil, las maletas o las bolsas de mano.

Más grave aún, su despensa se reduciría de manera alarmante, al venirse abajo la producción de alimentos, ya que nos quedaríamos sin fertilizantes y plaguicidas, esenciales para la agricultura moderna, y su botiquín se vería limitado a un pequeño número de medicamentos derivados de productos naturales, ya que la mayoría de los medicamentos que hoy en día utilizamos desaparecían de la farmacopea por ser derivados de una u otra manera de productos de origen petroquímico.

El libro de la doctora Susana Chow, *Petroquímica y sociedad*, analiza estos y otros aspectos, que permitirán al lector profundizar en el conocimiento de esta importante rama industrial. La doctora Chow conduce al lector de la mano, de manera amena y convincente, a través de un amplio recorrido que abarca desde el petróleo y sus orígenes hasta los principales productos de la petroquímica, pasando por los diversos procesos de manufactura, y analiza la trascendencia que ha tenido la petroquímica en la satisfacción de las necesidades primarias del hombre moderno.

Estamos seguros que, una vez que haya concluido la lectura de este libro, el lector quedará convencido que es necesario realizar un esfuerzo cada vez mayor para transformar los hidrocarburos en productos útiles para el hombre en lugar de quemarlos de manera ineficiente para generar energía, como lo estamos haciendo hoy día.

FRANCISCO BARNES DE CASTRO

## PRÓLOGO

Para nadie es desconocido, en algún sentido u otro, el significado de la palabra petróleo. Sobre todo en un país como el nuestro, en el cual, en una buena medida, su problemática actual está íntimamente ligada a este recurso natural. Pero olvide el lector la asociación que pueda hacer entre petróleo y atributos tales como poder, deuda externa, cacicazgo, corrupción, ineficiencia, etc., y concéntrese en lo que realmente es: un recurso natural no renovable del cual el hombre, sobre todo en este siglo, ha obtenido un enorme provecho. Este líquido espeso de color parduzco que brota de la tierra y que se llegó a calificar como oro negro es en efecto un tesoro de valor incalculable. Una buena parte de la energía motriz disponible en este planeta proviene del petróleo y sus derivados. Tan sólo en México, país al que la naturaleza dotó de una enorme riqueza petrolífera, el 95% de la energía que consumimos diariamente proviene o está relacionada con el uso del petróleo. Sin embargo, la tragedia más grande que le puede ocurrir a un país productor de petróleo es pensar que éste debe destinarse esencialmente a satisfacer sus demandas energéticas. En efecto, de los productos derivados del petróleo se obtienen un sinnúmero de materias primas y substancias diversas que son de usos muy variados en nuestra vida cotidiana. Todas ellas se extraen de los productos de la destilación del petróleo crudo por medio de procesos químicos muy elaborados. En términos muy generales a estos procesos se les agrupa bajo una sola denominación: química del petróleo o petroquímica. De hecho, una de las grandes disyuntivas que se le presentan a la humanidad es decidir si seguir quemando el petróleo como combustible o utilizarlo para la fabricación de materias petroquímicas, que, insistimos, tienen una utilidad práctica enorme.

En este libro, Susana Chow nos presenta de una manera lúcida y entretenida los diversos aspectos de la petroquímica moderna. Comienza por decirnos cómo se cree actualmente que se formó el petróleo y cómo está distribuido en el planeta. Su uso directo, después de ser extraído, es muy restringido, así que debe ser sometido a ciertos procesos para optimizar su utilización. Estos procesos se describen en el texto con sumo cuidado, siempre de una manera accesible para un lector no especializado en estos temas. En particular, la autora hace hincapié en el enorme problema que se ha derivado del binomio formado por el motor de combustión interna y el uso de las gasolinas, productos naturales de la destilación del petróleo, como combustibles. Esto la lleva a discutir el problema de la contaminación causada por los vehículos que inevitablemente están restringidos a la existencia de dicho binomio.

Sin embargo, la parte central de la obra se enfoca al uso extenso y variado que tienen los productos petroquímicos en nuestra vida diaria. Para los que se hayan familiarizado con el comercial de nuestra televisión, Pemex en tu casa, en tu oficina, etc., este libro les proporcionará una forma amena y simple un desglose de su significado. Simultáneamente, también explica el grado de complejidad que inevitablemente acompaña a cada uno de los procesos utilizados en la industria petroquímica. Y de aquí se desprende, como juiciosamente lo hace ver la autora, la importancia que tiene el

conocimiento amplio y sólido de la ciencia en el desarrollo de tecnologías, en particular petroquímicas. Al término de la exposición el lector seguramente tendrá una idea mucho más clara de lo que significa para un país poseer petróleo y saber aprovecharlo eficientemente. Y también se dará cuenta por qué los países avanzados, que a pesar de carecer de tan valiosa materia prima sí cuentan con la infraestructura científica y tecnológica adecuada, pueden explotar a los que sólo poseen la materia prima, pero no cuentan con la tecnología para desarrollarla. Por eso se nos llama subdesarrollados.

Es muy posible que un lector acucioso se haga la pregunta de cuál es la situación de nuestro país en materia petroquímica. Siempre fue la idea de los que hemos llevado adelante la colección La Ciencia para Todos ofrecer al lector en cada libro, cuando el tema así lo amerite y el autor esté dispuesto a realizarlo, un panorama general de cómo se ha desarrollado la disciplina subyacente a dicho tema en nuestro país. Por razones personales, en este caso me tomo la libertad de decir algo al respecto. La petroquímica, como la mayoría de las ramas de la química moderna, es prácticamente inexistente en México. Esto quiere decir que, empezando por los programas de estudio de la gran mayoría de las escuelas de química del país, ni siquiera se contempla como un tema prioritario, además de no ofrecerse como un tema de especialización en el posgrado. Consecuentemente podemos afirmar que la infraestructura científico tecnológica en esta importantísima área de la química, está totalmente descuidada en nuestro medio.

En el pasado existió un grupo de investigación sólido y promisorio en petroquímica en el Instituto Mexicano del Petróleo. La autora de este libro fue pionera de dicho grupo, y en la actualidad es de las pocas personas con las que contamos que pueden llamarse expertas en dicha materia. No es éste el sitio para analizar las razones por las cuales hace ya varios años se permitió negligentemente la desintegración de dicho grupo ni las consecuencias que eso ha tenido para el país. Baste decir que es un verdadero privilegio poder introducir al lector a la lectura de tan fascinante e importante tema, en una obra que ha sido escrita por una persona que sí sabe de petroquímica

LEOPOLDO GARCÍA-COLÍN S.

# INTRODUCCIÓN

¿Qué pensarían si se les propusiera talar todos los bosques del mundo, para transformar sólo el 7% de la madera en muebles y papel, y el resto convertirlo en leña y carbón?

¡Pues eso es exactamente lo que se está haciendo actualmente con el petróleo y el gas natural!

El 93% de estas materias primas se usa como combustible para producir la energía que requieren los coches, trailers, camiones, aviones, barcos, trenes, calderas, estufas, termoeléctricas, etc., y sólo el 7% se emplea para obtener productos petroquímicos.

¿Cómo se ha llegado a tal extremo? Esa es la pregunta que trataremos de resolver en este libro para dar a conocer el grado en que nuestra sociedad depende del petróleo. Pero sobre todo deseamos que el lector descubra la importancia de hacer un uso más racional de estos energéticos a fin de continuar disfrutando, en el futuro, de los beneficios obtenidos de la petroquímica.

En las próximas páginas describiremos brevemente los usos del petróleo en la antigüedad. Con la aparición del automóvil a fines del siglo pasado, se inició la transformación no sólo de los medios de transporte sino también del uso del petróleo crudo, y se hizo necesario crear las tecnologías para obtener más y mejores gasolinas, así como otros combustibles.

Sin embargo, para poder comprender cómo se relaciona la producción de materias primas petroquímicas con los combustibles, se explicará cómo funciona un motor de combustión interna (motor de automóvil), en qué consiste el octanaje de las gasolinas, por qué y cómo el combustible consumido por nuestros automóviles debe obtenerse a través de una serie de procesos que requieren de una compleja tecnología, y en consecuencia, de altos costos.

También daremos a conocer las razones principales por las cuales el alto consumo de gas licuado y de gasolina afecta el precio y la disponibilidad de las materias primas petroquímicas.

Indudablemente que el objetivo principal del libro será el de explicar cómo y de dónde se obtienen los materiales básicos, cómo se transforman en productos intermediarios y, finalmente, cuáles son algunos de los miles de productos que se obtienen de ellos.

Veremos cómo la petroquímica interviene en todas las necesidades fundamentales del hombre, como son el vestido, la salud, la alimentación, la vivienda y las diversiones.

Explicaremos de qué materias primas petroquímicas se hace el nylon, el poliéster, el dacrón, la lycra, el acrílico, etc. También diremos de qué se hacen los fertilizantes, insecticidas y herbicidas, y qué aditivos se usan en las gelatinas, jamones, harinas, pudines, refrescos embotellados, alimentos enlatados, vinos de mesa, etc., que provienen del petróleo.

En cuanto a la salud, describiremos cómo la petroquímica interviene en la fabricación de medicinas, de órganos artificiales tales como corazones, venas, huesos y otros, incluyendo prótesis dentales.

Al analizar los plásticos, resinas y hules sintéticos derivados del petróleo veremos su aplicación en industrias como la automovilística, la de la construcción, la de la fabricación de muebles y artículos de decoración, además de la de la producción de toda clase de equipo doméstico, de oficina, deportivo, etc.

Esperamos que con este pequeño libro todos tengamos mayor conciencia de la importancia del petróleo y sus derivados, a fin de tratar de salvaguardar esta riqueza natural para que las generaciones futuras también la disfruten.

# I. HISTORIA DEL PETRÓLEO

EL PETRÓLEO se conoce desde la prehistoria. La Biblia lo menciona como betún, o como asfalto. Por ejemplo vemos que en el Génesis, capítulo 11 versículo 3, se dice que el asfalto se usó para pegar los ladrillos de la torre de Babel; asimismo el Génesis, capítulo 4 versículo 10, nos describe cómo los reyes de Sodoma y Gomorra fueron derrotados al caer en pozos de asfalto en el valle de Siddim.

También los indígenas de la época precolombiana en América conocían y usaban el petróleo, que les servía de impermeabilizante para embarcaciones.

Durante varios siglos los chinos utilizaron el gas del petróleo para la cocción de alimentos.

Sin embargo, antes de la segunda mitad del siglo XVIII las aplicaciones que se le daban al petróleo eran muy pocas.

Fue el coronel Edwin L. Drake quien perforó el primer pozo petrolero del mundo en 1859, en Estados Unidos, logrando extraer petróleo de una profundidad de 21 metros.

También fue Drake quien ayudó a crear un mercado para el petróleo al lograr separar la kerosina del mismo. Este producto sustituyó al aceite de ballena empleado en aquella época como combustible en las lámparas, cuyo consumo estaba provocando la desaparición de estos animales.

Pero no fue sino hasta 1895, con la aparición de los primeros automóviles, que se necesitó la gasolina, ese nuevo combustible que en los años posteriores se consumiría en grandes cantidades. En vísperas de la primera Guerra Mundial, antes de 1914, ya existían en el mundo más de un millón de vehículos que usaban gasolina.

En efecto, la verdadera proliferación de automóviles se inició cuando Henry Ford lanzó en 1922 su famoso modelo "T". Ese año había 18 millones de automóviles; para 1938 el número subió a 40 millones, en 1956 a 100 millones, y a más de 170 millones para 1964. Actualmente es muy difícil estimar con exactitud cuántos cientos de millones de vehículos de gasolina existen en el mundo.

Lógicamente el consumo de petróleo crudo para satisfacer la demanda de gasolina ha crecido en la misma proporción. Se dice que en la década de 1957 a 1966 se usó casi la misma cantidad de



petróleo que en los 100 años anteriores. Estas estimaciones también toman en cuenta el gasto de los aviones con motores de pistón.



**Figura 1. Su majestad: el automóvil.**

Posteriormente se desarrollaron los motores de turbina (jets) empleados hoy en los aviones comerciales, civiles y militares. Estos motores usan el mismo combustible de las lámparas del siglo pasado, pero con bajo contenido de azufre y baja temperatura de congelación, que se llama turbosina.

Desde luego, cuando se introdujeron los aviones de turbina, el uso de la kerosina como combustible de lámparas era casi nulo, debido al descubrimiento de la electricidad, de tal manera que en 1964 cerca del 80% del consumo total de ésta era para hacer turbosina.

Otra fracción del petróleo crudo que sirve como energético es la de los gasóleos, que antes de 1910 formaba parte de los aceites pesados que constituían los desperdicios de las refinerías. El consumo de los gasóleos como combustible se inició en 1910 cuando el almirante Fisher de la flota británica ordenó que se sustituyera el carbón por el gasóleo en todos sus barcos. El mejor argumento para tomar tal decisión lo constituyó la superioridad calorífica de éste con relación al carbón mineral, ya que el gasóleo genera aproximadamente 10 500 calorías/kg., mientras que un buen carbón sólo proporciona 7 000 calorías/kg.

Más tarde se extendió el uso de este energético en la marina mercante, en los generadores de vapor, en los hornos industriales y en la calefacción casera.

El empleo del gasóleo se extendió rápidamente a los motores diesel. A pesar de que Rudolph Diesel inventó el motor que lleva su nombre, poco después de que se desarrolló el motor de combustión interna, su

aplicación no tuvo gran éxito pues estaba diseñado originalmente para trabajar con carbón pulverizado.



**Figura 2. Tractores agrícolas consumidores de diesel.**



**Figura 3. Aviones de turbina consumidores de turbosina.**

Cuando al fin se logró separar la fracción ligera de los gasóleos, a la que se le llamó diesel, el motor de Rudolph Diesel empezó a encontrar un amplio desarrollo.

La principal ventaja de los motores diesel en relación a los motores de combustión interna estriba en el hecho de que son más eficientes, ya que producen más trabajo mecánico por cada litro de combustible. Es de todos conocido que nuestros automóviles sólo aprovechan del 22 al 24% de la energía consumida, mientras que en los motores diesel este aprovechamiento es del 35%.

Por lo tanto, estos motores encontraron rápida aplicación en los barcos de la marina militar y mercante, en las locomotoras de los ferrocarriles, en los camiones pesados, y en los tractores agrícolas.

Después de este breve análisis de la historia del desarrollo y uso de los combustibles provenientes del petróleo, vemos claramente que el mayor consumidor de estos energéticos es el automóvil.

EL cuadro I nos ilustra el consumo de combustible en México durante 1985.

**Cuadro 1. Consumo de combustible en México durante 1985.**

<i>combustible</i>	<i>consumo</i>
gas licuado LP	5 676 713 toneladas
gasolina	18 800 419 m <sup>3</sup>
turbosina	1 729 347 m <sup>3</sup>
kerosina	1 191 155 m <sup>3</sup>
diesel	11 688 963 m <sup>3</sup>

Esto se debe no sólo al hecho de tener en circulación millones de vehículos con motores de combustión interna, sino a la muy baja eficiencia de sus motores, ya que desperdiciarían el 75% ciento de la energía generada, como se mencionó anteriormente.

Así pues, como el automóvil sigue siendo el "rey", la mayor parte de las refinerías petroleras están diseñadas para proveer de gasolina a "Su Majestad".

Después de la aparición del automóvil, el mundo empezó a moverse cada vez más aprisa, requiriendo día a día vehículos de mayor potencia, y por lo tanto mejores gasolinas.

¿En qué consisten estas mejores gasolinas? ¿Cómo se logran? ¿Cuáles son sus consecuencias? ¿Qué productos químicos usados para subir el octanaje de las gasolinas son base de las fibras sintéticas? ¿Cuáles son los materiales usados para fabricar más gasolina, que a su vez sirven como materia prima para hacer detergentes sintéticos, plásticos, solventes, lubricantes, alimentos, etc.?

Éstas son algunas de las preguntas que trataremos de responder en los capítulos siguientes, no sin antes describir los orígenes del petróleo y su composición.

## II. EL ORIGEN Y COMPOSICIÓN DEL PETRÓLEO

### ¿CÓMO SE FORMÓ EL PETRÓLEO?

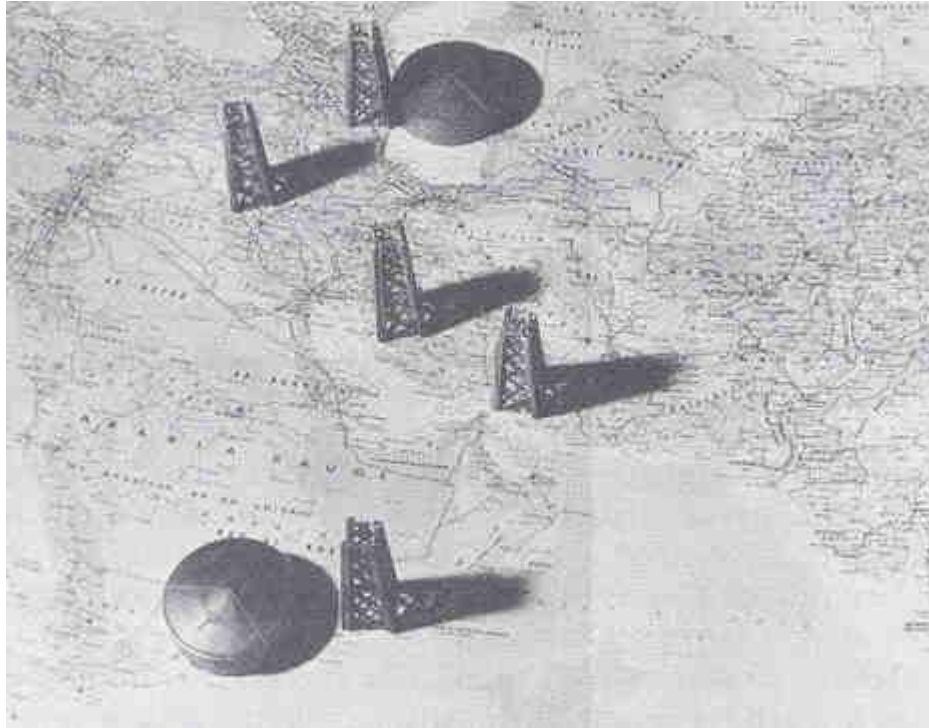
EXISTEN varias teorías sobre la formación del petróleo. Sin embargo, la más aceptada es la teoría orgánica que supone que se originó por la descomposición de los restos de animales y algas microscópicas acumuladas en el fondo de las lagunas y en el curso inferior de los ríos.

Esta materia orgánica se cubrió paulatinamente con capas cada vez más gruesas de sedimentos, al abrigo de las cuales, en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, se transformó lentamente en hidrocarburos (compuestos formados de carbón e hidrógeno), con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno, y trazas de metales como fierro, cromo, níquel y vanadio, cuya mezcla constituye el petróleo crudo.

Estas conclusiones se fundamentan en la localización de los mantos petroleros, ya que todos se encuentran en terrenos sedimentarios. Además los compuestos que forman los elementos antes mencionados son característicos de los organismos vivientes.

Ahora bien, existen personas que no aceptan esta teoría. Su principal argumento estriba en el hecho inexplicable de que si es cierto que existen más de 30 000 campos petroleros en el mundo entero, hasta ahora sólo 33 de ellos constituyen grandes yacimientos. De esos grandes yacimientos 25 se encuentran en el Medio Oriente y contienen más del 60% de las reservas probadas de nuestro planeta.

Uno se pregunta entonces: ¿Cómo es posible que tantos animales hayan muerto en menos del 1% de la corteza terrestre, que es el porcentaje que le corresponde al Medio Oriente?



**Figura 4. El Medio Oriente almacena el 60% de las reservas mundiales de petróleo.**

Indudablemente que la respuesta a esta pregunta, si la teoría orgánica es válida, sólo se puede encontrar en la Biblia, donde se describe al Edén como un lugar rodeado por cuatro ríos (siendo uno de ellos el Éufrates), en cuyo centro se encuentra el "Árbol de la Vida".

Esta respuesta probablemente no suena muy científica, pero ¿acaso no justifica el hecho de que el Medio Oriente contenga el cementerio de animales más grande del mundo, origen de sus reservas petroleras, si la teoría orgánica es cierta?

Naturalmente que existen otras teorías que sostienen que el petróleo es de origen inorgánico o mineral. Los científicos soviéticos son los que más se han preocupado por probar esta hipótesis. Sin embargo estas proposiciones tampoco se han aceptado en su totalidad.

Una versión interesante de este tema es la que publicó Thomas Gold en 1986. Este científico europeo dice que el gas natural (el metano) que suele encontrarse en grandes cantidades en los yacimientos petroleros, se pudo haber generado a partir de los meteoritos que cayeron durante la formación de la Tierra hace millones de años.

Los argumentos que presenta están basados en el hecho de que se han encontrado en varios meteoritos más de 40 productos químicos semejantes al kerógeno, que se supone es el precursor del petróleo.

Y como los últimos descubrimientos de la NASA han probado que las atmósferas de los otros planetas tienen un alto contenido de metano, no es de extrañar que esta teoría esté ganando cada día más adeptos.

Podemos concluir que a pesar de las innumerables investigaciones que se han realizado, no existe una teoría infalible que explique sin lugar a dudas el origen del petróleo pues ello implicaría poder descubrir los orígenes de la vida misma.

### **¿QUÉ ES EL PETRÓLEO?**

Cualquiera que tenga un cierto sentido de observación puede describir el petróleo como un líquido viscoso cuyo color varía entre amarillo y pardo oscuro hasta negro, con reflejos verdes. Además tiene un olor característico y flota en el agua.

Pero si se desea saber todo lo que se puede hacer con el petróleo, esta definición no es suficiente. Es necesario profundizar el conocimiento para determinar no sólo sus propiedades físicas sino también las propiedades químicas de sus componentes.

Como dijimos anteriormente, el petróleo es una mezcla de hidrocarburos, compuestos que contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno principalmente.

El número de átomos de carbono y la forma en que están colocados dentro de las moléculas de los diferentes compuestos proporciona al petróleo diferentes propiedades físicas y químicas. Así tenemos que los hidrocarburos compuestos por uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que contienen de 5 a 20 son líquidos, y los de más de 20 son sólidos a la temperatura ambiente.

El petróleo crudo varía mucho en su composición, lo cual depende del tipo de yacimiento de donde provenga, pero en promedio podemos considerar que contiene entre 83 y 86% de carbono y entre 11 y 13% de hidrógeno.

Mientras mayor sea el contenido de carbón en relación al del hidrógeno, mayor es la cantidad de productos pesados que tiene el crudo. Esto depende de la antigüedad y de algunas características de los yacimientos. No obstante, se ha comprobado que entre más viejos son, tienen más hidrocarburos gaseosos y sólidos y menos líquidos entran en su composición.

Algunos crudos contienen compuestos hasta de 30 a 40 átomos de carbono.



**Figura 5. Extracción de petróleo en tierra.**



**Figura 6. Extracción de petróleo en el mar.**

En la composición del petróleo crudo también figuran los derivados de azufre (que huelen a huevo podrido), además del carbono e hidrógeno.

Además, los crudos tienen pequeñas cantidades, del orden de partes por millón, de compuestos con átomos de nitrógeno, o de metales como el hierro, níquel, cromo, vanadio, y cobalto.

Por lo general, el petróleo tal y como se extrae de los pozos no sirve como energético ya que requiere de altas temperaturas para arder, pues el crudo en sí está compuesto de hidrocarburos de más de cinco átomos de carbono, es decir, hidrocarburos líquidos. Por lo tanto, para poder aprovecharlo como energético es necesario separarlo en

diferentes fracciones que constituyen los diferentes combustibles como el gasavión, gasolina, turbosina, diesel, gasóleo ligero y gasóleo pesado.

Los métodos para llevar a cabo esta separación se describirán en el siguiente capítulo.

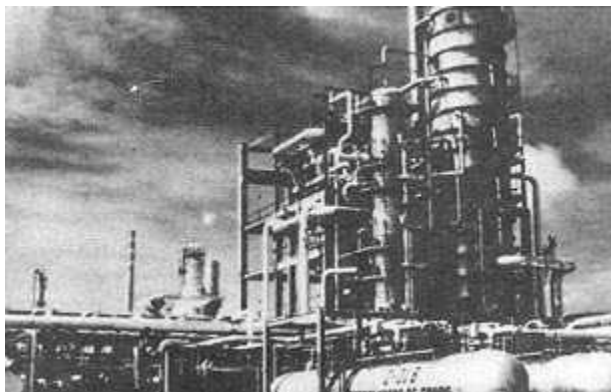


### III. SEPARACIÓN DEL PETRÓLEO EN SUS FRACCIONES

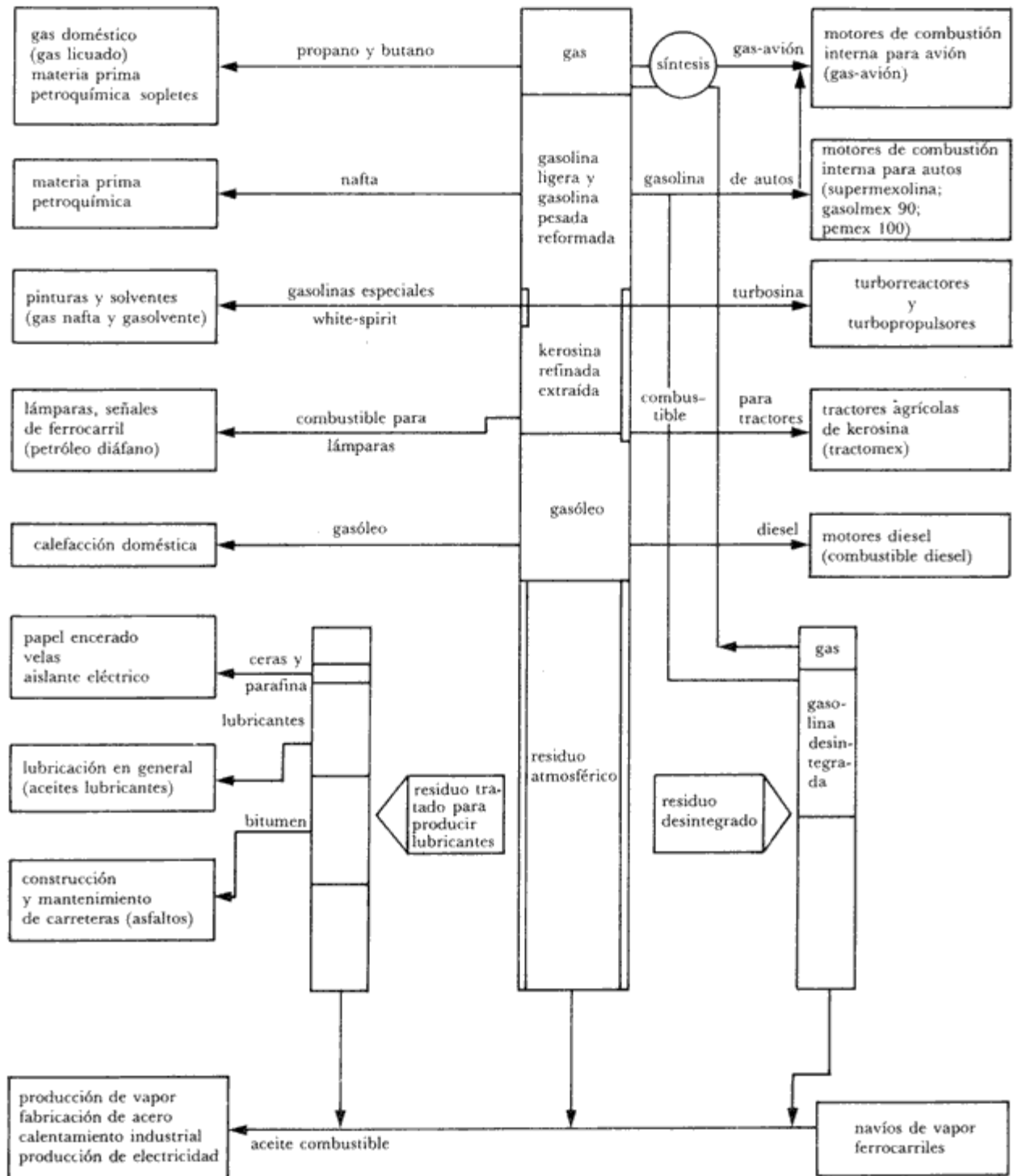
¿CÓMO se puede separar en diferentes fracciones el petróleo? El sentido común dice que hay que calentarlo. Así, a medida que sube la temperatura, los compuestos con menos átomos de carbono en sus moléculas (y que son gaseosos) se desprenden fácilmente; después los compuestos líquidos se vaporizan y también se separan, y así, sucesivamente, se obtienen las diferentes fracciones.

En las refinerías petroleras, estas separaciones se efectúan en las torres de fraccionamiento o de destilación primaria.

Para ello, primero se calienta el crudo a 400 °C para que entre vaporizado a la torre de destilación. Aquí los vapores suben a través de pisos o compartimentos que impiden el paso de los líquidos de un nivel a otro. Al ascender por los pisos los vapores se van enfriando.



**Figura 7. Refinería petrolera.**



**Figura 8. Principales fracciones del crudo**

Este enfriamiento da lugar a que en cada uno de los pisos se vayan

condensando distintas fracciones, cada una de las cuales posee una temperatura específica de licuefacción.

Los primeros vapores que se licúan son los del gasóleo pesado a 300 °C aproximadamente, después el gasóleo ligero a 200 °C; a continuación, la kerosina a 175 °C, la nafta y por último, la gasolina y los gases combustibles que salen de la torre de fraccionamiento todavía en forma de vapor a 100 °C. Esta última fracción se envía a otra torre de destilación en donde se separan los gases de la gasolina.

Ahora bien, en esta torre de fraccionamiento se destila a la presión atmosférica, o sea, sin presión. Por lo tanto, sólo se pueden separar sin descomponerse los hidrocarburos que contienen de 1 a 20 átomos de carbono.

Para poder recuperar más combustibles de los residuos de la destilación primaria es necesario pasarlos por otra torre de fraccionamiento que trabaje a alto vacío, o sea a presiones inferiores a la atmosférica para evitar su descomposición térmica, ya que los hidrocarburos se destilarán a más baja temperatura.

En la torre de vacío se obtienen sólo dos fracciones, una de destilados y otra de residuos.

De acuerdo al tipo de crudo que se esté procesando, la primera fracción es la que contiene los hidrocarburos que constituyen los aceites lubricante y las parafinas, y los residuos son los que tienen los asfaltos y el combustóleo pesado.

El cuadro 2 nos describe aproximadamente el número de átomos de carbono que contienen las diferentes fracciones antes mencionadas.

**CUADRO 2. Mezcla de hidrocarburos obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo**

<i>fracción</i>	<i>núm. de átomos de C por molécula</i>
gas incondensable	$C_1 - C_2$
gas licuado (LP)	$C_3 - C_4$
gasolina	$C_5 - C_9$
kerosina	$C_{10} - C_{14}$
gasóleo	$C_{15} - C_{23}$
lubricantes y parafinas	$C_{20} - C_{35}$
combustóleo pesado	$C_{25} - C_{35}$
asfaltos	$> C_{39}$

En este cuadro incluimos los gases incondensables y el gas licuado (LP) porque éstos se encuentran disueltos en el crudo que entra a la destilación primaria, a pesar de que se suele eliminarlos al máximo en las torres de despunte que se encuentran antes de precalentar el crudo de fraccionadores.

De los gases incondensables el metano es el hidrocarburo más ligero, pues contiene sólo un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. El que sigue es el etano, que está compuesto por dos de carbono y seis de hidrógeno.

El primero es el principal componente del gas natural. Se suele vender como combustible en las ciudades, en donde se cuenta con una red de tuberías especiales para su distribución. Este combustible contiene cantidades significativas de etano.

El gas LP es el combustible que se distribuye en cilindros y tanques estacionarios para casas y edificios. Este gas está formado por hidrocarburos de tres y cuatro átomos de carbono denominados propano y butano respectivamente.

La siguiente fracción está constituida por la gasolina virgen, que se compone de hidrocarburos de cuatro a nueve átomos de carbono, la mayoría de cuyas moléculas están distribuidas en forma lineal, mientras que otras forman ciclos de cinco y seis átomos de carbono. A este tipo de compuestos se les llama parafínicos y cicloparafínicos respectivamente.

Esta gasolina, tal cual, no sirve para ser usada en los automóviles; en el siguiente capítulo se explicará por qué.

La fracción que contiene de 10 a 14 átomos de carbono tiene una temperatura de ebullición de 174 a 288 °C, que corresponde a la fracción denominada kerosina, de la cual se extrae el combustible de los aviones de turbina llamado turbosina.

La última fracción que se destila de la torre primaria es el gasóleo, que tiene un intervalo de ebullición de 250 a 310 °C y contiene de 15 a 18 átomos de carbono. De aquí se obtiene el combustible llamado diesel, que, como ya dijimos, sirve para los vehículos que usan motores diesel como los tractores, locomotoras, camiones, trailers y barcos.

De los destilados obtenidos al vacío, aquellos que por sus características no se destinan a lubricantes se usarán como materia prima para convertirlos en combustibles ligeros como el gas licuado, la gasolina de alto octano, el diesel, la kerosina y el gasóleo.

El residuo de vacío contiene la fracción de los combustibles pesados que se usan en las calderas de las termoeléctricas.

De todo lo que hemos descrito en este capítulo, se ve claramente cómo casi el total de cada barril de petróleo que se procesa en las refinerías se destina a la fabricación de combustibles. La cantidad de gasolina virgen obtenida depende del tipo de petróleo crudo (pesado o ligero), ya que en cada caso el porcentaje de esta fracción es variable.

Como dijimos al principio, la gasolina es el combustible que tiene mayor demanda; por lo tanto, la cantidad de gasolina natural que se obtiene de cada barril siempre es insuficiente, aun cuando se destilen crudos ligeros, que llegan a tener hasta 30% de este producto. Además, las características de esta gasolina no llenan las especificaciones de octanaje necesarias para los motores de los automóviles.

Para resolver estos problemas los científicos han desarrollado una serie de procesos para producir más y mejores gasolinas a partir de otras fracciones del petróleo.

Pero para poder comprender lo anterior es necesario describir antes cómo trabaja un motor de combustión interna y qué significa el índice de octano de una gasolina, temas de los cuales hablaremos a continuación.

# IV. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA Y OCTANAJES DE GASOLINA

¿QUÉ son los motores de combustión interna? Son los que usan comúnmente los automóviles. Se llaman también motores de explosión.

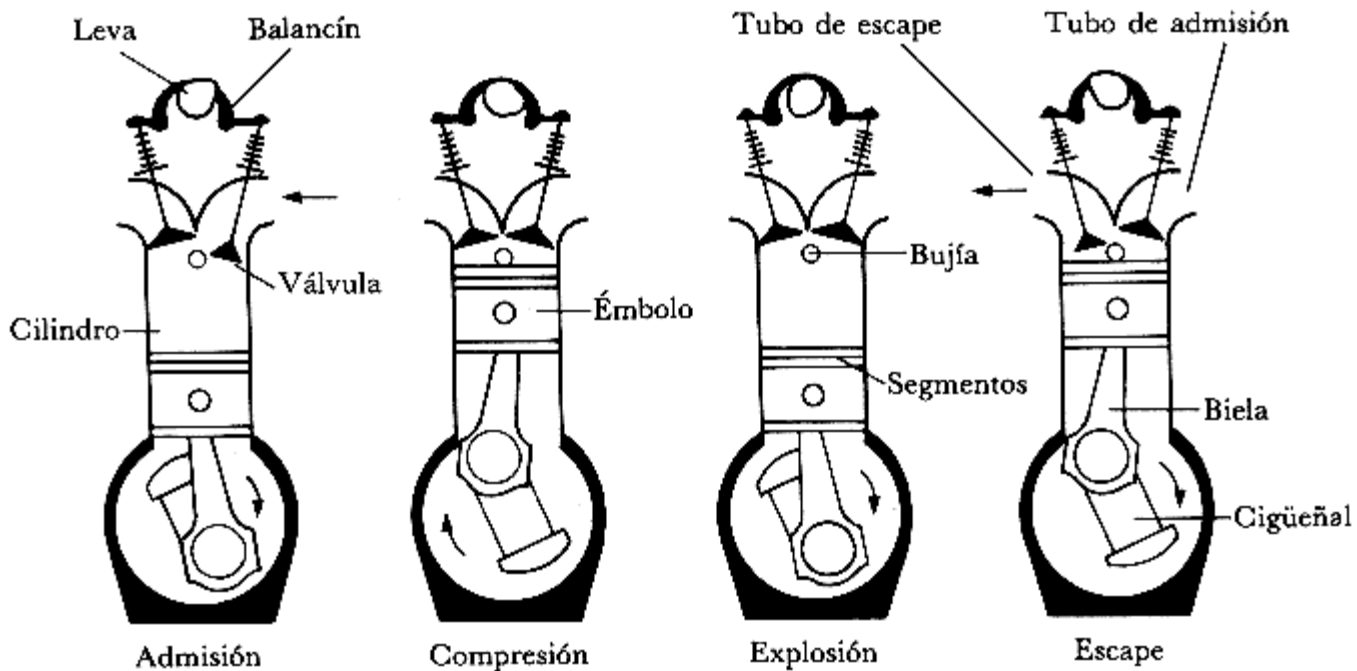
Estos nombres les fueron asignados debido a que el combustible se quema en el interior del motor y no es un dispositivo externo a él, como en el caso de los motores diesel.

## ¿CÓMO TRABAJAN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA?

Estos motores trabajan en cuatro tiempos que son la admisión, la compresión, la explosión y el escape.

La figura 9 ilustra los cuatro tiempos del motor de combustión interna.

En el primer tiempo o admisión, el cigüeñal arrastra hacia abajo el émbolo, aspirando en el cilindro la mezcla carburante que está formada por gasolina y aire procedente del carburador.



### **Figura 9. Los cuatro tiempos del motor de combustión interna.**

En el segundo tiempo se efectúa la compresión. El cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente la mezcla carburante en la cámara de combustión.

En el tercer tiempo, se efectúa la explosión cuando la chispa que salta entre los electrodos de la bujía inflama la mezcla, produciéndose una violenta dilatación de los gases de combustión que se expanden y empujan el émbolo, el cual produce trabajo mecánico al mover el cigüeñal, que a su vez mueve las llantas del coche y lo hace avanzar.

Por último, en el cuarto tiempo, los gases de combustión se escapan cuando el émbolo vuelve a subir y los expulsa hacia el exterior, saliendo por el mofle del automóvil.

Naturalmente que la apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión, se obtienen mediante mecanismos sincronizados en el cigüeñal.

De acuerdo a la descripción anterior, comprendemos que si la explosión dentro del cilindro no es suave y genera un tirón irregular, la fuerza explosiva golpea al émbolo demasiado rápido, cuando aún está bajando en el cilindro.

Este efecto de fuerzas intempestivas sacude fuertemente la máquina y puede llegar a destruirla. Cuando esto sucede se dice que el motor está "detonando" o "cascabeleando", efecto que se hace más notorio al subir alguna pendiente.

Indudablemente que este fenómeno también se observa cuando el automóvil está mal carburado, o sea que no tiene bien regulada la cantidad de aire que se mezcla con la gasolina.

Sin embargo, cuando éste no es el caso, el cascabeleo se deberá al tipo de gasolina que se está usando, la cual a su vez depende de los compuestos y los aditivos que la constituyen, o sea de su octanaje.



**Figura 10. Científicos e ingenieros trabajando en el desarrollo de tecnologías.**

### **¿QUÉ SIGNIFICA EL OCTANAJE EN UNA GASOLINA?**

Hace 50 años se llegó a descubrir que, de todos los compuestos que forman la gasolina, el heptano normal (un hidrocarburo con siete átomos de carbón formando una cadena lineal) es el que provoca la peor detonación. Por lo tanto se le asignó un valor de cero en la escala correspondiente.

El compuesto que detonaba menos era de ocho átomos de carbono, formando una cadena ramificada llamada isooctano. Se le dio un valor de 100, y así nacieron los índices de octano u octanajes de las gasolinas.

Pero ¿cómo se determinan prácticamente los octanajes de las gasolinas?



Existen aparatos especiales para medir las detonaciones que provocan. El resultado se compara con mezclas de heptano e isooctano hasta encontrar aquella que produzca un efecto semejante.

Así, por ejemplo, si cierta gasolina tiene características detonantes parecidas a las de una mezcla en 90% de isooctano y 10% de heptano normal, entonces se le asigna un índice de octano de 90.

Pero ¿por qué se dijo en el capítulo anterior que la gasolina natural proveniente de la destilación primaria no llenaba las especificaciones de octanaje requeridas por los automóviles? ¿Cómo se consigue aumentar el índice de octano en la gasolina? Si la fracción que contiene de cinco a nueve átomos de carbono en el petróleo crudo es insuficiente para satisfacer las demandas de gasolina, ¿qué procesos se usan para hacer más gasolina a partir de las otras fracciones?

Éstas son algunas de las preguntas que respondemos en el siguiente capítulo.

## V. FABRICACIÓN DE LA GASOLINA COMERCIAL

A PRINCIPIOS del siglo, la obtención de gasolina de calidad era cuestión de suerte. La naturaleza proporcionaba los ingredientes, casi siempre parafinas (hidrocarburos lineales y cíclicos), pero diluidos con otros componentes contenidos en el petróleo crudo.

En la actualidad la gasolina es un producto hecho por el hombre, o sea que es sintética. Las principales razones son:

1. Los crudos tienen un máximo de 25-30% de gasolina natural con índices de octano de 40 a 60, los cuales son demasiado bajos para usarse en los motores modernos de combustión interna. Esto se debe a la estructura molecular de los hidrocarburos que la constituyen.
2. La cantidad de gasolina primaria o natural contenida en los crudos es insuficiente para satisfacer la gran demanda provocada por los cientos de millones de vehículos que circulan diariamente por las carreteras y calles del mundo entero.

Las dos razones aquí mencionadas crearon el reto para los científicos: cómo remodelar las moléculas para producir más y mejores gasolinas.

Sin embargo, a medida que se hacían mejores gasolinas, simultáneamente los diseñadores de automóviles aumentaban la compresión de los motores elevando así su Potencia. Se necesitó entonces un índice de octano mayor.

Vamos a suponer que de un barril de 159 litros de petróleo crudo logremos separar 50 litros de gasolina cuyos componentes tienen de cinco a nueve átomos de carbono ( $C_5 - C_9$ ), y que de los 109 litros restantes algunos de los hidrocarburos no sean apropiados para usarlos como gasolina, ya sea porque su composición no cuenta con suficientes átomos de carbono por molécula ( $< C_5$ ) o porque tiene demasiados ( $> C_{10}$ ). Otros quizás cumplan con el número requerido de carbonos, pero sus moléculas están en forma lineal en vez de ramificada. Entonces, ¿cómo hacer más y mejor gasolina del resto de los hidrocarburos que constituyen el barril de crudo?

### PROCESOS PARA HACER MÁS GASOLINA

El sentido común nos dice que si tenemos moléculas con más átomos de carbono de los que necesitamos, hay que romper las cadenas que

unen los átomos de carbono para obtener moléculas más chicas, cuyo número de carbono sea de cinco a nueve.

Pero si las moléculas tiene menos átomos de carbono de los que buscamos, entonces es necesario unir dos, tres o más de ellas entre sí, para agrandarlas hasta conseguir el tamaño deseado.

Para lograr esto, los científicos e ingenieros tuvieron que trabajar conjuntamente para desarrollar las tecnologías requeridas.

Esta labor en equipo es larga, laboriosa y muy costosa, pero si se tiene éxito, las compañías que patrocinan la labor obtienen enormes dividendos, ya que quien desee usar sus tecnologías tendrá que pagar mucho dinero por concepto de regalías, lo que indudablemente aumenta el costo final del producto elaborado.

Lo anterior nos permite comprender mejor la diferencia entre países desarrollados y países subdesarrollados. Los primeros tienen tecnología propia, que no es más que el simple conocimiento de cómo satisfacer las necesidades con los recursos disponibles. Mientras tanto, si los segundos no tienen estos conocimientos, se ven obligados a comprárselos a los primeros a un alto costo, pagando con recursos naturales, los cuales les son tomados a precios irrisorios.

Por eso todos los países subdesarrollados cuyo consumo de gasolina y de energéticos en general es elevado, tienen costos de fabricación altos ya que aunque sean productores de petróleo, se ven obligados a pagar regalías en todos los procesos de tecnología extranjera usados en las refinerías.

Pero ¿cuáles son los procesos usados en las refinerías para hacer más y mejores gasolinas?

Primero veremos cuáles son y en qué están basadas las tecnologías usadas para hacer más gasolina:

Son dos: los procesos de desintegración térmica y los de desintegración catalítica.

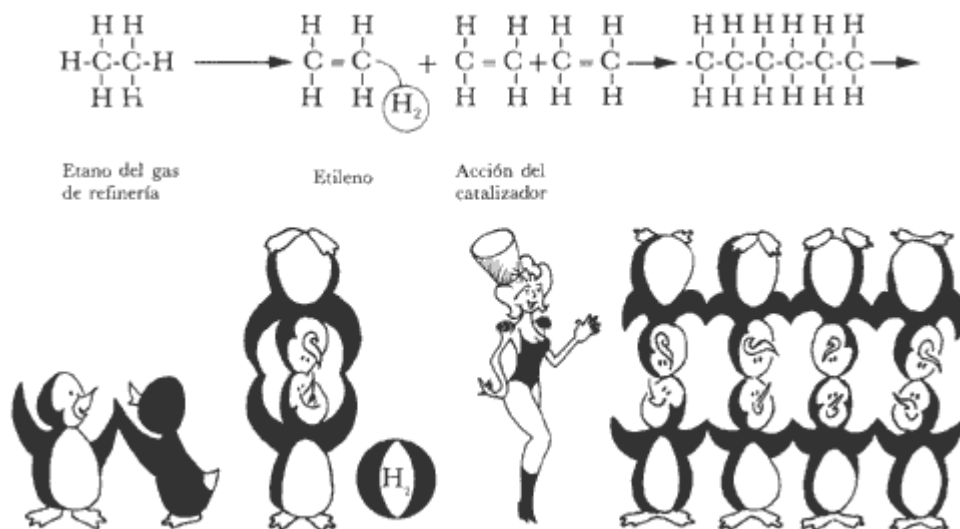
La primera utiliza básicamente temperatura y presión alta para romper las moléculas. Los hidrocarburos que produce se caracterizan por tener dobles ligaduras en sus moléculas, a las cuales se les llama olefinas y son muy reactivas. Cuando tienen de cinco a nueve átomos de carbono y se incorporan a las gasolinas ayudan a subir el índice de octano.

Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy reactivas; al polimerizarse, forman gomas que perjudican los motores. Por lo tanto en las mezclas de gasolinas en donde se usan fracciones con alto

contenido de olefinas es necesario agregar aditivos que inhiban la formación de gomas.

Los procesos de desintegración térmica se usan principalmente para hacer olefinas ligeras, o sea de dos carbonos (etileno), tres (propileno), cuatro (butenos cuando tienen una sola doble ligadura en la molécula y butadieno cuando tienen dos dobles ligaduras), y cinco (pentenos cuando tienen una sola doble ligadura e isopreno cuando tienen dos dobles ligaduras).

Las fracciones del petróleo que sirven de materia prima o carga pueden ser desde gasolinas pesadas hasta gasóleos pesados. En estos casos siempre se obtienen también las llamadas gasolinas de desintegración. Los procesos de desintegración catalítica también usan temperaturas y presión para romper las moléculas, pero son menores que en el caso anterior, gracias a ciertos compuestos químicos llamados catalizadores.



**Figura 11. Polimeración. Unión de moléculas para hacer más gasolina.**

Los catalizadores no sólo permiten que el proceso trabaje a temperaturas y presiones inferiores sino que también aumentan la velocidad de la reacción.

Además actúan como "directores" haciendo que las moléculas se rompan de cierta manera; los pedazos se unen y forman preferencialmente un determinado tipo de hidrocarburos.

Así, por ejemplo, una molécula con 16 átomos de carbono como es el hexadecano ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ), puede romperse para formar un par de

moléculas con 8 átomos de carbono cada una ( $C_8H_{18} + C_8H_{16}$  sea octano + octeno). El octeno es un hidrocarburo olefínico, es decir, que tiene dos átomos de hidrógeno menos que el octano, que es un hidrocarburo parafínico.

Los procesos de desintegración catalítica para obtener preferencialmente las gasolinas de alto octano usan como carga los gasóleos, o sea la fracción que contienen de 14 a 20 átomos de carbono en sus moléculas. Las gasolinas obtenidas por desintegración catalítica, y en particular las fracciones ligeras, contienen hidrocarburos altamente ramificados, tanto parafínicos como olefínicos. Estas ramificaciones en las moléculas contenidas en la fracción de la gasolina le imparten un alto índice de octano.

Además de la gasolina también se produce bastante gas, como el isobutano (cuatro átomos de carbono ramificados), y una elevada cantidad de etileno, propileno y butenos. Otros combustibles que se forman son el diesel, la kerosina y otros productos más pesados.

Las olefinas gaseosas antes mencionadas forman la materia prima para hacer más gasolina. Como tienen dos, tres y cuatro átomos de carbono, está claro que para obtener productos de cinco a nueve carbonos será necesario unir las moléculas.

En las refinerías existen dos tipos de procesos para llevar a cabo este tipo de reacciones. Uno es la polimerización. Este proceso también usa catalizadores para la obtención de gasolina. Al combustible que resulta se le llama gasolina polimerizada.

El otro proceso de síntesis que usa los gases de las desintegradoras es el llamado proceso de alquilación. Es una reacción química de una olefina con una parafina ramificada, en presencia de un catalizador. El producto resultante tendrá también ramificaciones; es decir, los carbonos no estarán en una sola línea.

En este proceso se hacen reaccionar las olefinas como el etileno, el propileno y los butenos, con el isobutano, que es un hidrocarburo parafínico ramificado con cuatro carbonos en su molécula.

Al producto obtenido en el proceso anterior se le llama gasolina alquilada. Su alto índice de octano se debe principalmente a las múltiples ramificaciones de los hidrocarburos que lo forman. Por lo general esta gasolina también se usa para hacer gasavión, que es el combustible que emplean las avionetas que tienen motores de pistón.

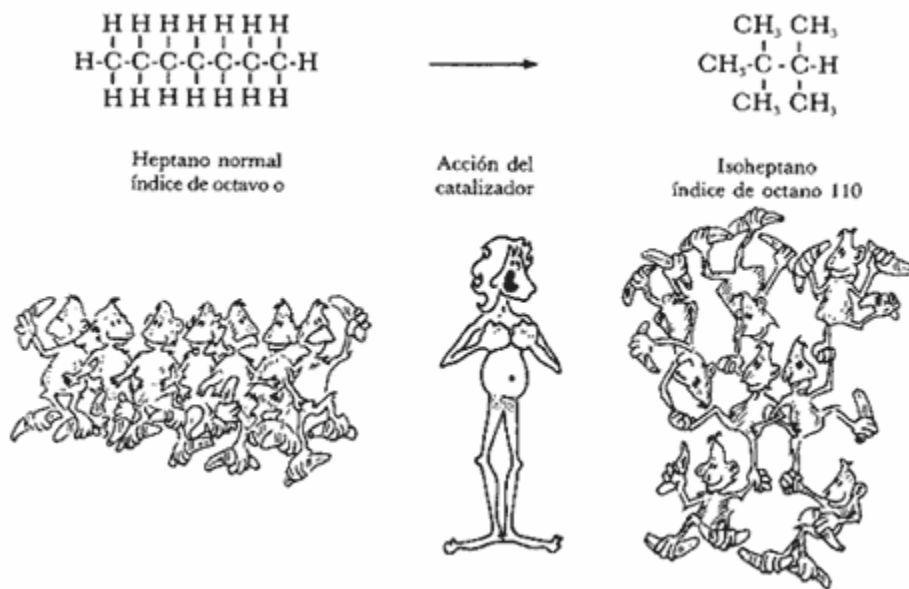
## **PROCESOS PARA MEJORAR LA GASOLINA NATURAL**

La gasolina natural o primaria está compuesta por el número adecuado de carbonos, pero la forma en que están colocados dentro de la molécula no le imparten un buen octanaje.

Para mejorar la calidad de esta gasolina existen dos tipos de procesos en las refinerías, que son la isomerización y la reformación. Ambos requieren catalizadores.

En el primer caso los hidrocarburos lineales de los que está compuesta la gasolina natural se ramifican, lo que permite que se incremente su octanaje.

Así sucede, por ejemplo, con el heptano normal, que tiene siete átomos de carbono formando una cadena lineal. Como dijimos anteriormente, su índice de octano es de cero. Pero si lo isomerizamos y lo hacemos altamente ramificado obtenemos el isoheptano, que tiene 110 de octano.



**Figura12. Isomerización. Modificación de los hidrocarburos para elevar octanajes.**

El segundo proceso o sea la reformación, no sólo favorece la ramificación de los hidrocarburos como en el caso anterior, sino que también les permite ciclizarse, formando anillos de seis átomos de carbono, y después perder átomos de hidrógeno dándonos los hidrocarburos cíclicos llamados aromáticos.



**Figura 13. Isooctano, índice de octano 100.**

Éstos están constituidos principalmente por benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), tolueno ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{CH}_3$ ), y xilenos ( $\text{C}_6\text{H}_6 \cdot (\text{CH}_3)_2$ ).

A los grupos  $\text{CH}_3$ , que contienen los anillos bencénicos del tolueno y los xilenos, se les llama metilos. El tolueno tiene un solo metilo, mientras que el xileno tiene dos, los cuales, dependiendo de la forma de su unión al anillo bencénico, se llaman ortoxileno, metaxileno, o paraxileno.

Estos hidrocarburos aromáticos le imparten un alto índice de octano a la gasolina reformada (proveniente de la reformación catalítica de la gasolina natural).

El cuadro 3 nos resume todos los procesos mencionados.

### **GASOLINA COMERCIAL**

La gasolina que compramos en las gasolineras se hace mezclando gasolina natural con diferentes porcentajes de gasolina proveniente de los procesos de polimerización, alquilación, isomerización, reformación y desintegración.

A estas mezclas se les determina su octanaje como se mencionó en el capítulo anterior, y se les agrega una serie de aditivos antes de venderlas al público.

En la actualidad se pueden hacer mezclas de gasolinas con índices de octano mayores que el del isooctano puro, o sea hasta de 110. Esto se logra agregando a la mezcla de gasolina compuestos llamados

antidetonantes. El compuesto de este tipo más común es el tetraetilo de plomo (TEP).

Este producto impide que la gasolina "explote" dentro de los cilindros del motor con demasiada rapidez. Además permite usar en las mezclas mayor cantidad de gasolina de menor calidad, como es la gasolina natural (40-60 octanos), y alcanzar de todos modos los octanajes requeridos por las gasolinas comerciales.

La cantidad óptima de tetraetilo de plomo que se usa en las mezclas de gasolinas es de tres mililitros por cada galón (un galón tiene aproximadamente 3.8 litros). No vale la pena agregar concentraciones mayores a las antes mencionadas, pues el exceso perjudica a las mezclas.

El tetraetilo de plomo sube más el octanaje de las mezclas cuando éstas contienen mayor cantidad de hidrocarburos ramificados, por ejemplo las gasolinas de la isomerizadora y los de la alquiladora.

Sin embargo, cuando las mezclas tienen un alto contenido de olefinas, como las de la polimerizadora, o tienen demasiados compuestos de azufre, la susceptibilidad al tetraetilo de plomo disminuye. Es decir, que aunque se agregue la misma cantidad de TEP, el índice de octano subirá menos que en el caso anterior.

Las gasolinas con plomo, como se les llama a aquellas que contienen TEP, resultan más baratas que las que no lo llevan. Esto se debe a que el contenido de gasolina natural (más barata) es mayor en este caso. Además, tres mililitros por galón de TEP consiguen en algunos casos elevar el octanaje de las gasolinas hasta en 20 octanos.

Así por ejemplo, si tenemos una mezcla de gasolina con un índice de octano de 60, al agregarle el TEP puede llegar a tener un octanaje de 80. Si la mezcla original tenía 90 de octano, con el aditivo puede subir hasta 110.

Desgraciadamente, si bien este fabuloso aditivo es muy bueno para los automóviles y para nuestros bolsillos, no lo es para nuestra salud.

El principal problema que se presenta con el uso del TEP como antidetonante estriba en el hecho de que el plomo se elimina con los gases de combustión que salen por el mofle de los automóviles, causando un problema grave de contaminación ambiental debido a su toxicidad.

En países como Estados Unidos los automóviles están provistos de los llamados mofles catalíticos a fin de disminuir el problema del llamado "smog". Los vehículos que tienen instalados este tipo de mofles no



deben usar gasolina con plomo, pues el plomo destruye el catalizador que contiene dicho aditivo y lo hace inservible.

Pero ¿por qué tiene que costar más cara la gasolina sin plomo? Por la simple y sencilla razón de que si queremos subirle el octanaje a una mezcla de gasolina que tiene 60 de octano, y que es inadecuada para los automóviles, la única forma de lograrlo con los medios hasta ahora aceptados es aumentar la concentración de hidrocarburos aromáticos, tales como el benceno, tolueno, xilenos, provenientes de la reformadora, y agregar más gasolina de los otros procesos antes mencionados.

Otra manera de ayudar a subir el octanaje de las gasolinas es agregándoles butano, un hidrocarburo con cuatro átomos de carbono. Este producto es gaseoso y suele mezclarse con la gasolina en el invierno para facilitar el arranque en frío de los motores.

Esta solución resulta muy conveniente, pues debido a las temperaturas bajas registradas durante el invierno, es muy fácil mantener disuelto este gas. Además, el butano es uno de los componentes del gas licuado que se quema en las estufas y cuyo costo es inferior al de la gasolina.

Durante los otros meses del año la concentración de butano en las mezclas de gasolina es menor y dependerá de la temperatura ambiente para mantenerse disuelta.

Ahora, con la explicación anterior, estamos listos para la siguiente pregunta: ¿cuántos tipos de gasolina existen en el comercio, y cuáles son las diferencias que existen entre ellas?

Según el país, se dispone por lo general de dos o tres tipos diferentes de gasolina comercial para cubrir las distintas especificaciones de los vehículos. Se les suele llamar regular con plomo, super con plomo y super sin plomo.

La regular con plomo se usa principalmente en automóviles y camiones que tienen motores con una relación de compresión hasta de 9:1. Esta gasolina es una mezcla de gasolinas provenientes de la desintegradora catalítica, la reformadora, gasolina natural y butano normal, con 3 ml de TEP por galón. Su octanaje es de 80 a 85.

La super con plomo se usa en vehículos con motores de compresión superior a 9:1. La mezcla típica contiene gasolinas provenientes de la desintegradora catalítica, la reformadora, la isomerizadora, la alquiladora gasolina natural, y butano normal. Además se le añade tetraetilo de plomo (TEP). Su octanaje es de 90 a 100 y en algunos países llega a ser hasta de 110.

La super sin plomo se usa en automóviles con mofles catalíticos que sirven para disminuir la cantidad de emisiones contaminantes de los gases de combustión del motor. La composición de sus mezclas es muy semejante al de la super pero con un mínimo o nada de gasolina natural. Además no contiene tetraetilo de plomo.

El hecho de que una gasolina no contenga TEP no significa que los automóviles que la usen no provocarán ninguna contaminación en el ambiente, pues el "smog" producido proviene principalmente de los hidrocarburos no quemados y del monóxido de carbono que salen del mofle. La cantidad de éstos depende de las condiciones de los motores (véase Apéndice 6), pero aun contando con automóviles bien afinados y nuevos, éstos de todas maneras serán fuentes de contaminación, ya que el rendimiento termodinámico de los motores de combustión interna es sólo de 23%, lo que significa que menos del 25% de la energía producida se aprovecha para mover el vehículo.



**Figura 14. La gasolina comercial es una mezcla de gasolina natural y gasolina sintética.**

Pero ¿qué relación existe entre la fabricación de gasolinas y las materias petroquímicas básicas?

La respuesta es muy sencilla: casi toda la industria petroquímica se basa principalmente en los hidrocarburos olefínicos como el etileno, propileno, buteno, penteno y los aromáticos benceno, tolueno y xileno. Casualmente las olefinas mencionadas (el etileno en menor grado), constituyen las materias primas para fabricar gasolina sintética en las polimerizadoras y las alquiladoras, mientras que los hidrocarburos aromáticos son lo que imparten un elevado índice de octano a las gasolinas de las reformadoras.

A continuación hablaremos sobre la petroquímica y la forma de obtener de ella otras materias primas.

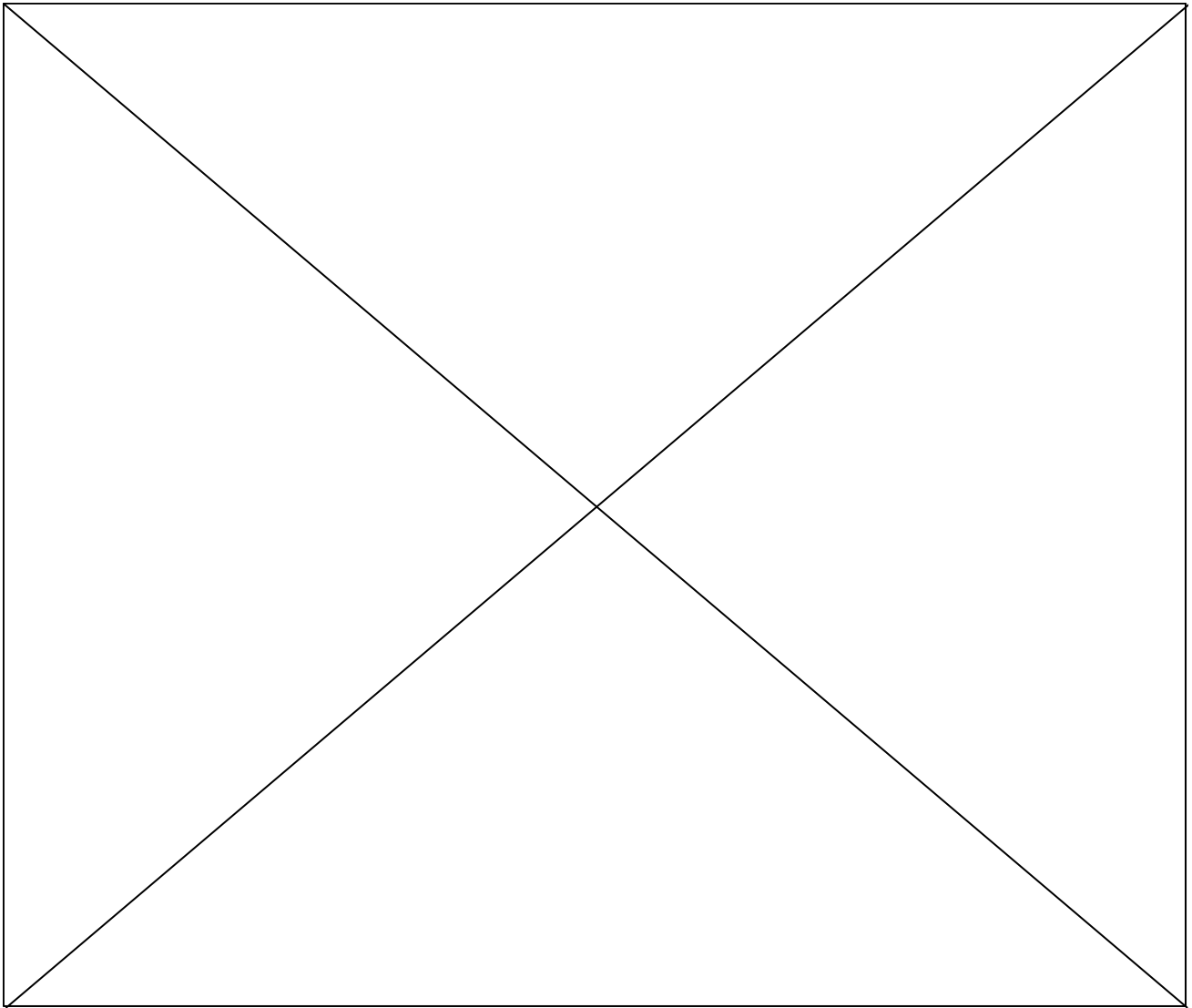
## VI. LOS PETROQUÍMICOS Y SUS MATERIAS PRIMAS

### ¿QUÉ ES LA PETROQUÍMICA?

LA PETROQUÍMICA comprende la elaboración de todos aquellos productos químicos que se derivan de los hidrocarburos del petróleo y el gas natural. Por lo general el término no incluye los hidrocarburos combustibles, lubricantes, ceras ni asfaltos.

Los petroquímicos no se consideran como un tipo o clase particular de productos químicos, ya que muchos de ellos han sido y continúan siendo fabricados con otras materias primas.

Así por ejemplo, el benceno, el metanol y el acetileno se pueden producir a partir del carbón de hulla. El glicerol se obtiene de las grasas, el etanol por fermentación de la caña de azúcar, el azufre de los depósitos minerales.



Sin embargo, todos ellos también se producen a partir del petróleo y en grandes volúmenes.

Algunos productos químicos se obtienen en la actualidad casi totalmente del petróleo. Un caso típico es el de la acetona que originalmente se producía de la destilación de la madera, y posteriormente de la fermentación de los productos agrícolas.

En el mismo caso se encuentra el cloruro de etilo que antiguamente se fabricaba a partir del etanol y actualmente sólo se fabrica industrialmente del petróleo.

La petroquímica incluye también muchos productos que antes no se conocían más que a nivel del laboratorio. Algunos de éstos son el

alcohol isopropílico, el óxido de etileno, los éteres glicólicos, el cloruro de alilo, el alcohol alílico, la epiclorhidrina, la metil-isobutilcetona y la acroleína.

El desarrollo de la química moderna después de casi 50 años ha demostrado que el petróleo es la materia prima ideal para la síntesis de la mayor parte de los productos químicos de gran consumo. Además de su gran abundancia y disponibilidad, está formado por una gran variedad de compuestos que presentan todas las estructuras carboniladas posibles, lo que permite acrecentar aún más las posibilidades de nuevos productos.

La importancia de la petroquímica estriba en su capacidad para producir grandes volúmenes de productos a partir de materias primas abundantes y a bajo precio.

La mayor parte de los compuestos petroquímicos son orgánicos. Sin embargo, también varios productos inorgánicos se producen en grandes cantidades a partir del petróleo, como por ejemplo el amoníaco, el negro de humo, el azufre y el agua oxigenada.

### **¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO?**

Cualquier clasificación química del petróleo presupone que se ha establecido de antemano el tipo de compuestos que lo forman. Para esto se clasifican los hidrocarburos del petróleo en tres grandes series.

La primera serie está formada por los hidrocarburos *acíclicos saturados*, llamados también *parafínicos*. Se les llama así porque no reaccionan fácilmente con otros compuestos. Su nombre proviene de las raíces griegas "parum", pequeña y "affinis", afinidad. Su fórmula general es  $C_nH_{2n+2}$  (n es un número entero positivo).

Los cuatro primeros hidrocarburos de esta serie son el metano ( $CH_4$ ), el etano ( $C_2H_6$ ) y el butano ( $C_4H_{10}$ ) y son los principales componentes de los gases del petróleo.

A la segunda serie pertenecen los hidrocarburos *cíclicos saturados* o *nafténicos* de fórmula general  $C_nH_{2n}$ , tales como el ciclopentano ( $C_5H_{10}$ ) y el ciclohexano ( $C_6H_{12}$ ).

La tercera serie la forman los hidrocarburos cíclicos no saturados, más conocidos como hidrocarburos *aromáticos*, cuya fórmula general es  $C_nH_{2n-6}$ . El compuesto más simple de esta serie es el benceno ( $C_6H_6$ ), que tiene seis átomos de carbono unidos por dobles ligaduras alternadas formando un anillo.

Los hidrocarburos de esta última serie, que se encuentran en el petróleo crudo por lo general, están constituidos por los llamados poliaromáticos, que son varios anillos bencénicos unidos entre sí y que se encuentran principalmente en las fracciones pesadas.

Sin embargo, aparte de las tres series antes mencionadas, existen en pequeñas cantidades otros hidrocarburos tales como los acíclicos no saturados, llamados también etilénicos u *olefinas*, de fórmula general  $C_nH_{2n}$ , las *diolefinas*  $C_nH_{2n-2}$  los acetilénicos  $C_nH_{2n-2}$ , además de otros hidrocarburos formados por la combinación de anillos y cadenas que pueden semejarse a varias de las series precedentes.

Como dijimos anteriormente, el petróleo crudo casi no contiene hidrocarburos bencénicos ligeros como el benceno, tolueno y xilenos. Tampoco cuenta con gran cantidad de olefinas ni diolefinas de pocos carbonos como son el etileno, propileno, butenos, butadieno e isopreno.

Sólo mediante procesos específicos o separándolos al fabricar gasolinas, es posible obtener estos importantes hidrocarburos.

### **¿CÓMO SE OBTIENEN LAS MATERIAS PRIMAS PETROQUÍMICAS?**

La industria petroquímica emplea ante todo como materias primas básicas las olefinas y los aromáticos obtenidos a partir del gas natural y de los productos de refinación del petróleo: el etileno, propileno, butilenos, y algunos pentenos entre las olefinas, y el benceno, tolueno y xilenos como hidrocarburos aromáticos.

Sin embargo, en algunos casos, la escasa disponibilidad de éstos hidrocarburos debido al uso alternativo que tienen en la fabricación de gasolina de alto octano ha obligado a la industria a usar procesos especiales para producirlos.

Por lo tanto, si se desea producir petroquímicos a partir de los hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo, es necesario someterlos a una serie de reacciones, según las etapas siguientes:

1. Transformar los hidrocarburos vírgenes en productos con una reactividad química más elevada, como por ejemplo el etano, propano, butanos, pentanos, hexanos etc., que son las parafinas que contiene el petróleo, y convertirlos a etileno, propileno, butilenos, butadieno, isopreno, y a los aromáticos ya mencionados.
2. Incorporar a las olefinas y a los aromáticos obtenidos

en la primera etapa otros heteroátomos tales como el cloro, el oxígeno, el nitrógeno, etc., obteniéndose así productos intermedios de segunda generación. Es el caso del etileno, que al reaccionar con oxígeno produce acetaldehído y ácido acético.

3. Efectuar en esta etapa las operaciones finales que forman los productos de consumo. Para ello se precisan las formaciones particulares de modo que sus propiedades correspondan a los usos que prevén.

Algunos ejemplos de esta tercera etapa son los poliuretanos, los cuales, dependiendo de las formulaciones específicas, pueden usarse para hacer colchones de cama, salvavidas, o corazones artificiales. Las resinas acrílicas pueden servir para hacer alfombras, plafones para las lámparas, prótesis dentales y pinturas.

Otro caso típico es el del acetaldehído que se produce oxidando etileno y que encuentra aplicación como solvente de lacas y resinas sintéticas, en la fabricación de saborizantes y perfumes, en la manufactura de pieles artificiales de tintas, cementos, películas fotográficas y fibras como el acetato de celulosa y el acetato de vinilo.

Esta clasificación tiene numerosas excepciones, a veces, por ejemplo, se reduce el número de etapas para hacer el producto final.

Es necesario mencionar otros productos que se consideran petroquímicos básicos sin ser hidrocarburos, como el negro de humo y el azufre. Éstos se pueden obtener del gas natural y del petróleo.

A continuación trataremos de explicar cómo se obtienen los productos de la primera etapa, entre los cuales consideraremos no sólo la obtención de olefinas y aromáticos, sino también la de negro de humo y azufre a partir de estos crudos.

## VII. PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS BÁSICOS

EN ESTA sección explicaremos cómo se transforman los hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo y el gas natural en productos más reactivos como son las olefinas, aromáticos ligeros, hidrógeno y monóxido de carbono.

### **OBTENCIÓN DE OLEFINAS**

Como dijimos anteriormente, las olefinas son hidrocarburos acíclicos insaturados. Los de mayor interés en cuanto a sus aplicaciones son aquellos que poseen de dos a cinco átomos de carbono: es decir, el etileno, propileno, n-buteno, butadieno e isopreno.

En los países en donde existen yacimientos ricos en gas natural, el etileno y el propileno se pueden obtener por medio del proceso llamado desintegración térmica (mencionado en el capítulo V), usando como carga el propano y butano contenidos en dicho gas.

Pero si no se dispone de grandes cantidades de propano y butano, porque se consume como gas LP (que es el combustible usado en las ciudades que no tienen sistemas de distribución de gas por medio de ductos), entonces se usa el etano como carga en el proceso de desintegración. En este caso los productos principales de la reacción son el etileno, el metano y el hidrógeno.

México es uno de los países que ha adoptado este último método para la obtención de su etileno, razón por la cual no es autosuficiente en propileno. Las únicas fuentes disponibles actualmente provienen de los procesos de desintegración usados para hacer gasolina.

Es bien conocido que el gas natural está compuesto sobre todo de gases no licuables. Por lo tanto su transporte solamente resulta costoso cuando se cuenta con gasoductos que lo conduzcan desde el lugar de producción hasta el de consumo. Por esta razón, para obtener olefinas, la mayor parte de los países europeos han optado por alimentar con hidrocarburos más pesados a las desintegradoras térmicas.

La carga más utilizada en las refinerías de Europa es una fracción denominada nafta o gasolina pesada, que proviene de la destilación primaria, y cuyas moléculas contienen de cinco a doce átomos de carbono. A veces se usan fracciones aún más pesadas como los gasóleos.



El aprovechamiento de fracciones líquidas como las que acabamos de mencionar, procura toda una serie de olefinas como son el etileno, propileno, butenos e isopentenos. También se forman diolefinas como el butadieno y el isopreno.

Además de los productos antes mencionados, se obtiene una cantidad no despreciable de gasolina de alto octano rica en aromáticos.

El hecho de poder producir gasolinas de alta calidad en el mismo proceso que se usa para obtener petroquímicos, ha permitido que se unan ciertas empresas para aprovechar mejor sus recursos. Así tenemos el caso de la refinería de la BP (British Petroleum) localizada en Lavera, Francia, que tiene un acuerdo con NaphtaChimie instalada muy cerca de ella. De esta manera, la refinería de la BP provee a esta última de la gasolina primaria que usa como carga para obtener olefinas, y NaphtaChimie se compromete a pagar dicho material con la gasolina de alto octano que obtiene como subproducto, y así ambas compañías se benefician mutuamente.

**CUADRO 4. Porcentaje de productos obtenidos usando diferentes cargas**

<i>productos en %</i>	<i>cargas usadas en la desintegradora térmica</i>				
	<i>etano</i>	<i>propano</i>	<i>butano</i>	<i>nafta</i>	<i>gasóleo</i>
etileno	80	46	40	33	28
propileno	2	11	16	10	12
gasolina rica en aromáticos	1	6	7	20	17
gases ligeros	12	28	22	19	12
metano, hidrógeno					
butilenos	1	5	10	8	8
combustóleos	1	1	2	5	19

El cuadro 4 ilustra la influencia que tienen las diferentes cargas usadas en las desintegradoras térmicas sobre la formación y distribución de sus productos.

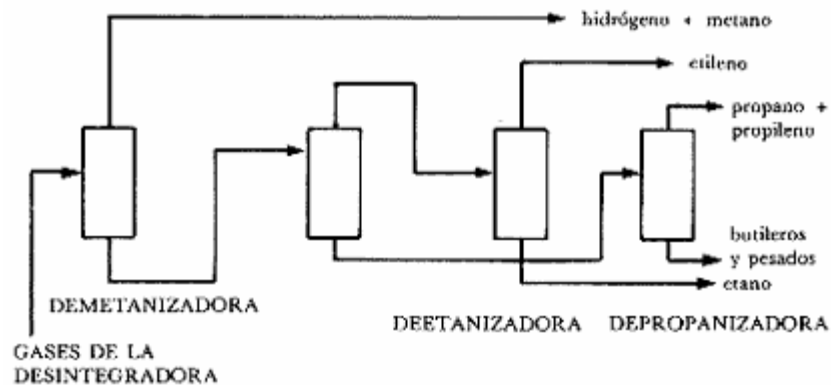
Así por ejemplo, cuando se usa gasolina pesada como carga, según las condiciones de operación que se empleen en el proceso, ésta nos puede dar 33% de etileno, 10% de propileno, 20% de gasolina de alto octano rica en aromáticos, 19% de gases ligeros ricos en metano e hidrógeno, 8% de butilenos entre los que se incluyen el butadieno e isopreno, y 5% de combustóleo (posiblemente formado por la polimerización de las olefinas).

Pero ¿cómo separar a las olefinas? Se hace físicamente, sometiendo los gases que salen del proceso de desintegración a una serie de separaciones por medio de columnas de destilación.

La figura 15 ilustra cómo lograrlo.

En esta figura vemos cómo los gases provenientes de la desintegradora (parcialmente licuados) se introducen a la primera columna de destilación llamada demetanizadora, en donde se extrae el hidrógeno y el metano por el domo o parte superior de la columna.

Los productos que salen del fondo se hacen pasar por una segunda columna llamada deetanizadora, en donde se separa el etano y el etileno por el domo para separarlos entre sí en una tercera columna.



**Figura 15. Destilación fraccionada de los gases de la desintegradora.**

El etileno obtenido en esta última tiene una pureza de 98-99% que es suficiente para la fabricación de óxido de etileno. Pero si se desea usar el etileno para hacer polietileno de alta densidad lineal que requiere una pureza de 99.9%, entonces es necesario someter el etileno a procesos de purificación, lo que aumenta su precio.

Pero regresemos a la deetanizadora, a lo que se saca del fondo de la misma y se hace pasar por una columna llamada depropanizadora, en donde se separa por el domo una mezcla de propano-propileno.

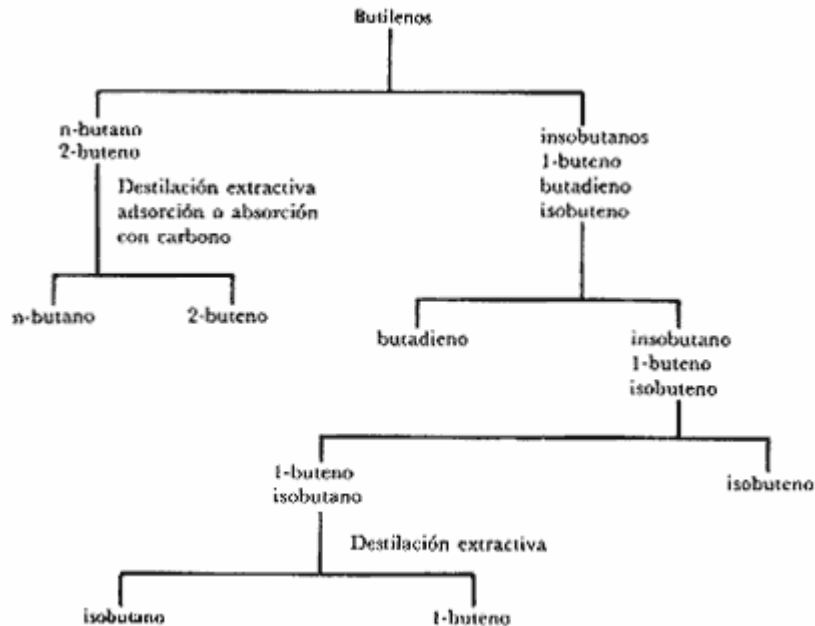
Existen procesos petroquímicos en donde se puede aprovechar el propileno junto con el propano, como en el caso de la fabricación del tetrámero de propileno usado en los detergentes sintéticos. Pero en otros casos como el de la fabricación de polipropileno es necesario someter la mezcla a purificaciones posteriores.

Por el fondo de la depropanizadora se extrae la fracción que contiene las olefinas con cuatro átomos de carbono en adelante. Esta fracción se somete a otras separaciones para eliminar de la fracción  $C_4$  los productos más pesados que fueron arrastrados por los gases de la desintegradora, tales como pentanos, pentenos, benceno, tolueno etc. (todos ellos líquidos).

Posteriormente, por medio de otros procesos de separación, se obtienen los butenos, isobutenos, butano, isobutano, butadieno e isopreno, como lo muestra la figura 16.

## OBTENCIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

La necesidad de producir aromáticos a partir del petróleo surgió con la segunda Guerra Mundial, debido a la enorme demanda de tolueno para producir trinitrotolueno (TNT), llamado comúnmente dinamita.



**Figura 16. Separación de la fracción de butilenos.**

Anteriormente, el tolueno se producía a partir del carbón mineral, pero esta industria fue insuficiente para satisfacer las demandas del mercado, lo que obligó a desarrollar procesos de producción y extracción de tolueno contenido en las fracciones del petróleo.

Después de la guerra, se mantuvo el mercado de los hidrocarburos aromáticos debido al desarrollo de los plásticos, detergentes, y una serie de productos sintéticos, además de la demanda creciente de gasolina de alto octano.

Los aromáticos de mayor importancia en la industria petroquímica son: el benceno, el tolueno y los xilenos. Estos hidrocarburos se encuentran en la gasolina natural en mínimas concentraciones, por lo que resulta incosteable su extracción.

Por lo tanto, para producirlos se desarrolló el proceso denominado de desintegración catalítica, cuya materia prima de carga es la gasolina natural o nafta pesada, cuyo alto contenido de parafinas lineales y cíclicas (naftenos) constituye el precursor de los aromáticos.

Uno de los procesos más comunes de reformación catalítica es el llamado de "platforming" que usa como catalizador platino soportado sobre alúmina.

Los productos líquidos de la reacción se someten a otros procesos en donde se separan los aromáticos del resto de los hidrocarburos.

Para separar los aromáticos entre sí, se puede utilizar cualquiera de los métodos siguientes: a) destilación azeotrópica (ver cuadro 5), b) destilación extractiva, c) extracción con solvente, d) adsorción sólida, y e) cristalización.

**CUADRO 5. Destilación azeotrópica para recuperar tolueno**

<i>porcentaje en volumen</i>		<i>MEK/AGUA</i>	<i>nitrometano</i>	<i>metanol</i>
producto del domo	olefinas	12.0	11.0	11.0
	tolueno	3.0	8.0	11.0
producto del fondo	olefinas	0.4	0.3	1.0
	parafinas	0.5	0.3	0.9
	tolueno	>99	>99	>98
recuperación de tolueno		97	93	89

## **OBTENCIÓN DEL NEGRO DE HUMO**

El negro de humo es otra materia petroquímica. Básicamente es carbón puro con una estructura muy semejante a la del grafito.

El tamaño de las partículas en el negro de humo es lo que determina su valor. Entre más pequeñas sean, más caro será el producto. Varían desde 10 hasta 500 m $\mu$  (milésima parte de una micra que a su vez es la milésima parte de un milímetro).

Existen tres procesos generales para fabricar industrialmente el negro de humo, que son los siguientes; proceso de canal, proceso de horno y proceso térmico.

Las materias primas para hacer negro de humo pueden incluir desde gas natural hasta aceites pesados con alto contenido de poliaromáticos, como los productos de la torre de vacío descrita en los capítulos anteriores.

La diferencia básica entre los dos primeros procesos y el último es que los procesos de canal y de horno obtienen los productos quemando parcialmente los materiales usados como materia prima, mientras que el proceso térmico consiste en descomponer los productos por medio de calor.

Antes de 1945, el negro de humo se fabricaba a partir del gas natural usando cualquiera de los tres procesos mencionados. Después de esta fecha se modificó el proceso de horno para de esta forma poder usar hidrocarburos líquidos como materia prima, y actualmente es el que más se usa

Los hidrocarburos que se utilizan como carga son desde gasóleos hasta residuos pesados. En general, estas cargas deben tener un alto porcentaje de aromáticos pesados o poliaromáticos, y un bajo contenido de azufre. Además deben producir un mínimo de ceniza mineral.

El negro de humo contiene de 88 a 99.3% de carbono, 0.4-0.8% de hidrógeno, y 0.3 a 17% de oxígeno.

El hidrógeno es un remanente de las moléculas de hidrocarburo originales, y por eso forma parte de la estructura grafitica. Por otro lado, como el oxígeno se absorbe en la superficie, se le puede incorporar en cantidades variables mediante tratamientos posteriores.

Las variedades de negro de humo comercial tienen una amplia gama de propiedades físicas y químicas, similares a las del grafito; pero como contiene grupos superficiales, las características de los productos finales en donde se usan son diferentes.

El negro de humo se usa en el hule de las llantas, en la fabricación de tintas, lacas, pinturas, en cierto tipo de polietileno. También se emplea el negro de humo para la fabricación de diamantes artificiales y para sembrar las nubes a fin de provocar lluvia.

## **OBTENCIÓN DE AZUFRE A PARTIR DEL PETRÓLEO**

El azufre es un producto que se encuentra en abundancia en el petróleo crudo y en el gas natural, bajo la forma de sus principales

derivados como son el ácido sulfhídrico y los mercaptanos (hidrocarburos que contienen azufre en su estructura molecular), los cuales se distinguen fácilmente por su fuerte olor a huevo podrido.

Estos derivados del azufre se encuentran presentes en todas las fracciones de la destilación del crudo. Por lo tanto es necesario someter todas las fracciones, sobre todo las de la destilación primaria, a los procesos llamados de desulfurización.

Algunas tecnologías efectúan la desulfurización de las fracciones en presencia de hidrógeno, otras no, pero todas hacen uso de catalizadores para efectuar esta transformación.

El azufre que se obtiene de las fracciones petroleras es de una excelente calidad. En muchos casos la pureza alcanzada es superior a 99%, y se puede usar directamente para fines farmacéuticos.

Es de suma importancia la eliminación de los derivados del azufre de las fracciones que van desde el gas hasta los gasóleos pesados. Esto se debe no sólo al hecho de que el azufre envenena los catalizadores y afecta la calidad de las gasolinas y la de los demás combustibles, sino sobre todo porque estos productos cuando se queman con los combustibles ocasionan problemas ecológicos muy graves.

Uno de los problemas más conocidos y que ha causado grandes discusiones entre Canadá y Estados Unidos es la llamada "lluvia ácida". Este fenómeno es provocado por el azufre contenido en los combustibles, que al ser quemado se transforma en bióxido de azufre que en presencia del ozono, los rayos ultravioleta y la humedad de la atmósfera, se convierte en ácido sulfúrico que se precipita con las lluvias.

El agua de estas lluvias es muy ácida, lo que provoca la destrucción de árboles y otras especies vegetales. También daña las especies animales, sobre todo las acuáticas, al aumentar la acidez de las aguas en los lagos. Además causa la corrosión de los monumentos históricos y edificios en las grandes ciudades como París, Roma, Londres, México, Atenas, Nueva York, Tokio, etc.

Sin embargo, la destrucción provocada por la lluvia ácida no sólo llega a afectar la flora, la fauna y los edificios, sino que también alcanza a los seres humanos al contaminar el agua "potable" que beben.

Pero, ¿cómo es esto posible?

La explicación más sencilla es la siguiente: el agua ácida se filtra a través de la tierra y forma sales de metales tóxicos como el arsénico, cobre, mercurio, etc., que son solubles en agua. Estas sales acaban en los ríos subterráneos y lagos que proveen el agua que

consumimos, y provocan una contaminación que no es fácil de eliminar con los procesos usuales de potabilización.

Después de hacer una revisión rápida de la forma en que se obtienen las materias primas petroquímicas a partir de los hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo crudo, nos gustaría describir brevemente la relación que existe entre el consumo de gasolina de alto octano y de gas LP, y los precios de los petroquímicos mencionados en este capítulo.

## VIII. RELACIÓN ENTRE EL PRECIO DE LOS PETROQUÍMICOS BÁSICOS Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES

LOS HIDROCARBUROS usados como materias primas petroquímicas tienen un papel crucial, y se interrelacionan con el gran negocio de los combustibles: gas LP, gasolina, diesel, combustóleos, etc. El consumo de combustibles ejerce gran fuerza sobre el precio de los petroquímicos, efecto que se manifiesta en múltiples formas, más notorias en los países donde la industria petrolera no es estatal sino privada, como en EUA.

Describiremos algunos factores que influyen para que el consumo de combustibles afecte el precio de los petroquímicos:

1) Todos los hidrocarburos usados como materia prima petroquímica pueden usarse como combustible, principio básico que subyace la economía petroquímica, y que deriva de que la industria petroquímica no consume tanto petróleo crudo y gas natural como para estabilizar sus precios. Así, en los últimos años, este consumo ha sido alrededor de 7% en países como EUA.

2) Comprobamos que el valor alterno como combustible de cualquier hidrocarburo es a su vez el mínimo que tendrá como materia prima petroquímica. Así, el valor de los hidrocarburos como combustible es el valor de base para todo lo demás.

El valor del combustible varía mucho con las circunstancias. Hubo una época en que EUA no aumentaba el precio del benceno, a pesar de su gran demanda en la industria química, debido al bajo consumo de gasolina de alto octano en esa época.

El fenómeno contrario se observó en 1974-1979, cuando hubo gran consumo de gasolina en dicho país. Además, el valor como combustible de los hidrocarburos incluye mucho más que los costos de explotación, producción, transportación y manejo. Hay también factores políticos que pueden alterarlos grandemente: las naciones productoras de petróleo pueden decidir venderlos a precios superiores o inferiores a sus costos de producción, según la ideología o su necesidad de divisas. Las naciones consumidoras pueden tener grandes reservas que satisfagan sus necesidades por un periodo determinado, y disminuir sus importaciones de crudo y gas, lo que hará que exista mayor oferta que demanda en el mercado internacional de petróleo, provocando una caída en su precio.



3) Otro factor que influye en la desviación de los petroquímicos al mercado de los combustibles es el clima! Los productores consideran como regla establecida que los costos de propano-butano se elevan en invierno, por un mayor uso de la calefacción y los calentadores de agua. También hay que aumentar el contenido de butano de las gasolinas para incrementar su volatilidad en el arranque en frío de los motores.

4) Otro factor a incluir en el mercado de petroquímicos es la ecología. Eliminar el **TEP** (tetraetilo de plomo) de las gasolinas implica usar **MTBE** (metil terbutil éter), **TAME** (ter-amil metil éter), aromáticos (benceno, tolueno, xilenos), isomerizados (isopentano, isohexano, isobutano), alquilados (isooctano), que dan alto octanaje a las gasolinas reformuladas, Magna Sin, Premium de PEMEX REFINACIÓN.

5) Afecta también la globalización económica, que obliga a los países a abrir su mercado y competir a nivel mundial en calidad y precio. Para hacerlo en petroquímica básica hay que producir grandes volúmenes con tecnología de punta. Los países en vías de desarrollo con un mercado cerrado y sin competencia se hallan ahora en desventaja, con tecnología obsoleta y bajo volumen de producción instalado que no les permiten producir a menor costo y alta calidad.

De acuerdo con la descripción anterior podemos ver claramente cómo el consumo de los combustibles afecta los precios de los petroquímicos básicos y por ende afecta también el de sus derivados, de los cuales hablaremos a continuación.

## IX. PRODUCTOS INTERMEDIOS DE LA PETROQUÍMICA

ESTE capítulo comprende lo que podríamos llamar la segunda etapa de las operaciones químicas, en donde se introducen a las moléculas de olefinas y aromáticos (cuya obtención se describió en el capítulo VII) heteroátomos como el oxígeno, nitrógeno, cloro, etc.

También se incluyen los productos formados por adición de diferentes moléculas de hidrocarburos a los petroquímicos básicos antes mencionados.

Los heteroátomos que se emplean en la industria química tienen que usarse de la manera más conveniente.

Por ejemplo, el oxígeno (O) puede obtenerse del agua ( $H_2O$ ), o del aire (21% de oxígeno + 79% de nitrógeno). En ciertos casos es necesario enriquecer de oxígeno el aire, para evitar transportar y eliminar grandes cantidades de nitrógeno.

Otro ejemplo lo constituye el nitrógeno (N), el cual, tal como se encuentra en el aire, es casi inerte y difícilmente reacciona con los hidrocarburos. Por lo tanto es necesario transformarlo a una forma más reactiva como el amoníaco ( $NH_3$ ) o el ácido nítrico ( $HNO_3$ ), o aun el ácido cianhídrico (HCN). Los productos que estudiaremos constituyen los compuestos más importantes de una industria que relaciona la refinación del petróleo, la producción de reactivos (como el ácido sulfúrico, ácido fosfórico, fosgeno, hidrógeno, monóxido de carbono, etc.), y las grandes industrias consumidoras de productos orgánicos e inorgánicos como son las que producen plásticos, fibras sintéticas, detergentes, fertilizantes, etc.

Muchos de estos compuestos son en sí productos terminados, como los solventes y los aditivos para gasolinas.

A continuación procederemos a describir los petroquímicos secundarios derivados del metano, etileno, propileno, butenos, butadieno, benceno, tolueno y paraxileno. Estos hidrocarburos se consideran como la base de casi toda la industria petroquímica.

Sin embargo, en este capítulo no describiremos en detalle cada uno de los procesos ampliamente explicados en la bibliografía; sólo mencionaremos las aplicaciones de cada uno de ellos. Posteriormente se ampliará este tema.

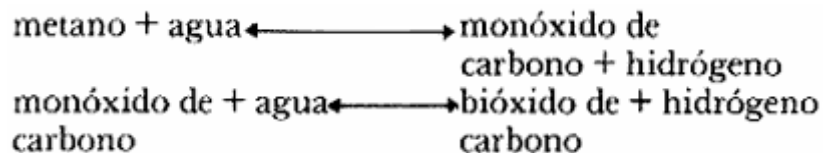
### PRODUCTOS DERIVADOS DEL METANO

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es el hidrocarburo parafínico que contiene más átomos de hidrógeno por átomo de carbono.

Esta propiedad se aprovecha para obtener el hidrógeno necesario en la fabricación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y metanol ( $\text{CH}_3 - \text{OH}$ ).

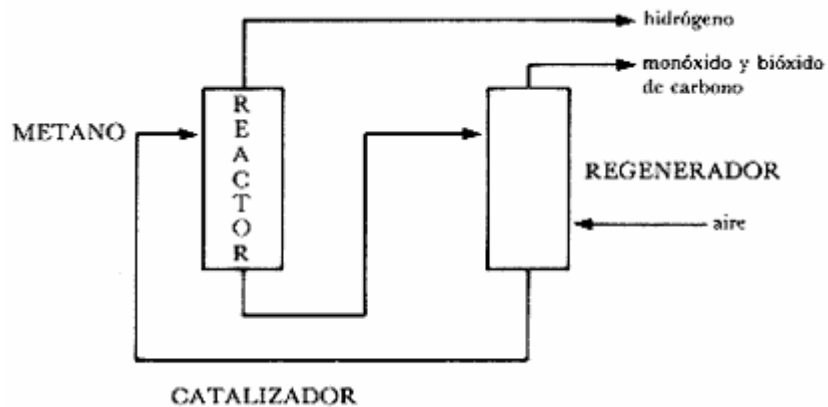
El hidrógeno se obtiene catalíticamente, quemando parcialmente el metano en presencia de oxígeno y de vapor de agua, con lo cual se forma una mezcla llamada gas de síntesis compuesta principalmente por monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ).

Las principales reacciones que intervienen son las siguientes:



La figura 17 nos describe el diagrama del proceso para producir gas de síntesis.

Cabe mencionar que también se suele usar el etano, el propano y el butano como materias primas, aunque éstos tienen en sus moléculas menos átomos de hidrógeno por átomo de carbono que el metano.



**Figura 17. Diagrama del proceso para producir gas de síntesis.**

Como dijimos anteriormente, el gas de síntesis se usa principalmente para hacer amoníaco y metanol.

A continuación describiremos brevemente la obtención de estos productos de segunda generación, así como sus principales aplicaciones.

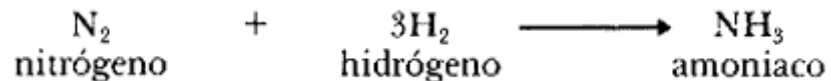
### *Obtención y usos del amoníaco*

El amoníaco, cuya fórmula química es  $\text{NH}_3$ , se fabrica a partir del nitrógeno del aire y del hidrógeno del metano.

Las etapas que constituyen el proceso de fabricación del amoníaco a partir de los compuestos anteriores, son las siguientes:

- destilación del aire
- oxidación parcial del metano con oxígeno
- eliminación del carbono
- conversión del monóxido de carbono con vapor de agua
- eliminación del bióxido de carbono formado
- eliminación del monóxido de carbono por medio de nitrógeno líquido
- formación de la mezcla nitrógeno + tres partes de hidrógeno.

La reacción para hacer el amoníaco es la siguiente:



Uno de los principales productos secundarios en la fabricación del amoníaco es el bióxido de carbono. Este gas tiene muchas aplicaciones industriales. Por ejemplo, cuando se comprime, el bióxido de carbono se transforma en el hielo seco que se usa como refrigerante en los carritos de helados y paletas. También encuentra amplia aplicación en la fabricación de agua mineral y de bebidas gaseosas en general.

Otros usos de gran importancia son los de la fabricación de productos químicos, entre los que se encuentra el carbonato y el bicarbonato de sodio usados para combatir la acidez estomacal, o para hacer pasteles y otros productos de repostería.

Pero para regresar a nuestro tema original, veamos a continuación cuáles son las aplicaciones que tiene el amoníaco.

### *Usos industriales del amoníaco*

La mayor parte del amoníaco se usa para hacer fertilizantes tales como el nitrato de amonio, sulfato de amonio, urea, fosfato de amonio y amoníaco disuelto en fertilizantes líquidos y sólidos.

Otras aplicaciones industriales incluyen la fabricación de reactivos químicos como el ácido nítrico, acrilonitrilo y ácido cianhídrico, que se utilizan para hacer explosivos, plásticos, fibras sintéticas, papel, etc.

En algunos refrigeradores caseros el gas de enfriamiento es el amoníaco, aunque el público está más familiarizado con su uso en los artículos de limpieza cuya publicidad destaca el contenido de "amonia" que garantiza la pulcritud de los vidrios, azulejos, pisos, etc.

### PRODUCTOS DERIVADOS DEL ETILENO

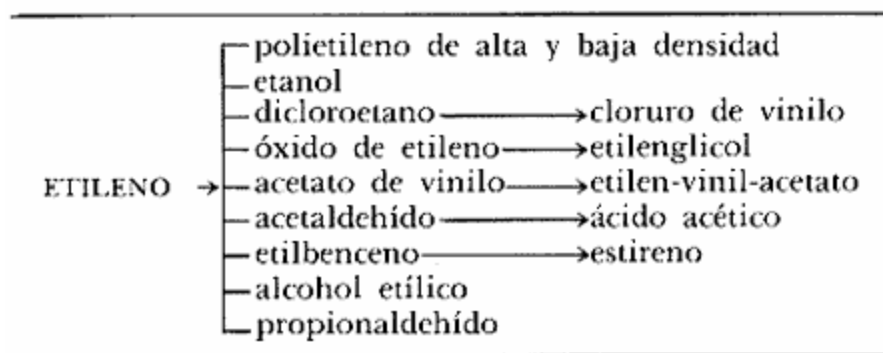
El etileno ( $C_2H_4$ ) es una olefina que sirve como materia prima para obtener una enorme variedad de productos petroquímicos.

La doble ligadura olefínica que contiene la molécula nos permite introducir dentro de la misma muchos tipos de heteroátomos como el oxígeno para hacer óxido de etileno, el cloro que nos proporciona el dicloroetano, el agua para darnos etanol, etc.

Asimismo permite unir otros hidrocarburos como el benceno para dar etilbenceno, y otras olefinas útiles en la obtención de polímeros y copolímeros del etileno.

El cuadro 6 ilustra algunas de estas reacciones.

**CUADRO 6. Principales derivados del etileno**



Para entender mejor estas reacciones, haremos un análisis breve de las mismas y describiremos algunas de las aplicaciones de los productos intermedios obtenidos.

#### *Oxidación del etileno*

En este caso el etileno reacciona con el oxígeno en fase gaseosa y en presencia de un catalizador.

*Óxido de etileno.* El petroquímico más importante que se fabrica por medio de esta reacción es el óxido de etileno. La reacción se lleva a cabo en fase gaseosa haciendo pasar el etileno y el oxígeno a través de una columna empacada con un catalizador a base de sales de plata dispersas en un soporte sólido.

El óxido de etileno como tal se usa para madurar las frutas, como herbicida y como fumigante, y sus aplicaciones como materia prima petroquímica son innumerables, siendo algunos de sus derivados el etilenglicol, polietilenglicol, los éteres de glicol, las etanolaminas, etc.

Los principales usos de los productos últimos de los derivados del óxido de etileno son: anticongelantes para los radiadores de autos, fibras de poliéster para prendas de vestir, polímeros usados en la manufactura de artículos moldeados, solventes y productos químicos para la industria textil.

También se utiliza el óxido de etileno en la producción de poliuretanos para hacer hule espuma rígido y flexible (el primero se usa para hacer empaques y el otro para colchones y cojines).

Otro uso de los derivados del óxido de etileno lo constituye la fabricación de adhesivos y selladores que se emplean para pegar toda clase de superficies como cartón, papel, piel, vidrio, aluminio, telas, etc.

*Acetaldehído.* Otro de los productos petroquímicos fabricados por oxidación del etileno es el acetaldehído.

El proceso industrial más usado es el que desarrolló la compañía Wacker de Alemania. La tecnología consiste en hacer reaccionar el etileno con una solución diluida de ácido clorhídrico que además contiene disueltos cloruros de paladio y de cobre, los cuales actúan como catalizadores.

La regeneración del catalizador se lleva a cabo en presencia de oxígeno.

Este proceso de oxidación en fase líquida lo emplean en Alemania las compañías Hoechst y Wacker, en Estados Unidos la Celanese y la Eastman, en Canadá la Shawinigan, en México Petróleos Mexicanos, en Italia la Edison, y en Japón diversas compañías.

El acetaldehído es un intermediario muy importante en la fabricación de ácido acético y del anhídrido acético. Estos productos encuentran una enorme aplicación industrial como agentes de acetilación para la

obtención de ésteres, que son compuestos químicos que resultan de la reacción de un alcohol, fenol, o glicol con un ácido.

Algunos de los ésteres que se derivan del ácido acético y los alcoholes apropiados son los llamados acetatos de metilo, etilo, propilo, isopropilo, isobutilo, amilo, isoamilo, n-octilo, feniletilo, etc. Estos productos son de olor agradable y se usan como saborizantes y perfumes.



**Figura 18. Películas fotográficas hechas con ésteres del ácido acético.**

El cuadro siguiente describe los olores que despiden algunos de los ésteres fabricados con ácido acético.

**CUADRO 7. Ésteres del ácido acético y sus aromas**

<i>nombre químico del éster</i>	<i>olor</i>
acetato de amilo	plátanos
acetato de isoamilo	peras
acetato de n-octilo	naranjas
acetato de feniletilo	rosas

Los ésteres derivados del ácido acético también sirven como solventes para extraer la penicilina y otros antibióticos de sus productos naturales. También se emplean como materia prima para la fabricación de pieles artificiales, tintas, cementos, películas fotográficas y fibras sintéticas como el acetato de celulosa y el acetato de vinilo.

El acetaldehído no sólo sirve para fabricar ácido acético, sino que también es la materia prima para la producción de un gran número de productos químicos como el 2-etilhexanol, n-butanol, pentaeritrol,

cloral, ácido cloroacético, piridinas, y ácido nicotínico. Estos petroquímicos secundarios encuentran múltiples aplicaciones. Por ejemplo, el pentaeritrol sirve para fabricar lubricantes sintéticos, el cloral y el ácido cloroacético para hacer herbicidas, el 2-etilhexanol para hacer plastificantes.

#### *Adición de cloro al etileno*

*Dicloroetano.* El etileno reacciona con el cloro cuando se encuentra en presencia de un catalizador de cloruro férrico y una temperatura de 40-50 °C y 15 atmósferas de presión.

El principal producto de la reacción es el dicloroetano, que encuentra su aplicación en la fabricación de cloruro de vinilo que sirve para hacer polímeros usados para cubrir los asientos de automóviles y muebles de oficina, tuberías, recubrimientos para papel y materiales de empaque, fibras textiles, etc.

El dicloroetano también se utiliza para fabricar solventes como el tricloroetileno, el percloroetileno y el metilcloroformo, que se usan para desengrasar metales y para el lavado en seco de la ropa.

Otras de las múltiples aplicaciones del dicloroetano son la fabricación de cloruro de etilo, tetraetilo de plomo (TEP), etilendiamina y otros productos aminados.

En el terreno de la medicina, el dicloroetano sirve como solvente para la extracción de esteroides.

#### *Adición de benceno al etileno*

*Etilbenceno.* El etilbenceno se puede obtener por medio de dos procedimientos: extracción de los aromáticos de las reformadoras, y síntesis a partir del etileno con benceno.

La reacción del etileno con benceno para obtener etilbenceno se lleva a cabo en presencia de catalizadores a base de ácido fosfórico adsorbido en arcilla. El etilbenceno se usa casi exclusivamente para hacer estireno, que a su vez es la materia prima para hacer plásticos de poliestireno.

Este producto se usa para fabricar artículos para el hogar, tales como las cubiertas de los televisores, licuadoras, aspiradoras, secadores de pelo, radios, muebles, juguetes, vasos térmicos desechables, etc. También se emplea para empaques y materiales de construcción.

El estireno, al copolimerizarse con otros reactivos como el butadieno y el acrilonitrilo, se convierte en los hules sintéticos llamados SBR (hule



estireno-butadieno), o las resinas ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno).

### *Hidratación del etileno*

*Alcohol etílico o etanol.* Una de las reacciones de gran importancia industrial es la hidratación del etileno para la obtención de alcohol etílico o etanol.

Esta reacción se puede hacer de dos maneras. 1) Agregarle agua a las moléculas de etileno en presencia de ácido sulfúrico de 90%, y 2) usar un proceso de alta presión que emplea un catalizador sólido de ácido fosfórico soportado sobre celite.

El primer proceso se desarrolló en 1930 y continúa usándose en la actualidad.

La tecnología del segundo proceso la introdujo la Shell y se usa principalmente en Estados Unidos y en algunos países de Europa.

El alcohol etílico es el producto básico de las bebidas alcohólicas, como el brandy, el ron, el cognac, vino tinto y blanco, etc., aunque éstos se obtienen por fermentación de los azúcares contenidos en la caña de azúcar o de frutas como la uva.

Como dijimos en capítulos anteriores, los petroquímicos no son productos que se obtengan exclusivamente a partir del petróleo, como el etanol, pero en muchos países el mayor volumen de este alcohol se produce a partir del etileno, cuyo precursor es el petróleo.

El alcohol etílico no sólo sirve para usos farmacéuticos sino que encuentra gran aplicación como solvente industrial, en los saborizantes, cosméticos y en la fabricación de detergentes.

Además, el etanol es la materia prima para hacer otros productos cuyos nombres y principales usos se describen a continuación.



**Figura 19. Artículos del hogar fabricados por polímeros del estireno.**



**Figura 20. El alcohol etílico se puede obtener por fermentación de la caña y a partir del etileno derivado del petróleo.**

proteína unicelular → complemento alimenticio para ganado  
etilaminas → productos químicos para hacer hule sintético, insecticidas, inhibidores de corrosión  
éter etílico → anestesia, solvente, y productos farmacéuticos  
acetato de etilo → tintas para imprenta, adhesivos, lacas, perfumes, saborizantes, películas fotográficas.

#### *Hidroformilación del etileno*

*Propionaldehído.* La reacción de hidroformilación sirve para obtener aldehídos que contienen un átomo de carbono más que la olefina original. En el caso del etileno, el producto de la reacción es el propionaldehído que tiene tres átomos de carbono en su molécula.

Este producto se obtiene industrialmente, haciendo reaccionar el etileno con gas de síntesis (hidrógeno + monóxido de carbono). Es la materia prima básica para la fabricación de n-propanol y del ácido

propiónico, cuyos usos describimos a continuación;

n-propanol	→	producción de herbicidas, solventes.
ácido propiónico	→	preservativo de granos, herbicidas, plásticos de celulosa

## **PRODUCTOS DERIVADOS DEL PROPILENO**

Los derivados del propileno se pueden clasificar según el propósito al que se destinan, en productos de refinería y productos químicos.

Se trató el primer caso en los capítulos anteriores, cuando hablamos de la producción de combustibles de alto octano por medio de los procesos de alquilación y de polimerización.

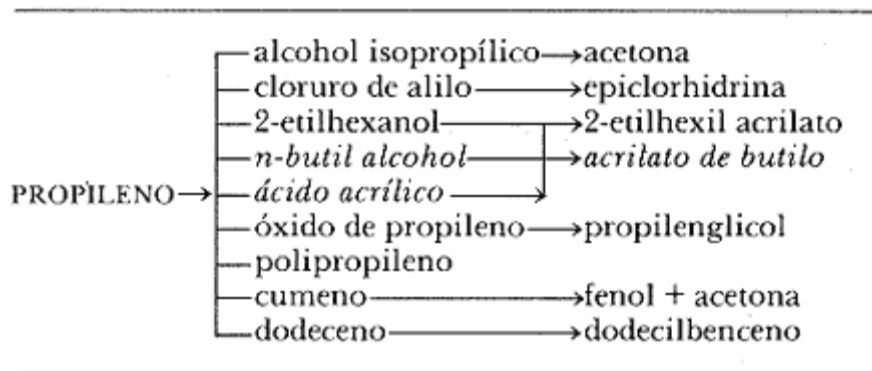
El segundo caso es el que implica la producción de petroquímicos, aprovechando la elevada reactividad que tienen las moléculas de propileno. Su doble ligadura nos permite introducir dentro de la misma una gran variedad de heteroátomos como el oxígeno, nitrógeno, agua, y otros hidrocarburos.

Las moléculas de propileno poseen una reactividad mayor que las del etileno.

Algunas de las reacciones que se hacen con el etileno, como la hidratación con ácido sulfúrico para la obtención de etanol, se pueden hacer con el propileno pero en condiciones menos severas.

El cuadro 8 nos describe algunos de los derivados importantes del propileno y sus usos principales.

### **CUADRO 8. Principales derivados del propileno**



Las reacciones de polimerización tanto del etileno como del propileno se describen en el capítulo correspondiente a los plásticos, resinas y elastómeros.

#### *Oligomerización del propileno*

Esta reacción es semejante a la polimerización, con la diferencia de que en este caso el número de moléculas de propileno que se unen entre sí se limita a dos, tres, cuatro o más, obteniéndose de esta manera hexenos, nonenos, dodecenos, etc.

El proceso de polimerización que se usa en las refinerías para hacer gasolinas, en realidad es una reacción de oligomerización que usa catalizadores a base de ácidos impregnados en sólidos como las arcillas.

Los hexenos y nonenos que tienen seis y nueve átomos de carbono respectivamente están en el rango de la fracción que corresponde a las gasolinas. Por lo tanto se suelen usar en las mezclas de este combustible.

Sin embargo, si se separan y purifican, se pueden utilizar para fabricar otros productos, sobre todo el noneno que se combina con el fenol para hacer nonilfenol, que es la base de los shampoos para el cabello.

El dodeceno, que tiene doce átomos de carbono en sus moléculas, se usa en la síntesis del dodecilbenceno. Este producto sirve para fabricar los detergentes no-biodegradables que se usan para lavar la ropa y las vajillas. Se emplea también para la fabricación de aditivos para el aceite de los motores.

#### *Oxidación del propileno*

*Óxido de propileno.* El principal producto petroquímico derivado de la oxidación del propileno es el óxido de propileno. Existen dos procesos industriales para hacer este petroquímico, que son el proceso de la clorhidrina y el proceso oxirane.

El óxido de propileno se usa como fumigante de alimentos tales como la cocoa, especias, almidones, nueces sin cáscara, gomas, etc.



**Figura 21. Nonilfenol derivado del propileno, base para hacer shampoos.**

Por lo general se usa diluido con bióxido de carbono para reducir al máximo su inflamabilidad.

También se ha encontrado que las fibras de algodón tratadas con óxido de propileno presentan mejores propiedades de absorción, de humedad y de teñido.



**Figura 22. Dodecibenceno derivado del propileno y el benceno, base de los detergentes.**

Los acumuladores de perclorato de litio usan como solvente una mezcla de óxido de propileno con carbonato de propileno.

Pero la importancia del óxido de propileno se debe, sobre todo, a las múltiples aplicaciones que tienen sus derivados, algunos de los cuales se mencionan a continuación.

*Poliolios poliéster.* Estos productos son la base de los poliuretanos.

Cuando su peso molecular es de 3 000 sirven para hacer poliuretanos flexibles como los que emplean en cojines y colchones. Pero si éste se encuentra entre 300 y 1 200, el poliuretano obtenido será rígido como el que se usa para hacer salvavidas.

*Propilenglicol.* Este producto derivado del óxido de propileno no es tóxico por lo que encuentra aplicación como solvente en alimentos y cosméticos.

Su principal aplicación industrial es el de la fabricación de resinas poliéster. También se usa como anticongelante y para hacer fluidos hidráulicos.

*Di y tripropilenglicol.* El dipropilenglicol se usa en la fabricación de lubricantes tanto hidráulicos como en la industria textil. Otros usos incluyen el de solvente, aditivo en alimentos y fabricación de jabones industriales.

El tripropilenglicol se usa en cosmetología para hacer cremas de limpieza. También entra en la composición de algunos jabones textiles y lubricantes.

*Polipropilenglicoles.* Estos productos de bajo peso molecular son líquidos que se obtienen a partir del óxido de propileno y agua o propilenglicol.

Las aplicaciones más importantes se encuentran en el terreno de los lubricantes de hule, y de máquinas, antiadherentes y fluidos hidráulicos.

*Éteres de glicol.* Los éteres de los monos, di y tripropilenglicoles se obtienen haciendo reaccionar el óxido de propileno con un alcohol. Generalmente éstos son el metanol o el etanol.

Se suelen utilizar como solventes de pinturas, resinas y tintas.

*Isopropilaminas.* Estas aminas se obtienen haciendo reaccionar el óxido de propileno con amoniaco. Junto con los ácidos grasos se usan como emulsificantes en los cosméticos, y como jabones y detergentes.

*Acrilonitrilo.* El propileno, si se oxida en presencia de amoniaco, produce en primer lugar acrilonitrilo y como productos secundarios de la reacción se obtienen el acetonitrilo y el ácido cianhídrico.

El acrilonitrilo se usa principalmente para hacer fibras sintéticas que mencionaremos más adelante. También se emplea para hacer resinas ABS y AS (acrilonitrilo-butadieno-estireno y acrilonitriloestireno). Asimismo sirve como materia prima para hacer el hule nitrilo, y los acrilatos, hexametilendiamina, la celulosa modificada y las acrilamidas.

Los metacrilatos de metilo, etilo, y n-butilo sirven para hacer polímeros para las industrias de pinturas, textiles y recubrimientos.

El metacrilato de metilo se usa para hacer pinturas, lacas y como material biomédico para la fabricación de prótesis dentales.

*Acroleína.* Este es otro producto que se obtiene por oxidación del propileno. Sirve como intermediario en la fabricación de glicerina que se usa tanto para hacer supositorios como para obtener dinamita.



**Figura 23. Los propelentes de los aerosoles son derivados del petróleo.**

La metionina es otro producto derivado de la acroleína. Su principal uso es el de suplemento alimenticio.

*Hidratación del propileno*

*Isopropanol.* El isopropanol o alcohol isopropílico se obtiene industrialmente haciendo reaccionar el propileno con ácido sulfúrico.

La mayor parte del isopropanol se usa para hacer acetona, un conocido quitaesmalte para las uñas. Otra aplicación del alcohol isopropílico es la fabricación de agua oxigenada, misma que se encuentra en los tintes para el pelo, y que además se emplea como desinfectante en medicina.

Este alcohol también se emplea para hacer otros productos químicos tales como el acetato de isopropilo, isopropilamina, y propilato de aluminio.

## **PRODUCTOS DERIVADOS DE LOS BUTILENOS**

En la industria petroquímica, la fracción de los hidrocarburos que contienen cuatro átomos de carbón es de vital importancia. A ésta se le conoce como la fracción de los butilenos ( $C_4$ ) (ver la figura 16).

Como dijimos en uno de los capítulos anteriores, los butilenos se obtienen de la fase gaseosa de las desintegradoras tanto térmicas como catalíticas. Los hidrocarburos con cuatro átomos de carbón provenientes de las desintegradoras se separan por diferentes medios, debido a los diferentes intervalos de temperatura implicados.

Por lo general, los métodos consisten en una combinación de destilaciones y extracciones usando solventes tales como la acetona y el furfural y adsorbentes como el carbón activado. Esto se ilustra en la figura 16.

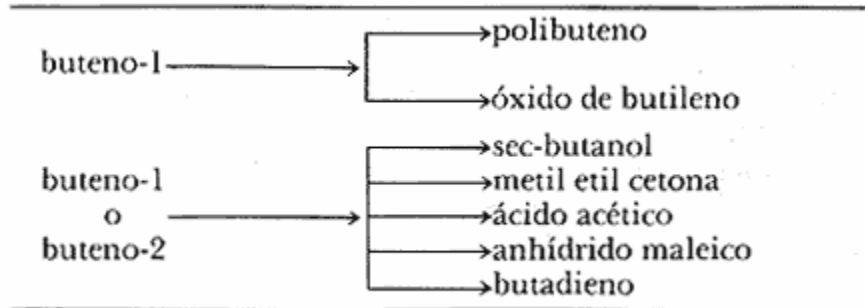
### *Principales usos de los butilenos*

*N-butenos.* Los n-butenos están compuestos principalmente por el buteno-1 y el buteno-2. El uso más común de estas olefinas es la fabricación de butadieno.

El cuadro 9 nos ilustra algunos de los principales usos de los n-butenos.

### **CUADRO 9. Principales usos del buteno-1 y buteno-2**





El polibuteno obtenido por la polimerización del buteno-1 es un producto que posee características físicas muy superiores a las del polietileno y del polipropileno.

El alcohol butílico secundario sirve para hacer acetato de butilo cuyo uso principal es el de solvente.

Este alcohol, al deshidrogenarse, da la metil etil cetona, la cual encuentra una amplia aplicación como solvente en la fabricación de lacas y en la recuperación de cera y parafinas en las refinerías.

El buteno-1 se emplea en la copolimerización con el etileno para la obtención de polietileno de baja densidad lineal (LLDPE). Las películas plásticas obtenidas a partir de este polímero poseen una resistencia mayor que las del polietileno de alta presión (LDPE).



**Figura 24. La petroquímica, presente desde que nacemos.**

El buteno-1 se puede convertir a octeno-1, el cual sirve para hacer ortoxileno y paraxileno. Este último es la materia prima para hacer ácido tereftálico, empleado en la fabricación de fibras sintéticas.

El ácido acético también se puede fabricar a partir de los butenos, usando un proceso en dos etapas que son: formación de acetato de sec-butilo, y oxidación a ácido acético.

Como dijimos anteriormente, el ácido acético puede también fabricarse a partir del acetaldehído derivado del etileno. Su principal aplicación es la producción de ésteres, pero también se usa para hacer anhídrido acético. Este último se usa principalmente para hacer las aspirinas que quitan el dolor de cabeza, y para fabricar el acetato de celulosa en la industria textil.

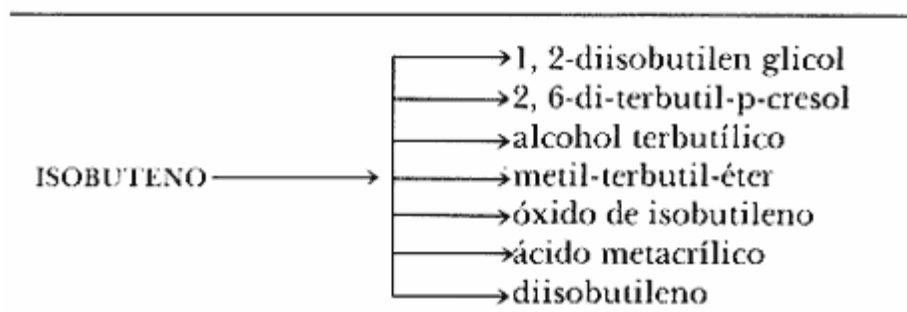
El anhídrido maleico es otro derivado de los butenos, que se obtiene por oxidación de los mismos. Sus principales usos son para la fabricación de poliésteres insaturados, ácido fumárico, insecticidas como el malatión, resinas alquídicas, y también se usa para modificar las propiedades de los plásticos pues se copolimeriza fácilmente con las olefinas.

El óxido de butileno sirve principalmente para hacer butilenglicol en la producción de plastificantes poliméricos, y también sirve para hacer productos farmacéuticos, surfactantes y productos usados en la agricultura.

*Isobuteno.* El isobuteno se puede obtener en los gases de las desintegradoras por isomerización de los n-butenos y por deshidrogenación del isobutano.

Las principales aplicaciones del isobuteno son las siguientes.

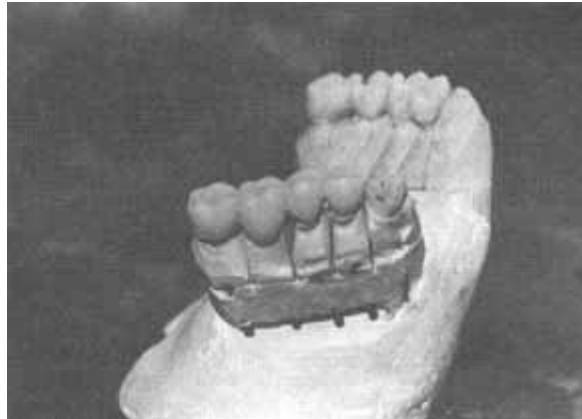
**CUADRO 10. Principales usos del isobuteno**



Haciendo reaccionar el isobuteno con el isobutano, nos da el 2, 2, 4 trimetilpentano o iso octano, que es un hidrocarburo altamente ramificado que se usa como referencia en la determinación del octanaje de las gasolinas.

El isobuteno con ácido sulfúrico a baja temperatura nos da el alcohol terbutílico que sirve como intermediario para muchos productos y como solvente.

Si se hace reaccionar el isobuteno con ácido sulfúrico o ácido fosfórico y después se calienta la mezcla, da altos rendimientos de diisobutilenos que pueden servir como combustibles de alto octano.



**Figura 25. Derivados del petróleo que intervienen en la fabricación de prótesis dentales, óxido de isobutileno, acrilonitrilo, precursores del ácido metacrílico y del metil metacrilato.**

También se puede usar como petroquímico en la obtención de terbutil fenol o teroctil fenol, que son intermediarios importantes para la preparación de inhibidores de oxidación y otros aditivos, así como en la preparación de detergentes.

Tanto el isobuteno como sus polímeros de bajo peso molecular reaccionan fácilmente con el ácido sulfhídrico a 100 °C en presencia de catalizadores de sílica-alúmina, para dar mercaptanos, que tienen gran aplicación industrial como solventes e intermediarios químicos. Por ejemplo, el terbutil mercaptano se usa en la preparación de aditivos para los aceites lubricantes, mientras que el dodecil mercaptano se emplea en la fabricación de hule GRS. Estos productos también sirven para la producción de insecticidas.

Los polímeros de alto peso molecular obtenidos a partir del isobuteno tienen gran aplicación en recubrimientos y plastificantes. Cuando se mezclan con ceras polietilénicas y ceras parafínicas, mejoran el índice de viscosidad de los aceites lubricantes y permiten que las mezclas retengan su viscosidad a temperaturas elevadas.

El isobuteno también sirve para hacer el alcohol terbutílico que se usa principalmente para hacer p-terbutil fenol, principal intermediario en la fabricación de las resinas fenol-formaldehído.

La principal aplicación del isobuteno es la producción de metil-terbutil-éter. Esto se logra haciéndolo reaccionar con metanol.

Este derivado del isobuteno es de gran importancia pues tiene un índice de octano de 115, por lo que se usa mezclado con el secbutanol para subir el octanaje de las gasolinas sin plomo. Otra propiedad que el isobuteno imparte a las mezclas es la de reducir el consumo de combustible y las emisiones de monóxido de carbono sin tener que modificar el sistema de combustible.

El óxido de isobutileno es otro derivado del isobuteno. De este producto se hace ácido metacrílico (MAA), que sirve para hacer metil metacrilato (MMA), usado para producir polímeros que encuentran una amplia aplicación en odontología, como veremos después en los siguientes capítulos.

*Butadieno.* El butadieno, al igual que el isobuteno, encuentra su principal aplicación en la producción de hules y resinas sintéticas.

Sin embargo, el butadieno también tiene otras aplicaciones: una de las más interesantes es la fabricación de la hexametilendiamina, que es el producto clave para la fabricación del nylon.

El cuadro siguiente describe algunos derivados del butadieno.

**CUADRO 11. Principales derivados del butadieno**

	<i>producto inicial</i>	<i>producto final</i>
BUTADIENO	→ diclorobutenos	hexametilendiamina
	→ ácido adípico	_____
	→ 1,4 diacetoxi-2-buteno	1,4-butanodiol
	→ sulfoleno	sulfolano
	→ 3,4-dicloro-1-buteno	cloropreno
	→ 1,3 y	
	→ 1,5-ciclopentadieno	_____

El 1,4 butanodiol derivado del butadieno se usa principalmente en la fabricación del tetrahidrofurano que es un solvente de gran importancia dentro de la industria química. Este alcohol también se emplea en la síntesis de poliuretanos, en la fabricación de hule sintético, y en las industrias de plastificantes y poliésteres termoplásticos.

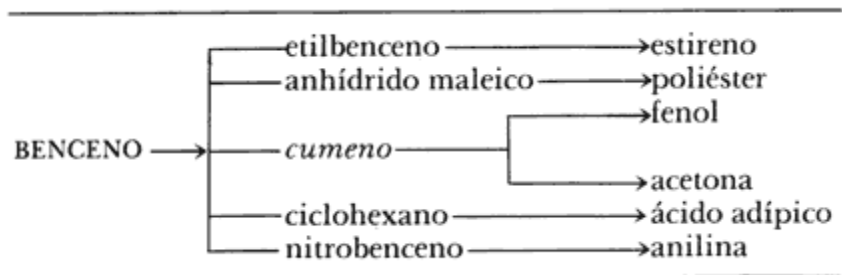
El cloropreno es otro derivado importante del butadieno. Al polimerizarse este derivado clorado, se obtiene un hule que posee alta resistencia a los aceites, solventes y al ozono. Los empaques de válvulas y conectores hechos de cloropreno son excelentes para resistir los gases como el freón y el amoniaco (usados en refrigeración).

## PRINCIPALES DERIVADOS DEL BENCENO

El benceno se obtiene a partir de las reformadoras de nafta, de la desintegración térmica con vapor de agua de la gasolina, de las plantas de etileno y por desalquilación del tolueno.

En el cuadro siguiente veremos una descripción de sus derivados principales.

**CUADRO 12. Principales derivados del benceno**



### *Alquilación del benceno*

La alquilación del benceno consiste en hacerlo reaccionar con una olefina.

El etilbenceno se obtiene haciendo reaccionar el etileno con el benceno, y como dijimos anteriormente, su uso principal es la fabricación de estireno.

El benceno con el dodeceno da el dodecilbenceno que se usa para hacer los detergentes.

Pero si se hace reaccionar con el propileno, se obtiene el cumeno. Este derivado petroquímico es muy importante pues es la materia prima para hacer el fenol y la acetona.

El 50% del fenol que se produce se usa para hacer resinas fenólicas, mientras que el 17% se emplea en la fabricación del bisfenol-A. Este producto es la base para la producción de resinas epóxicas, ampliamente usadas en la fabricación de pegamentos.

Otras aplicaciones del fenol son la fabricación del ácido acetil salicílico conocido por el público como aspirina.

Los derivados clorados del fenol sirven para hacer herbicidas y como preservadores de la madera.

*Nitrobenceno.* Este producto se prepara haciendo reaccionar el benceno con ácido nítrico en presencia de ácido sulfúrico.

El nitrobenzeno se usa casi totalmente para fabricar anilina.

Los usos más importantes de la anilina son la producción de isocianatos para hacer poliuretanos, la fabricación de productos químicos para las industrias hültera, fotográfica y farmacéutica, y en la producci3n de tintes.

*Clorobenceno.* Este petroquímico se fabrica haciendo reaccionar el benceno con cloro.

Del clorobenceno se produce el insecticida conocido como DDT, y también se emplea para fabricar anilina y otros intermediarios de la industria química como el cloronitrobenzeno, bisfenilo, etc.

*Ciclohexano.* Si hidrogenamos el benceno obtendremos el ciclohexano.

Este producto se ocupa principalmente para hacer caprolactama y ácido adípico que se usan en la fabricaci3n del nylon-6 y el nylon 6.6.

## PRINCIPALES DERIVADOS DEL TOLUENO

Los principales derivados del tolueno se resumen en el cuadro siguiente:

**CUADRO 13. Principales derivados del tolueno**

	<i>reacci3n</i>	<i>productos</i>	
TOLUENO →	hidrodealquilaci3n	→ benceno + metano	
	desproporci3n	→ benceno + xilenos	
	nitraci3n	→	→ trinitrotolueno (TNT)
		→	→ 2,4 dinitrotolueno
	oxidaci3n	→	→ benzaldehido
		→	→ ácido benzoico
	cloraci3n	→	→ cloruro de bencilo
carbonilaci3n	→	→ p-tolualdehido	

Los usos principales de los derivados del tolueno son los siguientes:

*cido benzoico.* Este producto se usa para condimentar el tabaco, para hacer pastas dentficas, como germicida en medicina y como intermediario en la fabricaci3n de plastificantes y resinas.

Las sales de sodio del ácido benzoico se emplean en la industria alimenticia para preservar productos enlatados y refrescos de frutas.

*Benzaldehído.* El benzaldehído se usa como solvente de aceites, resinas, y de varios ésteres y éteres celulósicos. Pero este producto también es ingrediente en los saborizantes de la industria alimenticia, y en la fabricación de perfumes.

*Cloruro de bencilo.* El cloruro de bencilo sirve principalmente para fabricar el alcohol bencílico. Este alcohol tiene múltiples aplicaciones de gran utilidad, tales como la fabricación de acetato de bencilo usado como perfume de bajo costo en la fabricación de jabones.

El alcohol bencílico también sirve para la obtención del ácido fenilacético que es la base para la producción de la penicilina G y otros productos farmacéuticos como la anfetamina y el fenobarbital.

### **PRINCIPALES DERIVADOS DE LOS XILENOS**

*Paraxileno.* El principal derivado de p-xileno es la fabricación del ácido tereftálico TPA, y el dimetil tereftalato DMT.

La aplicación más importante del TPA y el DMT es la producción de tereftalato de polietileno usado principalmente en la industria textil.

Sin embargo, otras aplicaciones como la fabricación de poliésteres insaturados y el tereftalato de polibutileno PBT están adquiriendo cada vez mayor importancia en la industria de los plásticos, como lo veremos en los siguientes capítulos.



**Figura 26. Los productos enlatados usan ácido benzoico derivado del tolueno como preservativo.**

*Ortoxileno.* El ortoxileno se usa principalmente para la fabricación del anhídrido ftálico, sobre todo para la producción de cloruro de polivinilo (PVC).

Otros usos son la fabricación de resinas alquídicas y como materia prima para ftalonitrilo, que sirve para hacer pigmentos.

*Metaxileno.* El metaxileno, por lo general, se isomeriza para convertirlo en ortoxileno y paraxileno, los cuales tienen mayor importancia industrial.

En resumen, en este capítulo vimos los principales derivados petroquímicos y algunos de sus usos.

No se cubrieron las aplicaciones correspondientes a los polímeros, resinas, y hules sintéticos. Este tema es tan amplio que decidimos incluirlo en un capítulo especial para ver con claridad cómo estos productos han invadido todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana.



## X. POLÍMEROS DERIVADOS DEL PETRÓLEO

EN ESTE capítulo describiremos los polímeros o resinas sintéticas que se derivan de los petroquímicos básicos como el metano, etileno, propileno, butilenos, benceno, tolueno y xilenos.

A continuación mencionamos algunas de las materias primas petroquímicas usadas en la fabricación de estos polímeros:

*Metano* → urea, formaldehído, fosgeno, bióxido de carbono, amoniaco.

*Etileno* → cloruro de vinilo, etilenglicol, acetato de vinilo, estireno, óxido de etileno, alcohol polivinílico.

*Propileno* → cloruro de alilo, epiclorhidrina, 2-etilhexil acrilato, butil acrilato, etil acrilato, metil acrilato, óxido de propileno, polioles, propilenglicol, acrilonitrilo.

*Butilenos* → butadieno, anhídrido maleico.

*Benceno* → estireno, ácido salpico, caprolactama, anilina, hexametildiamina.

*Tolueno* → toluendiisocianato.

*Ortoxileno* → anhídrido ftálico.

*Metaxileno* → ácido isoftálico.

*Paraxileno* → ácido tereftálico y dimetil tereftalato.

El consumo de polímeros o plásticos ha aumentado considerablemente en los últimos años. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la madera, el algodón, el papel, la lana, la piel, el acero y el concreto.

Los factores que han favorecido el mercado de los plásticos son los precios de muchos materiales plásticos que son competitivos y a veces inferiores a los de los productos naturales, y el hecho de que el petróleo ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras fuentes naturales.

Este aumento en el consumo de los plásticos lo comprobamos al observar que en 1974 se consumían 11 kilogramos por individuo, pero se calcula que para 1990 el consumo mundial será de 34.5 kilogramos *per capita*.

La crisis petrolera de 1974 también influyó en el aumento del consumo de los plásticos, sobre todo en la industria automotriz. Al aumentar los precios del petróleo, los países desarrollados se vieron obligados a buscar nuevas alternativas para ahorrar energéticos. Los plásticos ofrecieron una buena opción para lograr la meta, pues permitían disminuir el peso de los vehículos, lo cual repercutía en un ahorro en el consumo de combustible por kilómetro recorrido.

En 1979 los automóviles se construían usando un promedio de 4.5% de materiales plásticos, o sea alrededor de 80 kilogramos / automóvil. En 1980, este porcentaje subió hasta 10% del peso total, o sea 125-150 kilogramos/automóvil.

Entre los polímeros usados para reducir el peso de los automóviles se encuentran los poliésteres, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliuretanos, polietileno, nylon y ABS (acrilonitrilo-butadienoestireno).

Sin embargo, el mercado más grande de los plásticos es el de los empaques y embalajes, siendo el polietileno el que ocupa el 43% en este campo.

Lo anterior provoca un problema que no podemos ignorar: la contaminación por desperdicios no biodegradables. En Estados Unidos el 4% de los desperdicios sólidos en los basureros municipales son los plásticos. Este porcentaje parece muy pequeño aparentemente, pero si tomamos en cuenta que la cantidad de basura asciende a varios cientos de miles de toneladas, entonces comprobamos la dimensión del problema.

Existen varias tecnologías que se están aplicando y otras que se están desarrollando en esta dirección. A continuación mencionaremos algunas de ellas.

En Estados Unidos la compañía Western Electric emplea un proceso que consiste en reciclar el plástico de los basureros por remoldeo, ya que el 80% de estos polímeros son termoplásticos.

Otra alternativa para resolver el problema de los plásticos de desperdicio es procesarlos y convertirlos en productos químicos valiosos por medio de un proceso de desintegración. El producto recuperado depende de la naturaleza del plástico usado y de la temperatura aplicada.

En un experimento en el cual se usó el polietileno y se rompieron las cadenas poliméricas a 740°C, los principales productos fueron metano 16.2%, etileno 25%, benceno, tolueno, xilenos 29% y ceras polietilénicas 7%.

Cuando se desintegra el poliestireno a la misma temperatura se recupera el 71.6% del estireno.

Una tercera alternativa es la de producir plásticos que sean fotodegradables, o sea que se degraden con la luz, para evitar tener que recuperarlos.

Sin embargo, el problema ecológico provocado por la industria de los plásticos es demasiado grande como para considerar que ya esté resuelto.

Pero regresemos a nuestro tema original y veamos en qué forma los polímeros derivados del petróleo constituyen una parte muy importante de nuestra vida. Los encontramos en nuestros alimentos, medicinas, vestidos, calzado, casas, edificios, escuelas, oficinas, campos, fábricas y en todos los vehículos usados como medios de transporte.

Primeramente procederemos a clasificar los polímeros (también llamados plásticos o resinas) en dos categorías: termoplásticos y termofijos.

## **TERMOPLÁSTICOS**

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total de los plásticos.

El cuadro siguiente nos describe los principales polímeros termoplásticos.

### **CUADRO 14. Principales termoplásticos**

<i>nombre</i>	<i>abreviación</i>	<i>densidad</i>
polietileno de baja densidad	LDPE	0.91
polietileno de alta densidad	HDPE	0.95
polipropileno	PP	0.902
cloruro de polivinilo	PVC	1.35
acetato de polivinilo	PVA	—
poliestireno	PS	1.05
acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS	—
acrilonitrilo-estireno	SAN	—
polimetilmetacrilato	—	—
polihexametilen diamida	Nylon 66	1.14
policaprolactama	Nylon 6	1.14
polietilentereftalato	PET	—
polibutilentereftalato	PBT	1.3

### *Polietileno*

Éste es el termoplástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque.

Se trata de un plástico barato que puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

Según la tecnología que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno: el de baja densidad y el de alta densidad.

*Polietileno de baja densidad.* Dependiendo del catalizador, este polímero se fabrica de dos maneras: a alta presión o a baja presión.

En el primer caso se emplean los llamados iniciadores de radicales libres como catalizadores de polimerización del etileno. El producto obtenido es el polietileno de baja densidad ramificado, conocido como LDPE.

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión se emplean catalizadores tipo Ziegler Natta y se usa el buteno-1 como comonomero. De esta forma es como se obtiene el propileno de baja densidad lineal (LLDPE), que posee características muy particulares, entre las que se cuenta la de poder hacer películas más delgadas y resistentes. Son muy útiles en la fabricación de pañales desechables, por ejemplo.

Ambos tipos de polímeros sirven para hacer películas, hojas, moldeo por inyección, papel, y recubrimientos de cables y alambres.

Las películas de polietileno se utilizan en la fabricación de las bolsas y toda clase de envolturas usadas en el comercio.

Empleando el moldeo por inyección se fabrican toda clase de juguetes y recipientes alimenticios.

La distribución del mercado en México en 1983 según sus usos es la siguiente:

**CUADRO 15. Consumo de polietileno LDPE en México (1983)**

<i>producto</i>	<i>%</i>
películas	83.6
artículos para el hogar	6.0
tuberías	4.6
empaques	0.4
cables y mangueras	0.4

La alta proporción de películas de polietileno es explicada porque sustituye al papel para bolsas y envolturas, pues hay escasez en México y se debe importar gran cantidad de pulpa cada año a alto costo.

*Polietileno de alta densidad (HDPE).* Cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en presencia de catalizadores ZieglerNatta, se obtiene el polietileno de alta densidad (HDPE).

La principal diferencia entre el LDPE y el HDPE es que el primero es más flexible debido a que la cadena polimérica tiene numerosas ramificaciones con dos o cuatro átomos de carbono, mientras que en el HDPE las cadenas que lo constituyen casi no tienen cadenas laterales lo que les permite estar más empacadas y por lo tanto el polímero es más rígido.

El HDPE, debido a sus propiedades, se emplea para hacer recipientes moldeados por soplado. Casi el 85% de las botellas moldeadas por soplado se hacen de HDPE.

Las tuberías fabricadas con este material son flexibles, fuertes y resistentes a la corrosión, por lo que se utilizan ante todo para transportar productos corrosivos y abrasivos. También se usan en la perforación y transporte de petróleo crudo.

El polietileno en fibras muy finas interconectadas entre sí y formando una red continua sirve para hacer cubiertas de libros y carpetas, tapices para muros, etiquetas, batas de laboratorio, mandiles, y

forros de sacos para dormir. En México la distribución del mercado en 1983 según los usos fue como sigue:

**CUADRO 16. Consumo de polietileno HDPE en México (1983)**

<i>producto</i>	<i>%</i>
artículos para el hogar	36.5%
envases industriales	22.6%
envases de alimentos y farmacéuticos	11.2%
envases para líquidos	12.0%
juguetes	8.0%
papeles plásticos transparentes	1.0%
perfiles	6.0%
tuberías	2.0%
otros	0.7%

El polipropileno se produce desde hace más de veinte años, pero su aplicación como un excelente termoplástico data de los últimos diez años.

Este retraso se debió a la falta de una producción directa del propileno, pues éste siempre fue un subproducto de las refinerías o de las operaciones de desintegración del etano o de cargas más pesadas en la fabricación de etileno.

Otro factor que influyó en el retraso del desarrollo del polipropileno fue la falta de un catalizador para producir un polímetro estereoregular.

Como el polipropileno tiene un grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del grupo metilo pueden tomar cualquiera de las tres estructuras siguientes:

1. *Isotáctico*, cuando los grupos metilo unidos a la cadena están en un mismo lado del plano.
2. *Sindiotáctico*, cuando los metilos están distribuidos en forma alternada en la cadena.
3. *Atáctico*, cuando los metilos se distribuyen al azar.

El punto decisivo para la producción industrial del polipropileno fue el descubrimiento de Natta; desarrolló un catalizador tipo Ziegler que produce polímeros predominantemente isotácticos.

Debido a su elevada estereorregularidad, este polímero posee una alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empacadas y producen resinas de alta calidad.

### *Propiedades y usos del polipropileno*

Las propiedades del polipropileno comercial varían de acuerdo al porcentaje de polímero isotáctico cristalino y del grado de polimerización.

El polipropileno cristalino tiene un punto de fusión de 170°C, por lo que se usa para elaborar bolsas que se pueden meter al horno, permitiendo cocinar los alimentos sin que pierdan sus jugos. Los artículos hechos con polipropileno tienen una buena resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad.

Otras propiedades importantes del polipropileno son su dureza, alta resistencia a la abrasión y al impacto, excelente transparencia, y que no es tóxico.

El moldeo por inyección consume el 40% de la producción. Los artículos fabricados con esta técnica pueden ser partes de aparatos eléctricos, juguetes, maletas, tapas de botellas, jeringas.

Debido a su ligereza y dureza, el polipropileno se usa mucho en la industria automotriz. Se emplea en la fabricación de adornos interiores, revestimiento de los guardafangos, bastidores del aire acondicionado y de la calefacción, ductos y en las cajas de los acumuladores.

El 30-35% del polipropileno se usa en la industria textil. Estas fibras de bajo costo y excelentes propiedades compiten con el yute y el henequén, y sirven para tapicería, ropa interior y ropa deportiva, alfombras, y cables para uso marítimo.

En el mercado de las películas, este polímero compite con el celofán y se utiliza principalmente en envolturas de cigarros, galletas, etc.

En México, el 45% del polipropileno se usó en 1983 para la fabricación de cintas (*slit-tape*) que sirven para hacer costales para el azúcar, fertilizantes, harina, etc.

Las mejoras en el campo del polipropileno incluyen el nuevo material hecho por copolimerización del etilenopropileno.

Se dice que este copolímero constituye el puente entre el verdadero plástico y el verdadero elastómero, o sea un elastómero termoplástico. Este producto fue desarrollado por la DuPont, posee propiedades semejantes al hule y puede procesarse como cualquier

termoplástico. Algunos productos fabricados con este material sirven para hacer selladores, partes automotrices y suelas de zapatos.

### *Cloruro de polivinilo (PVC)*

Este polímero se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo.

Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos.

Estos materiales pueden estirarse hasta 4.5 veces su longitud original.

El PVC rígido tiene densidades de 1.3 a 1.6. Los artículos hechos con este material no pueden estirarse más del 40% de su longitud original.

El cloruro de polivinilo se suele copolimerizar con otros monómeros para modificar y mejorar la calidad de la resina.



**Figura 27. Termoplásticos usados para empacar alimentos.**

El copolímero de PVC con acetato de vinilo es más flexible, posee mayor resistencia a la tensión, tiene menor punto de fusión y es más estable al calor y a la luz que el cloruro de polivinilo.

Las resinas de PVC casi nunca se usan solas, sino que se mezclan con diferentes aditivos.

El PVC flexible constituye el 50% de la producción, y se destina para hacer manteles, cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos, tapicería de automóviles, etc.

El PVC rígido se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado, botellas, y también de partes de automóviles.



En México el consumo de cloruro de polivinilo se distribuyó de la siguiente manera en 1983.

**CUADRO 17. Distribución del consumo de PVC en México**

<i>Cloruro de polivinilo</i>	<i>%</i>
tubería	22
película rígida y flexible	16
botellas	20
calzado	15
recubrimientos para cable	9
perfiles y mangueras	6
losetas	5
otros	7

### *Poliestireno y copolímeros de estireno*

El poliestireno (PS) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación.

El PS posee baja densidad, estabilidad térmica y bajo costo. Sin embargo algunas de sus propiedades físicas pueden ser desfavorables, como el hecho de ser rígido y quebradizo. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizando el estireno con otros monómeros y polímeros.

Así por ejemplo, cuando se copolimeriza el estireno con el acrilonitrilo (SAN), el polímero resultante tiene alta resistencia a la tensión.

El poliestireno es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. Fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección.

Posee buenas propiedades eléctricas que lo hacen apropiado para aplicaciones electrónicas. El Ps absorbe poca agua, lo que permite que sea un buen aislante eléctrico. Tiene una resistencia moderada a los productos químicos, pero es atacado por los hidrocarburos aromáticos y los clorados.

Esta resina se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

El primer tipo, denominado de uso común o cristal, encuentra sus principales aplicaciones en los mercados de inyección y moldeo.

El segundo tipo corresponde al poliestireno de impacto (alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Éste se utiliza también en los mercados de moldeo para la fabricación de aparatos del hogar, accesorios eléctricos, empaque, juguetes y muebles.

Finalmente, el tipo expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que, a su vez, se utiliza en la producción de accesorios para la industria de empaques y aislamientos.

En 1983, la producción de poliestireno en México, según los diferentes tipos, fue la siguiente: impacto, 52%; cristal, 35%; expandible, 13%.

Los usos más comunes del poliestireno en México son los siguientes:

Poliestireno de medio impacto: Envases desechables (vasos, cubiertos, platos), empaques, juguetes.

Poliestireno de alto impacto: Productos domésticos (radios, televisores, tableros internos de refrigeradores, licuadoras, batidoras, lavadoras, etc.), tacones para zapatos, juguetes.

Poliestireno cristal: piezas moldeadas para cassettes, envases desechables, juguetes, artículos electrodomésticos, difusores de luz, plafones.

Poliestireno expandible: envases térmicos, empaque, construcción (aislamientos, tableros de cancelería, plafones, casetones, etc.).

#### *Estireno-acrilonitrilo (SAN)*

El copolímero estireno-acrilonitrilo tiene mejor resistencia química y térmica, así como mayor rigidez que el poliestireno. Sin embargo el SAN no es transparente como el PS, por lo que se usa en artículos que no requieren claridad óptica.

Algunas de sus aplicaciones las encontramos en la fabricación de artículos para el hogar como batidoras, licuadoras, aspiradoras, etc.

#### *Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)*

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza.

Se pueden usar en aleaciones con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un plástico de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Otras aplicaciones importantes del ABS son la fabricación de tuberías, juntas, revestimientos para las puertas de los refrigeradores y partes moldeadas de automóviles (los autos fabricados en 1985 usaron aproximadamente 12 kilos de ABS cada uno).

### **RESINAS TERMOFIJAS**

Estos materiales se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde. Polimerizan irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura.

Ésta es la diferencia básica entre los polímeros termoplásticos y los termofijos.

El cuadro siguiente describe las resinas termofijas más importantes.

**CUADRO 18. Principales resinas termofijas**

<i>nombre</i>	<i>familia</i>
poliuretano	éster-amida
resinas alcídicas	poliéster
poliéster insaturado	poliéster
resina epóxica	poliéster
fenol-formaldehído	fenólica
urea-formaldehído	urea
melamina-formaldehído	melamina

La reacción que permite las uniones cruzadas en las moléculas poliméricas puede efectuarse durante o después de la polimerización entre las cadenas lineales. Un ejemplo de uniones cruzadas durante la polimerización es la formación de las resinas fenol-formaldehído.

Las uniones cruzadas se pueden obtener mediante agentes que las provoquen, como en el caso de la producción de las resinas epóxicas.

Los polímeros termofijos pueden reforzarse para aumentar su calidad, dureza y resistencia a la corrosión. El material de refuerzo más usado es la fibra de vidrio. Ésta se usa en proporciones que varían entre 20 y 30%.

El 90% de las resinas reforzadas son de poliéster. El resto lo constituyen los uretanos, fenólicos, melaminas y epóxicas.

#### *Poliuretanos*

Cuando se hace reaccionar un glicol y un isocianato con más de dos grupos funcionales, se forma un polímero termofijo, como por ejemplo, en la reacción de los di-isocianatos con el glicerol, poliglicoles o poliéster poliglicoles.

Los poliuretanos pueden ser de dos tipos, flexibles o rígidos, dependiendo del polioli usado.

Los flexibles se obtienen cuando el di-isocianato se hace reaccionar con diglicol, triglicol, poliglicol, o una mezcla de éstos.

Los poliuretanos rígidos se consiguen utilizando trioles obtenidos a partir del glicerol y el óxido de propileno.

También se puede usar el óxido de etileno, aunque se prefiere el propileno porque le imparte mayor resistencia a la humedad.

*Principales usos de los poliuretanos.* Los mercados más importantes de los poliuretanos flexibles los constituyen la industria mueblera y de transporte.

Más del 90% de los poliuretanos flexibles se emplean para hacer colchones y para acolchonar muebles. En la industria de la transportación se consume un promedio de 16 kilogramos de poliuretano flexible por coche, sólo para acolchonamiento y relleno.

En el pasado, las defensas delanteras y traseras de los automóviles se hacían de metal, pero en la actualidad casi todas han sido sustituidas por uretano elastomérico moldeado. La reducción de peso debido a esta sustitución varía entre 10 y 20 kilogramos.

El proceso para fabricar uretano moldeable se llama RIM (del inglés *reaction injection molding*) y se usa para volantes, defensas y tableros para instrumentos.

Los poliuretanos elastoméricos son duros, resistentes a la abrasión, a los aceites y a la oxidación.

Otros usos de los poliuretanos incluyen aparatos domésticos, bajoalfombras, laminados textiles, recubrimientos, calzado, empaques, juguetes y fibras.

El enorme uso del poliuretano rígido para la industria de la construcción y como aislante industrial se debe a su propiedad aislante, su resistencia en relación al peso y su resistencia al fuego. Se usa como aislante de tanques, recipientes, tuberías y aparatos domésticos como refrigeradores y congeladores.

#### *Urea, resinas y melamina*

La urea se produce con amoníaco y bióxido de carbono. Cuando reacciona con el formaldehído forma polímeros llamados resinas urea-formaldehído.

La melamina está constituida por tres moléculas de urea formando un heterociclo aromático que puede reaccionar con el formaldehído dando la resina melamina-formaldehído.

Tanto la urea-formaldehído como la melamina-formaldehído tienen propiedades generales muy similares, aunque existe mucha diferencia en sus aplicaciones. A ambas resinas se les conoce como aminorresinas.

Los artículos hechos con aminorresinas son claros como el agua, fuertes y duros, pero se pueden romper. Tienen buenas propiedades eléctricas.

Las aminorresinas se usan principalmente como adhesivos para hacer madera aglomerada y triplay, usados en la construcción residencial y fabricación de muebles.

Los compuestos amino-moldeados son rígidos y duros y se usan en productos tales como gabinetes para radio y botones.

Las resinas melamina-formaldehído se emplean en la fabricación de vajillas y productos laminados que sirven para cubrir muebles de cocina, mesas, escritorios, etc.

El perfil de la distribución del mercado mexicano en 1983 para la melamina formaldehído y la urea formaldehído fue así:

**CUADRO 19. Usos de las resinas melamina-formaldehído en México**

<i>mercado</i>	%
laminados plásticos	60
productos moldeados	30
pinturas y otros	10

**CUADRO 20. Usos de las resinas urea-formaldehído en México.**

<i>mercado</i>	%
madera	96
papel	2
pinturas y otros	2

### *Resinas fenólicas*

La reacción entre el fenol y el formaldehído tiene como resultado las resinas fenólicas o fenoplast. Existen dos tipos de resinas fenólicas, los resols y el novolac.

Los resols se obtienen cuando se usa un catalizador básico en la polimerización. El producto tiene uniones cruzadas entre las cadenas que permiten redes tridimensionales termofijas.

El novolac se hace usando catalizadores ácidos. Aquí las cadenas no tienen uniones cruzadas por lo que el producto es permanentemente soluble y fundible.

Las propiedades más importantes de los termofijos fenólicos son su dureza, su rigidez y su resistencia a los ácidos. Tienen excelentes propiedades aislantes y se pueden usar continuamente hasta temperaturas de 150 °C.

Los compuestos moldeables se usan para producir controles, manijas y aparatos.

Las resinas fenólicas se usan para hacer pegamentos, adhesivos, material aislante, laminados para edificios, muebles, tableros y partes de automóviles. Estas resinas son las más baratas y las más fáciles de moldear. Existen muchas formulaciones con varios refuerzos y aditivos. Los refuerzos pueden ser aserrín de madera, aceites y fibra de vidrio. Las tuberías de fibra de vidrio con resinas fenólicas pueden operar a 150 °C y presiones de 10 kg/cm<sup>2</sup>.

El siguiente cuadro ilustra los principales usos de estas resinas en México durante 1983.

**CUADRO 21. Uso de las resinas fenol-formaldehído en México**

<i>mercado</i>	%
productos para fundición	13
productos para impregnación	15
pastas para moldeo	27
productos para balatas y pastas de clutch	8
productos para madera y otros	37

#### *Resinas epóxicas*

Casi todas las resinas epóxicas comerciales se hacen a partir del bisfenol A (obtenido a partir del fenol y la acetona), y la epíclorhidrina (producida a partir del alcohol alílico).

Sus propiedades más importantes son: alta resistencia a temperaturas hasta de 500°C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos.

Las resinas epóxicas se usan principalmente en recubrimientos de latas, tambores, superficies de acabado de aparatos y como adhesivo.

En México sus usos principales son los que se indican en el siguiente cuadro:

**CUADRO 22. Usos de las resinas epóxicas en México**

<i>mercado</i>	%
recubrimientos anticorrosivos	28
ésteres epóxicos	27
recubrimientos sanitarios	20
encapsulados eléctricos	8
aglutinantes para fibra de vidrio	7
otras aplicaciones	10

#### Resinas poliéster

Estas resinas se hacen principalmente a partir de los anhídridos maleico y ftálico con propilenglicol y uniones cruzadas con estireno.

Se debe destacar que el uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha reemplazado a materiales muy diversos como pueden ser: termoplásticos de alta resistencia, madera, acero al carbón, vidrio y acrílico, lámina, cemento, yeso, etc.

La industria de la construcción ocupa el 30% de estas resinas, el mercado marino 18%, artículos moldeados 15% y la transportación 8%.

En el caso de resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio, el 60% se utiliza en el mercado automotriz y el resto en la industria de la construcción: tanques, tinacos, lanchas del mercado marino y otras aplicaciones.

Las resinas de poliéster saturado se usan en las lacas para barcos, en pinturas para aviones y en las suelas de zapatos.

Existen también las llamadas resinas de poliéster insaturado que se usan principalmente en aplicaciones de ingeniería.

El próximo capítulo cubre el tema de los hules sintéticos cuyos usos son tan diversos que lo mismo se usan para hacer llantas de automóviles que chicle o goma de mascar.



## XI. HULE SINTÉTICO

EN ESTE capítulo describimos los diferentes tipos de hules sintéticos derivados del petróleo.

Pero antes de abordar el aspecto técnico y de aplicación de estos materiales, nos gustaría recurrir a la historia, a fin de evaluar mejor cuándo se empezaron a usar los primeros hules sintéticos.

Cinco siglos han transcurrido desde que se encontraron los primeros indicios de la existencia de este producto nativo del nuevo mundo. En 1495 Michele de Cuneo menciona, por primera vez el hule natural. Se sabe que acompañó a Cristóbal Colón en su segundo viaje, y en uno de sus escritos menciona que en la Española "existían árboles que cuando se les cortaba daban leche de la cual los indios hacían una especie de cera".

En 1521, Hernán Cortés vio cómo los aztecas en México usaban la goma de los árboles para impermeabilizar sus utensilios y para hacer pelotas de juego. Los colonizadores españoles también la utilizaron como impermeabilizante. Sin embargo en Europa, durante los siguientes 300 años, sólo se empleó en la fabricación de pelotas y otras curiosidades.

No fue sino hasta 1819 cuando el inventor inglés Thomas Hancock desarrolló el proceso con solventes, con lo que se inició la manufactura de artículos de hule en Inglaterra. Estos objetos incluían impermeables y botas de hule, todos ellos de baja calidad porque se hacían pegajosos en verano y quebradizos en invierno.

En 1839 Charles Goodyear descubrió accidentalmente que calentando el hule natural con azufre se podía obtener un sólido duro que no se fundía. Hancock, de manera independiente, llegó al mismo resultado y lo llamó "vulcanización".

No obstante, fue Goodyear el que depositó la primera patente sobre la vulcanización del hule natural con azufre (Patente U. S. 3633, junio 15, 1844).

En 1876 Henry Wickham, que se dedicaba a plantar cafetales, extrajo de contrabando 70 000 nueces de *Hevea brasiliensis*, de Brasil (que hasta la fecha tiene el monopolio de la producción mundial de hule natural). Estas fueron germinadas en los jardines Kew de Londres. Posteriormente se enviaron y se plantaron en Ceilán, Malasia y Singapur. Para 1900 los árboles cubrían más de 1600 hectáreas de esas tierras.



**Figura 28. Chicles, llantas, pelotas y globos: elastómeros derivados del petróleo.**

En 1888 el veterinario John Boy Dunlop, inventó los neumáticos para bicicletas con el hule natural. Al extenderse esta idea y aplicarse en la fabricación de llantas de autos se inició una nueva era en la industria hulera.

En 1910, la reciente invención del automóvil estimuló la producción de 94 000 toneladas al año de hule. En ese mismo año, el profesor Carl Dietrich Harries de la universidad alemana de Kiel descubrió que el sodio catalizaba la polimerización del 2,3-dimetilbutadieno, dando como producto el hule metilo sintético.

En 1927 los químicos alemanes desarrollaron el hule sintético llamado Buna S (butadieno-estireno) dirigidos por el profesor Karl Ziegler de la Universidad de Heidelberg en Alemania. En ese mismo año aparecieron también patentes sobre hules sintéticos hechos a partir de tricloroalcanos con polisulfuros alcalinos.

En 1931 la compañía Dupont anuncia el neopreno, que es un hule sintético desarrollado por Wallace H. Carothers. Este producto se obtiene a partir del cloropreno.

En 1942, cuando los Estados Unidos entraron en la segunda Guerra Mundial, quedaron aislados de sus proveedores tradicionales de hule natural, lo que los obligó a producir grandes cantidades de hule sintético. Para 1945, su producción de hule sintético ascendió a 700 000 toneladas, aunque en 1973 el consumo de hule natural en este país era aún tan bajo que sólo representaba el 22% del consumo total.

Pero esta situación cambió radicalmente cuando los árabes llevaron a cabo el embargo petrolero, lo que hizo que los precios del petróleo subieran rápidamente, con la consecuente alza en el precio de las materias primas petroquímicas. Este cuadro prevaleció durante más de diez años con el resultado de que la balanza se inclinara en contra de los hules sintéticos.

En 1985 la producción mundial de hule fue de 13.7 millones de toneladas, de las cuales 32% corresponde al hule natural.

Ahora regresemos a nuestro tema original y veamos de qué está compuesto el hule y con qué productos petroquímicos se ha logrado no sólo imitar sino aun llegar a mejorar las características de este producto natural.

El hule natural se compone principalmente de moléculas de isopreno que forman un polímero de alto peso molecular, mientras que el hule sintético o elastómero se produce comercialmente polimerizando mono-olefinas como el isobutileno y diolefinas como el butadieno y el isopreno. También se pueden obtener elastómeros por la copolimerización de olefinas con diolefinas como en el caso del estireno-butadieno (SBR).

Otra posibilidad la presenta la copolimerización de dos olefinas diferentes como el etileno-propileno, que poseen las propiedades características de los elastómeros.

Muchos de los principales hules sintéticos fabricados en los últimos 50 años están basados en los butilenos. El butadieno forma parte de casi todas las fórmulas como se ilustra en el cuadro siguiente:

**CUADRO 23. Principales hules sintéticos de los hidrocarburos  $C_4$**

<i>nombre</i>	<i>monómeros</i>	<i>composición típica</i>
polibutadieno BR	butadieno	75% butadieno + 25% estireno
GRS, Buna S, SBR	butadieno + estireno	15% butadieno + 85% estireno
GRN, Buna N, NBR	butadieno + acrilonitrilo	60-80% de butadieno + 40-20% de acrilonitrilo
neopreno CR	cloropreno	—
GRI, butilo, IIR	isobutileno + isopreno	97-98% isobutilenos 3-2 % isopreno

*Polibutadieno*

El polibutadieno es el polímero más importante para el procesamiento del hule sintético. Este elastómero es un polímero con propiedades muy semejantes a las del hule natural y se vende como sustituto de este último.

La importancia de polibutadieno surge de la gran disponibilidad de butadieno, su fácil polimerización y copolimerización con otros monómeros y polímeros. Además, el polibutadieno se mezcla fácilmente con SBR y con el hule natural, lo que amplía más sus aplicaciones.

Es la industria de las llantas la que emplea más polibutadieno; sólo el 23% de la producción mundial se utiliza en otros productos. En las llantas, especialmente en la banda de rodadura, el polibutadieno tiene un lugar importante, ya que provee alta resistencia al desgaste y menos resistencia a la rodada que cualquier otro elastómero.

Su principal inconveniente se presenta cuando el piso está mojado. Para eliminar este obstáculo, se suele mezclar el polibutadieno con SBR 0 con hule natural en cantidades variables dependiendo de la aplicación.

Así por ejemplo, las llantas de los automóviles de pasajeros se fabrican con una mezcla de butadieno con SBR, mientras que las llantas de los camiones por lo general están constituidas por mezclas de polibutadieno con hule natural.

#### *Hule butadieno-estireno (SBR)*

Este elastómero, como lo vimos en el cuadro anterior, es un copolímero de butadieno con estireno conocido como SBR, GR-S o Buna S.

Los hules de SBR se pueden clasificar en dos tipos: calientes y fríos, según las temperaturas de polimerización. Además, se subdividen en bajo, mediano y alto, de acuerdo al contenido de sólidos.

Los SBR calientes se polimerizan a 49-66°C y se fabrican principalmente con un contenido mediano de sólidos (42-50% en peso).

Los de alto contenido de sólidos (60-70% en peso) se usan para aplicaciones especiales, como bases de injertos para polimerizaciones a fin de obtener plásticos con alta resistencia al impacto.

Los de bajo contenido de sólidos (27%) se emplean en la fabricación de goma de mascar o chicle.

Así es que cuando se mastica un chicle de sabores, lo más probable es que se trate de un elastómero aromatizado con un éster con sabor de manzana, uva, tutti-frutti, etc., todos derivados del petróleo.

El SBR tiene múltiples aplicaciones: se usa para recubrimiento de cierto tipo de papel. En la fabricación de llantas se emplea para recubrir la cuerdas.

También encuentra aplicación en la fabricación de calzado, de bajoalfombras, de ligantes para las pinturas, de empaques, de recubrimiento de frenos, en las baterías como separador de placas, etc.

El SBR con alto contenido de estireno se suele mezclar con otros hules para darles resistencia a la abrasión.

Otros copolímeros de estireno-butadieno son muy útiles como resinas y como aceites secantes para pinturas, barnices y recubrimientos.

La capacidad instalada para producir el SBR en los países no comunistas es muy superior a su demanda. Ésta asciende a 5.15 millones de toneladas métricas. Muchas de estas plantas están operando al 50% de su capacidad.

#### *Hule butadieno-acrilonitrilo*

El hule butadieno-acrilonitrilo es un copolímero de butadieno con estireno. Las diferencias básicas entre los distintos tipos se deben principalmente a la concentración de acrilonitrilo en el hule y a la cantidad de estabilizador empleado.

Estos hules se conocen comercialmente como hules nitrilo, y según sus características se clasifican en hule GRN, Buna N y NBR.

Sus principales aplicaciones son como saturantes de papel, acabados de textiles y pieles, adhesivos, ligantes de fibras no tejidas, y para la preparación de espumas resistentes al aceite para producir lubricantes para baleros de uso pesado como los de los ferrocarriles.

Los hules nitrilo no se usan en la fabricación de llantas.

#### *Neoprenos*

Los neoprenos son hules sintéticos que se obtienen polimerizando el cloropreno, el cual se fabrica haciendo reaccionar el butadieno con cloro y tratando el producto de la reacción con potasa cáustica.

Los neoprenos se pueden copolimerizar con otros comonómeros que les imparten características físicas muy especiales. A continuación describiremos algunos de ellos.

Copolimerizados con ácido metacrílico usando como emulsificante al alcohol polivinílico, dan un producto con alta resistencia y elevada estabilidad mecánica y química que los hace útiles como adhesivos, recubrimientos, saturantes, etc.

Cuando los neoprenos se copolimerizan con acrilonitrilo, el producto obtenido tiene una alta resistencia plastificante, propiedad usada como ligante de asbesto y recubrimientos.

### *Hule butilo*

El hule butilo es un copolímero de isobuteno con pequeñas cantidades (2-3%) de isopreno.

Este hule se usa principalmente para las cámaras de aire de las llantas. Su gran resistencia a la abrasión, a la ruptura, al calor, su añejamiento y su baja permeabilidad al aire hacen que el hule butilo sea el material ideal para esta aplicación.

En Estados Unidos el 75% del hule butilo se emplea en la industria llantera.

De acuerdo al Instituto Internacional de Productores de Hule Sintético (IISRP), la capacidad de producción mundial de hule butilo es de 690 000 toneladas métricas, de las cuales 110 000 se producen en países comunistas.

### *Polisopreno*

El polisopreno cis-1,4 es el producto de la polimerización del isopreno. El hule natural contiene aproximadamente 85% de polisopreno cis-1,4 en su estructura molecular, que hace de este elastómero lo más cercano al hule de la *Hevea brasillensis*. Por lo tanto, puede ser intercambiado por esta última en la mayor parte de sus aplicaciones.

El aumento en el consumo de polisopreno como sustituto del hule natural depende de su competitividad en costos, los cuales a su vez están sujetos al precio del isopreno.

Si los precios del petróleo permanecen tan bajos como en 1985 se usará más nafta y gasóleos en las desintegradoras para producir olefinas, lo que incrementará la disponibilidad del isopreno, disminuyendo su costo.

La producción del polisopreno en el mundo es poco usual, pues la mayor capacidad instalada se encuentra en Europa oriental incluyendo a la URSS , y en ésta asciende a 950 000 toneladas métricas, lo que representa más del doble del resto del mundo, que produce sólo 390 000 toneladas métricas.

Esta discrepancia quizás se deba al deseo de disminuir la dependencia de los proveedores de hule natural, que son principalmente Brasil, Indonesia, Malasia y Liberia.

Las principales aplicaciones del polisopreno están en la industria automovilística.

### *Elastómero etileno-propileno EPR*

Este hule se obtiene copolimerizando el etileno con propileno.

Su consumo en Estados Unidos es tan grande que posee el tercer lugar en importancia entre los hules sintéticos. En ese país, su producción durante 1985 fue de 214 800 toneladas métricas, mientras que en el resto del mundo occidental fue tan sólo de 430 000 toneladas métricas.

Actualmente este elastómero se usa en la industria llantera. Su principal aplicación es para hacer cámaras de aire y para la cara blanca de las llantas.

Otras aplicaciones en la industria automotriz son la fabricación de mangueras, bandas y cintas selladoras para las puertas.

El 75% del hule etileno-propileno se usa principalmente para hacer cubiertas de alambre y cables, polímeros modificados, techados, aditivos de aceites y algunos elastómeros plásticos.

De todas estas aplicaciones, la que ha adquirido mayor importancia últimamente es la empleada en la industria de la construcción, llamada techado de una sola capa.

El elastómero usado es un terpolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM), en donde el dieno es una diolefina como el butadieno.

Actualmente se usan en Estados Unidos cerca de 30 000 toneladas métricas del elastómero para la construcción de este tipo de techos.

Sus principales ventajas son su alta resistencia a las condiciones de la intemperie. No es afectado por el ozono, es ligero y fácil de instalar (comparado con los techos preconstruídos), y es muy apropiado para colocarse sobre materiales sensibles al calor como el poliestireno expandido o la espuma de poliuretano usados como aislantes.

El hule etileno-propileno también se suele mezclar con polímeros como el polipropileno, para hacer un elastómero termoplástico que se usa principalmente en ciertas partes de las defensas de los automóviles, mangueras, empaques y partes del tablero de control.

También se usa para recubrir alambres y cables usados en servicio severo.

### *Selección de hules para aplicaciones específicas*

La selección del tipo de hule que se usará en un artículo en particular depende de los requerimientos técnicos del producto, de las propiedades que se puedan alcanzar por medio de mezclas y de los factores económicos.

El principal empleo de los hules sintéticos es la fabricación de llantas para autos de pasajeros, camiones, aviones y maquinaria agrícola, como se mencionó anteriormente. Los hules usados en esta aplicación son el hule natural, el SBR, el polibutadieno, el polisopreno y el EPDM.

El hule natural, el hule butilo y el EPDM también se utilizan para elaborar las cámaras de las llantas.

Los principales requerimientos de una llanta de automóvil son: resistencia a la abrasión y a los cortes, poca resistencia a la rodada, resistencia a la ruptura, flexibilidad adecuada a la más baja temperatura de servicio, un alto coeficiente de fricción entre la llanta y la carretera para evitar que derrape, suficiente estabilidad del material en función del tiempo para que no ocurra deterioro excesivo en la vida normal de la llanta y una histéresis moderada para evitar que se desarrollen temperaturas excesivas durante el servicio.

En miles de productos que utilizan el hule, la elección del polímero depende, como en el caso de las llantas, de las propiedades requeridas, del servicio a que será sometido, y del precio del polímero.

En productos en donde se necesite un hule flexible, suave y altamente elástico como en el caso de las ligas, se prefiere el hule natural y el polisopreno.

Para las pelotas de golf sólidas, las excelentes propiedades de rebote del polibutadieno lo hacen el producto ideal para este uso.

Cuando se requiere de hule de calidad moderada como en el caso de la fabricación de suelas de zapatos, mangueras de jardín, tacones y tapetes, se emplea hule natural y SBR.



Pero para obtener un hule resistente a los aceites, como en cierto tipo de mangueras, empaques, tacones y suelas, diafragmas y bandas sinfín, es necesario usar otro tipo de elastómeros. La elección del hule depende del tipo de aceite, del grado de resistencia que se requiera y de otras propiedades necesarias en el uso.

Los elastómeros que se pueden tomar en cuenta son los neoprenos, los hules nitrilo, los polisulfuros, los poliuretanos, los fluoroelastómeros, etc. Estos últimos son hules para usos específicos que se suelen fabricar en menor volumen que los descritos anteriormente.

Cuando se requiere una alta resistencia al calor, los hules de silicón son los mejores. Los polímeros que también resisten las altas temperaturas son los fluoroelastómeros, seguidos de los acrilatos, EPDM, hule butilo, neopreno y hules nitrilo.

Cuando se desea flexibilidad a baja temperatura, los hules silicón son los mejores, seguidos de EPDM, polibutadieno, hule natural y SBR.

Todas las propiedades antes mencionadas pueden modificarse, a veces en intervalos muy amplios, por medio de la técnica de combinado o mezclado.

Así, por ejemplo, una manguera usada en los aviones para conducir aceite lubricante, puede requerir una buena flexibilidad a la temperatura más baja que se encuentre mientras esté en tierra (40°C), pero cuando esté en vuelo, tendrá que contener el aceite a 149°C. Aparentemente, el hule silicón es el adecuado para este uso, pues tiene una buena flexibilidad a bajas temperaturas y alta resistencia al calor; sin embargo, no tiene resistencia a los aceites, y por lo tanto no se puede usar en esta aplicación.

La mejor elección en este caso es el hule nitrilo, con un contenido mínimo de acrilonitrilo para llenar las especificaciones de resistencia al aceite, mezclado con otro hule que dé el máximo de resistencia al calor.

Existe un gran número de elastómeros para usos especializados, algunos de los cuales mencionaremos a continuación.

#### *Hules acrílicos*

Estos elastómeros se suelen fabricar a partir de etil, butil, o metoxi y etoxi-etil-acrilatos.

Tienen muy buena resistencia a los aceites y al calor, por lo que sus aplicaciones principales son la fabricación de sellos, empaques y mangueras.

### *Polietilenos clorosulfonados*

El polietileno cristalino modificado con grupos sulfonilo y cloro nos da este tipo de hules. Sus características principales son su alta resistencia a la oxidación, calor, aceite y materiales corrosivos.

Puede mezclarse fácilmente y someterse a curado, lo que permite una amplia aplicación en recubrimientos de alambre y cables, partes automotrices, mangueras, techados y bandas.

### *Éteres copoliéster*

Los polímeros de este grupo resultan de la condensación de los tereftalatos de polibutileno y los tereftalatos de politetrametilen eter glicol.

Son muy fuertes, resistentes a la abrasión, a los productos químicos, al petróleo. También soportan el calor en un amplio intervalo de temperaturas.

Se usan en la fabricación de mangueras, recubrimientos de alambre y cables, y en la fabricación de partes de automóvil.

### *Epiclorhidrinas*

Los homo y copolímeros de la epiclorhidrina se usan en la fabricación de productos elastoméricos que tienen una baja permeabilidad a los gases, buena resistencia a los productos del petróleo y flexibilidad a baja temperatura.

Este producto se usa principalmente en partes del automóvil tales como juntas y mangueras.

### *Polímeros fluorados*

Los polímeros que contienen flúor se hacen a partir de olefinas fluoradas con dos o tres átomos de carbono. Estas tienen una buena resistencia al calor, a los productos químicos y a la interperie, y además tienen excelentes propiedades mecánicas.

Se usan para piezas como juntas, empaques y mangueras sometidas a trabajo severo tanto en la industria automotriz como en los equipos de perforación de pozos petroleros y similares.

### *Polisulfuros*

Éstos son los más antiguos entre los elastómeros especializados. Tienen alta resistencia al ozono, al oxígeno, a la luz solar y al hinchamiento provocado por los productos químicos. También poseen

baja permeabilidad a los gases y líquidos, y excelentes propiedades a bajas temperaturas.

Se usan principalmente en la fabricación de selladores.

#### *Copolímeros termoplásticos en bloque*

Casi todos estos hules están basados en el poliestireno y el polibutadieno, con un amplia variedad de tipos disponibles según los diversos usos.

Se utilizan principalmente como adhesivo, para recubrimientos, suelas de zapatos, juguetes, etc.

#### *Uretanos*

Estos elastómeros se conocen por su alta resistencia a la abrasión y por ser muy fuertes. Sus principales usos son la fabricación de volantes de camiones industriales, varios tipos de sellos, adhesivos y fibras.

En el capítulo siguiente veremos algunas aplicaciones específicas de los productos petroquímicos en general, en la alimentación, vestido, salud y otros usos diversos.

## XII. LOS PETROQUÍMICOS Y LAS NECESIDADES PRIMARIAS DEL HOMBRE

EN ESTE capítulo se describen algunos de los productos fabricados con petroquímicos que se usan para cubrir las necesidades primarias de nuestra sociedad como son el vestido, los alimentos y la salud.

En la sección correspondiente a los plásticos y hules vimos algunas de las aplicaciones que éstos tienen en materia de transporte, artículos deportivos, juguetes, envases y empaques, materiales de construcción, muebles y enseres del hogar, fabricación de zapatos y producción de televisores, radios, computadoras y toda clase de artículos eléctricos y electrónicos.

Pero la petroquímica no sólo sirve para este tipo de necesidades "superfluas" sino que también se emplea para cubrir aquellas que son primordiales al hombre, sobre todo cuando se toma en cuenta el número cada vez mayor de habitantes en nuestro planeta que requieren de alimentación, vestido y salud.

### **VESTIDO**

Hace menos de 50 años, para cubrir las necesidades del hombre en materia de vestido, la industria textil sólo contaba con las fibras naturales como la lana, el lino, el algodón o la seda.

En la actualidad el ser humano, desde que nace, entra en contacto con los materiales derivados del petróleo.

A menudo, por ejemplo, las madres sustituyen el pañal de algodón por los llamados desechables hechos de polietileno de baja densidad lineal en la parte exterior, y polipropileno en la parte que está en contacto con la piel del bebé. El relleno suele ser de celulosa, pero en países como Estados Unidos y Japón se suele agregar poliacrilato de sodio para que se forme un gel cuando entre en contacto con los líquidos, evitando así que se escurran.

La ropa del bebé se hace con fibras como el acrilán, orlón, dacrón, poliéster, ya sean solos o mezclados con algodón o lana.

Si se leen las etiquetas de las camisas, vestidos, trajes y toda clase de prendas de vestir, se comprueba que están hechas de alguna fibra sintética sola o mezclada con algunas de las fibras naturales antes mencionadas. Así, ciertas etiquetas indican que la prenda está

confeccionada con poliéster 100%, o con poliéster y algodón, acrilán, acetato de celulosa, orlón, courtelle, dynel, perlón, etc.

Las prendas deportivas como los trajes de baño y prendas para hacer gimnasia se hacen de lycra, que es una fibra elástica.

Son bien conocidos el nylon y el spandex que se usan en la fabricación de medias para dama.

Podríamos continuar con una lista interminable de fibras sintéticas, pero lo que deseamos explicarles es de qué están hechas, y cómo intervienen los derivados petroquímicos en su elaboración. Antes de describir cada fibra, es necesario comprender el principio sobre el que se basa su fabricación.



**Figura 29. Lycra elástica para trajes de baño.**

El principio de la elaboración de las fibras sintéticas, como todo desarrollo hecho por el hombre, se basó en la observación de los fenómenos naturales. En este caso fue el gusano de seda tejiendo su capullo: se observó cómo el gusano expele un líquido viscoso (la fibroína) a través de pequeñas glándulas u orificios. Inmediatamente después de que sale de los orificios, el líquido se solidifica formando un hilo o filamento.

Por lo tanto, si el hombre desea hacer fibras semejantes, lo primero que tiene que fabricar es un líquido viscoso, hacerlo pasar a través de pequeños orificios y finalmente arreglárselas para que la corriente de líquido que sale se solidifique o coagule inmediatamente formando una fibra.

Este método se utiliza en la actualidad por todos los fabricantes de fibras sintéticas.

Naturalmente que se ha requerido mucho esfuerzo y tecnología para lograr métodos satisfactorios que puedan imitar al gusano de seda. Por lo general, a todas las fibras hechas por el hombre se les denomina fibras sintéticas. Sin embargo, dentro de esta categoría existen dos tipos: las llamadas artificiales, que usan productos naturales como el algodón y la madera, y las llamadas sintéticas porque sus materias primas son productos derivados del petróleo.



**Figura 30. Fibras sintéticas para muebles, alfombras y ropas.**



**Figura31. Colchones de poliuterano y poliéster para colchas.**

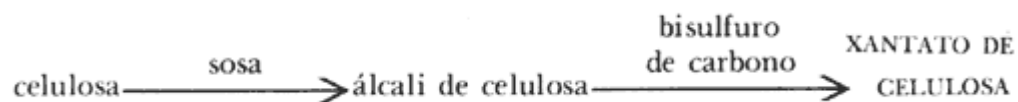


**Figura 32. La petroquímica en la ropa deportiva.**

*Fibras que usan productos naturales*

A este grupo pertenecen el rayón de viscosa y el acetato de celulosa. Aunque en su fabricación se usan productos naturales como el algodón y la madera, su elaboración requiere el uso de productos petroquímicos como bisulfuro de carbono, ácido sulfúrico, ácido acético, anhídrido acético, acetona y cloruro de metileno.

*Rayón de viscosa.* Esta fibra se obtiene a partir de la celulosa de madera. Siguiendo las etapas del gusano de seda, primero se hace el líquido viscoso de la siguiente manera:



En la siguiente etapa se introduce el xantato de celulosa a través de unos orificios. Por último se solidifica lo que sale de los orificios, haciéndolo pasar por una solución de ácido sulfúrico.

Se dice que los filamentos de rayón de celulosa están formados de celulosa regenerada.

La viscosa de rayón se usa para hacer estambres y telas. También se suele mezclar con lana.

Modificando ligeramente el proceso de transformación del xantato de celulosa a celulosa regenerada, se puede obtener fibras de alta

resistencia a la tracción que se emplean para reforzar las llantas de los coches.

*Acetato de celulosa.* Para hacer el líquido viscoso se trata la celulosa de algodón con ácido acético o anhídrido acético en solución con un solvente como la acetona o el cloruro de metileno. La coagulación para formar la fibra se efectúa con acetona vaporizada o cloruro de metileno.

Las fibras de acetato de celulosa son más plásticas que las de rayón de viscosa.

Por medio de tratamientos especiales de elongación y saponificación, se pueden obtener fibras de alta resistencia a la tracción.

Durante la segunda Guerra Mundial (1939-1945), esta fibra se usó para hacer paracaídas.

### *Fibras sintéticas*

Este tipo de fibras hechas por el hombre usan como materia prima productos petroquímicos para la elaboración del líquido viscoso. En muchos casos no es necesario un líquido especial para formar la fibra, ya que el líquido viscoso es un polímero que se introduce fundido y caliente, que al salir de los orificios se enfría y se solidifica.

En el capítulo IX se explicó cómo se obtuvieron los productos petroquímicos intermedios que se usan para hacer fibras sintéticas. Entre éstos se encuentran la hexametildiamina, ácido adípico, cloruro de vinilo, acrilonitrilo, metilmetacrilato, etilenglicol, ácido tereftálico, polipropileno, polihexametilén adipamida, caprolactama, alcohol polivinílico, cloruro de polivinilo y cloruro de vinilideno.

A continuación describiremos brevemente algunas de las fibras artificiales, sus usos (además de la confección de prendas de vestir), su composición básica, sus propiedades y sus nombres comerciales.

*Nylon 6,6.* El nylon 6,6 se fabrica condensando la hexametildiamina con ácido adípico, obteniéndose así la hexametilén adipamida, que a continuación se calienta hasta polimerizar de 60 a 80 moléculas, formándose de esta manera la poliamida denominada nylon 6,6, fibra que fue desarrollada por la Dupont en 1935.

Las principales propiedades del nylon 6,6 son las siguientes:

1. No lo atacan las bacterias, los hongos ni la polilla.
2. Es inerte a los productos químicos corrosivos, excepto



los ácidos minerales calientes.

3. Tiene una elasticidad superior a la de la seda.
4. Es muy resistente a las arrugas.
5. Los solventes en frío casi no lo afectan; no sucede lo mismo con solventes en caliente. Por lo tanto, se tiene que tener cuidado al lavar en seco las prendas hechas de nylon 6,6.
6. Absorbe muy poca humedad de la atmósfera, lo que le permite secarse fácilmente.
7. Acumula mucha corriente estática cuando se frota.

Las fibras de nylon 6,6 se usan para la confección de medias para dama, telas para prendas de vestir, elaboración de paracaídas, velas de navegación y alfombras, así como en la fabricación de llantas de automóvil.

*Perlón L o nylon 6.* Esta fibra se desarrolló en Alemania y es equivalente al nylon 6,6. También es una poliamida, pero sus materias primas son la caprolactama y una amina, que producen una amino caprolactama que al polimerizarse por calentamiento produce el nylon 6.

Este material es menos rígido que el nylon 6,6.

Sus fibras se clasifican en tres tipos: nylon filamento textil, que se emplea en la fabricación de telas; nylon fibra corta, que se usa mezclado con fibras naturales, artificiales y sintéticas, y nylon filamento industrial, empleado por las industrias pesquera, llantera y de cepillos.

*Vinyón N y Dynel.* El vinyón N se obtiene copolimerizando 60% de cloruro de vinilo con 40% de acrilonitrilo. Las fibras resultantes tienen una temperatura de ablandamiento de 158°C.

Las largas fibras de vinyón N se cortan en pedazos pequeños semejantes a los tamaños del algodón o de la lana y se les denomina dynel. Esta fibra se suele mezclar con otras para elaborar estambres para tejer.

Las fibras de vinyón N son termoplásticas, y hasta cierto punto se parecen al nylon. Esta propiedad se aprovecha ventajosamente en los acabados de las telas, como por ejemplo en los estampados.

Estas fibras son altamente resistentes al deterioro por ácidos, álcalis, luz, clima, polillas, insectos, bacterias y humedad. Además, absorben

muy poca agua cuando se mojan, por lo tanto retienen su resistencia original. Y otra ventaja es que no son inflamables.

Una variación de este tipo de fibra es el vinyón, que se obtiene copolimerizando 88% de cloruro de vinilo con 12% de acetato de vinilo.

Este tipo de fibra tiene una temperatura de ablandamiento muy baja (65°C), por lo que no se usa en la industria textil. Sin embargo, tiene propiedades muy valiosas, como la de no ser atacada por hongos, bacterias, polillas, ni humedad. Además es altamente resistente a los álcalis fuertes calientes y a los ácidos minerales fríos, como el ácido clorhídrico y el ácido nítrico.

Todas estas propiedades son excelentes para usar este tipo de fibras en la confección de las telas que se emplean para operaciones de filtrado de productos corrosivos.

*Acrilán.* Esta fibra es muy semejante al vinyón N y al dynel, pues se fabrica copolimerizando 85% de acrilonitrilo con 15% de acetato de vinilo.

La principal característica de esta fibra es la de poderse teñir con mayor facilidad que las demás fibras sintéticas similares.

*Orlón.* El orlón es acrilonitrilo altamente polimerizado disuelto en dimetilformamida para obtener el líquido viscoso. Después de que salen las fibras a través de los agujeros, se coagulan haciéndolas pasar por glicerol caliente.

El orlón, cuando se sumerge en agua, absorbe 12% de humedad, mientras que la viscosa de rayón absorbe 95% y el algodón 45%. Tomando esto en cuenta, es fácil comprender por qué las telas de orlón húmedas se secan rápidamente.

Se usan para hacer prendas de vestir y mantas.

*Courtelle.* Ésta es una fibra de poliacrilonitrilo, pero a diferencia del orlón, sus moléculas contienen pequeñas cantidades de metilmetacrilato, lo que permite mejorar las propiedades físicas y de teñido de la fibra.

*Terylene y dacrón.* Estas fibras se conocen como poliéster.

Se fabrican haciendo reaccionar un glicol, como el etilenglicol, con el ácido tereftálico, o un dimetil-éster del ácido tereftálico. El principio sobre el cual se basa su elaboración es muy semejante al usado con el nylon.

En Inglaterra, la ICI fabrica este poliéster bajo el nombre de terylene, y en Estados Unidos la DuPont lo comercializa como dacrón.

Es muy difícil de teñir con colorantes oscuros, por lo tanto es usual teñirlos con colores dispersos. Sin embargo, tiene otras excelentes propiedades como el plisado permanente, cualidad que se aprovecha en las telas hechas con mezclas de dacrón y lana.

Otras propiedades importantes son las de poseer alta resistencia a la tensión, al ataque de productos químicos, alto punto de fusión (que facilita el planchado), resistencia a las arrugas, y al ataque de insectos, bacterias, hongos y polillas.

Estas fibras no sólo sirven para elaborar telas para la confección de prendas de vestir, sino que también se suelen encontrar en las telas con que se elaboran cortinas, sábanas, manteles y otros artículos para el hogar.

*Sarán.* Esta fibra también se conoce como velón. Se produce copolimerizando el cloruro de vinilo con cloruro de vinilideno.

No soporta altas temperaturas. Su resistencia a la tensión disminuye a un 50% a 100°C y por lo tanto no se usa para hacer telas.

Actualmente sólo se fabrican artículos de mercería con esta fibra.

#### *Fibras de polipropileno.*

Estas fibras se obtienen polimerizando el propileno.

Son muy resistentes al ataque de productos químicos, solventes, bacterias y hongos. Además son muy fuertes y no sólo se usan para hacer telas, sino que también encuentran excelentes aplicaciones industriales en la fabricación de cables, cuerdas y torzales, que son muy ligeros (con densidad de 0.9 1) y flotan en el agua.

#### *Fibras altamente elásticas*

A estas fibras se las conoce como spandex, siendo las más conocidas la lycra y el vyrene.

Se fabrican condensando el hexamentilen-diisocianato con el glicol, o por la reacción del éster clorofórmico del glicol con hexamentilendiamina. O sea que son fibras de poliuretano cuyas cadenas moleculares se modifican en el proceso para impartirles elasticidad.

De estas fibras se hacen telas que se ajustan al cuerpo como los trajes de baño, ropa para gimnasia, medias, etc.

## *ALIMENTACIÓN*

No es fácil imaginarse en el mercado, al contemplar la carne fresca, frutas, verduras y granos como el maíz, trigo, arroz, cebada, etc., cómo intervienen los productos petroquímicos en los alimentos frescos. Aparentemente estos productos 100% naturales no tienen nada que ver con los compuestos artificiales salvo por sus envolturas.

Sin embargo, en realidad la petroquímica desempeña un papel muy importante tanto en la agricultura como en la ganadería, y en la cría de animales domésticos usados en la alimentación.

En la producción de alimentos agrícolas es necesario el uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fumigantes.

En la ganadería y cría de otros animales domésticos para la alimentación es muy común el uso de complementos alimenticios y de medicamentos veterinarios.

Muchos de ellos se derivan del petróleo, como veremos a continuación.

### *Agricultura*

*Fertilizantes.* Los vegetales, como todo ser viviente, requieren de ciertos alimentos para su crecimiento y sobrevivencia.

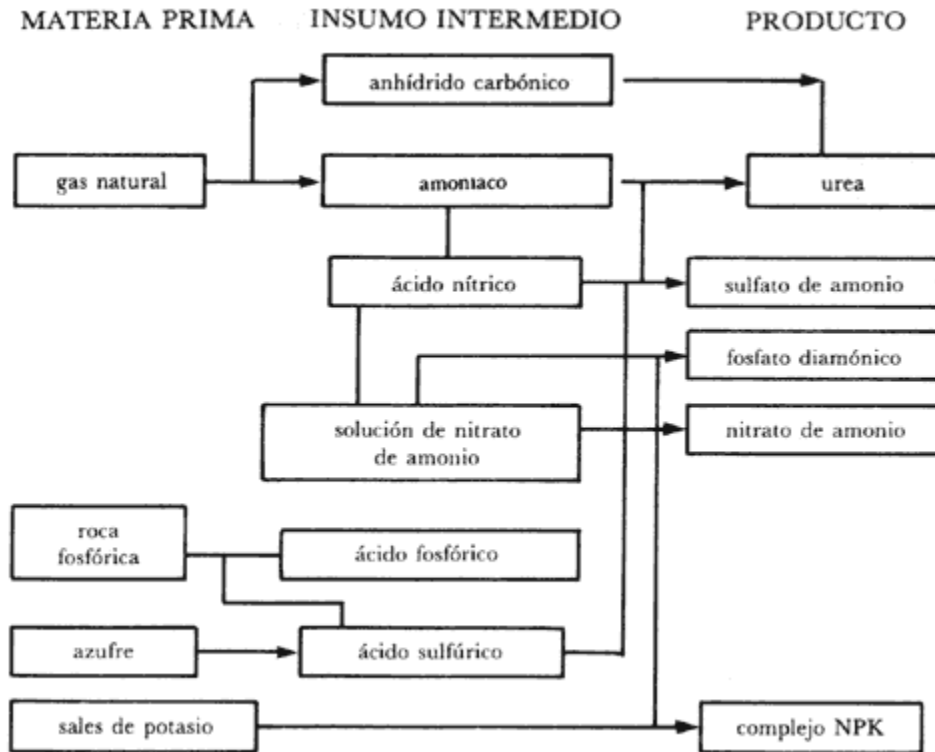
Los fertilizantes son materiales agregados a la tierra para procurarle los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y hacer que los frutos sean abundantes. Los nutrientes primarios que se emplean en los fertilizantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

El estiércol fresco de ganado, puercos y aves, tiene muy bajo contenido de estos nutrientes (0.5-3% de nitrógeno, 0.25-3% de pentóxido de fósforo y 0.5-1.5% de óxido de potasio). Por esta razón, la industria de los fertilizantes sintéticos se ha convertido en indispensable en nuestra sociedad. En efecto, permite aumentar la producción de alimentos para satisfacer los requerimientos cada vez mayores ocasionados por la explosión demográfica.

Las principales materias primas para producir los fertilizantes sintéticos son el amoniaco, el azufre, el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, la roca fosfórica y el mineral de potasio.

Si consideramos como petroquímicos únicamente a los derivados de los hidrocarburos, entonces sólo los fertilizantes nitrogenados se derivan del petróleo, o sea del amoniaco. Sin embargo en países como México, cuyos crudos tienen un alto contenido de azufre, se considera que este producto también es un compuesto petroquímico

básico.



**Figura 33. Integración de los fertilizantes nitrogenados.**

El azufre, además de ser un macronutriente secundario, es un material clave para la industria de los fertilizantes, porque se usa para producir el ácido sulfúrico. Este ácido sirve para solubilizar la roca fosfórica, y el 85% de los fertilizantes fosfatados se derivan del ácido fosfórico hecho con ácido sulfúrico.

Los nitrofosfatos representan el 11% de los fosfatados hechos con ácido nítrico.

Los fertilizantes nitrogenados sólidos que se consumen en México son: sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato de amonio, fertilizantes complejos y urea.

La figura 33 ilustra la integración de los principales fertilizantes sintéticos.

*Herbicidas.* De acuerdo al Departamento de Agricultura de Estados Unidos, se estima que cerca del 10% de la producción agrícola del país se pierde a causa de las hierbas. Esto significa aproximadamente 12 000 millones de dólares anuales, además de los 6 200 millones

que se gastan al año en combatir las hierbas, lo que da un total de más de 18 000 millones de dólares.

Existen más de 1500 especies de hierbas que dañan los principales productos agrícolas, ocasionando los problemas que a continuación se mencionan:

1. Las hierbas consumen los nutrientes, la humedad, la luz y el espacio que requiere el cultivo para un crecimiento apropiado, y por lo tanto provocan una reducción en el rendimiento.
2. Dificultan el rendimiento de los cultivos, al contaminar las cosechas recogidas, lo que provoca la reducción de su calidad y precio.
3. Las hierbas permiten la proliferación de insectos que dañan los cultivos.
4. Algunas hierbas son venenosas para el ganado, animales silvestres y aun para los humanos.

Por lo tanto, el uso de herbicidas permite sembrar más alimentos y fibras en menos terreno, con menos mano de obra, y a un costo menor. Además promueve el crecimiento de la ganadería al permitir la destrucción de las hierbas venenosas y abrir la posibilidad del cultivo de mejores pastizales.

Existen actualmente más de 180 herbicidas básicos, además de 6 000 productos comerciales formulados con los anteriores.

A pesar de que el uso de los herbicidas data desde 1850, el verdadero crecimiento en su uso fue después de 1945 con la aparición del 2,4 D y del 2,4,5-T, que son ácidos fenoxiacéticos clorados

Desde los primeros desarrollos de los fenoxi-herbicidas, han surgido muchos otros productos químicos a este mercado. Entre éstos se encuentran los ácidos alifáticos clorados, los ácidos benzoicos clorados, las dinitro anilinas sustituidas y las fenólicas, todas ellas sintetizadas a partir de petroquímicos.



**Figura 34** Herbicidas, insecticidas, fertilizantes, combustibles, etc., de la agricultura.

En Estados Unidos el 75% de los herbicidas se usa en la agricultura. El resto se emplea en las zonas industriales, en las vías de ferrocarril, en las orillas de las carreteras, en lotes baldíos y en los jardines y parques urbanos.

*Insecticidas.* Los insecticidas son productos químicos que sirven para destruir insectos perjudiciales. El gran número de estos productos que existe en la actualidad se clasifica según el mecanismo de su acción en:

- a) Insecticidas por ingestión, los que matan por intoxicación alimenticia, entre los cuales se encuentran los arseniatos de calcio y de plomo.
- b) Insecticidas por inhalación, como el sulfuro de carbono, el ácido cianhídrico y el para-dicloro-benceno.
- c) Insecticidas por contacto, que son los más eficaces, siendo los más comunes el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), el HCC (hexacloro-ciclohexano), el sulfuro de difenilo, etc., que matan por efecto vesicante.

A continuación mencionaremos los principales insecticidas orgánicos de origen petroquímico. Éstos se pueden clasificar según sus funciones químicas en clorados, organofosforados y nitrofenoles.

*Insecticidas clorados.* El DDT fue el primer insecticida clorado. Se usa desde 1939 y sirve para controlar cientos de especies de insectos en jardines, bosques, selvas, campos de cultivo y árboles frutales.

Otros insecticidas de la misma familia son el HCC, el DDD, el perthane, el lindano, el telodrín, el endrín, etc.

*Insecticidas organofosforados.* Los prototipos de esta familia son el "paratión" y el "malatión".

El paratión y su análogo metilado son los insecticidas fosforados más usados en la actualidad, pues son más efectivos contra una gran variedad de insectos que cualquier otro producto. Generalmente se usan en concentraciones bajas del orden de 0.010.1%.

El malatión es un insecticida usado para propósitos generales en el hogar, jardines urbanos, para controlar los insectos de frutas y verduras, y en la salud pública para combatir moscas, mosquitos y pulgas.

*Insecticidas de nitrofenoles.* Los dinitrofenoles se utilizan como insecticidas, herbicidas y fungicidas.

El primer insecticida de esta familia fue el DNOC (dinitro cresol). Actualmente se usan las sales o ésteres del 4-6 dinitro-2-alkilfenol, las cuales se conocen comercialmente como "Dinoseb" y "Dinocap".

*Fumigantes.* Los fumigantes son productos químicos que se distribuyen en el espacio en forma de gas. Por lo tanto, a una temperatura y presión dadas, deben de existir en la fase gaseosa en concentraciones suficientes para que sean letales a los insectos y plagas. Estas condiciones limitan el número de insecticidas que pueden ser usados como fumigantes.

Los fumigantes se emplean para proteger cultivos de toda clase. Éstos pueden estar en el campo, en invernaderos, jardines, hortalizas, etc. También se emplean para proteger alimentos almacenados en bodegas y silos contra gusanos, hormigas y otros insectos.

Los principales productos petroquímicos usados como fumigantes son: el acrilonitrilo, el disulfuro de carbono, el tetracloruro de carbono, el para-dicloro-benceno, el tricloro etileno, el bromuro de metilo, el naftaleno, el óxido de etileno, el 1,2-dicloropropano, etc.

Estos fumigantes se pueden usar solos o combinados. Por ejemplo, el tetracloruro de carbono se usa con el disulfuro de carbono para reducir su inflamabilidad.

*Plásticos usados en la agricultura.* Los plásticos, como el policloruro de vinilo (PVC) y el polietileno tienen amplia aplicación en la agricultura. Estos polímeros se usan principalmente en las tuberías de riego, en la construcción de invernaderos, y en el "arropado" de cultivos.



La técnica del arropado de cultivos consiste en cubrir el suelo, previamente barbechado y rastreado, con películas de polietileno o de PVC y sujetarlas por sus extremos. A continuación se hacen perforaciones circulares de 10 centímetros de diámetro en la película y en el terreno, con una separación de 20 a 25 centímetros. Se coloca la semilla en cada perforación.

Las plantas crecen a través de la perforación en las óptimas condiciones antes mencionadas, lográndose cosechas excelentes.

La técnica de arropado de cultivos empleando películas de PVC y de polietileno se usa extensamente en los países desarrollados.

Sus principales ventajas son que evita el crecimiento de las hierbas; conserva la humedad y el calor del suelo; permite que los fertilizantes se asimilen mejor; controla la erosión del suelo y permite incrementar la productividad de las cosechas.

En México se emplea esta técnica usando un polímero denominado "asfaleno" que fue desarrollado por el Instituto Mexicano del Petróleo y que actualmente se fabrica en Petróleos Mexicanos.

*Ganadería.* La petroquímica está presente en la ganadería en la fabricación de garrapaticidas, medicamentos, herbicidas para mejores pastizales, y en la elaboración de complementos alimenticios como la "metionina" y la proteína unicelular fabricada a partir del amoniaco y el metanol.

*Alimentos procesados.* La petroquímica también interviene en la preparación y preservación de productos alimenticios a través de los llamados aditivos.

Estos productos cubren propósitos múltiples, entre los que se encuentran hacer que los alimentos tengan una apariencia más atractiva para los clientes, evitar que se descompongan, agregarles valor nutritivo, hacer que los procesos de manufactura sean más fáciles y baratos, etc.

Los productos químicos que se suelen usar en los alimentos procesados se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. **Preservativos:** En la antigüedad los métodos de preservación eran el secado, salado y azucarado. En la actualidad se emplean antioxidantes químicos para evitar que las grasas se hagan rancias y que las frutas se descompongan. Otros preservativos controlan el desarrollo de bacterias, moho o levadura.

2. Modificadores de textura y consistencia: A nadie le gusta que los alimentos estén grumosos, aguados o pegajosos. Para ello se usan los emulsificantes a fin de emulsionar las sustancias que no se mezclan fácilmente. También se usan viscosificantes para espesar y dar firmeza, y agentes antiapelmazantes para evitar que los polvos fluyan libremente.
3. Ácidos, bases y buffers: Éstos permiten ajustar la acidez, la cual tiene efectos muy importantes en muchos productos alimenticios.
4. Nutrientes y suplementarios: Éstos por lo general son vitaminas y minerales.
5. Saborizantes y edulcorantes: Éstos pueden ser de origen natural o artificial, como los ésteres y la sacarina.
6. Colorantes y blanqueadores: Éstos también pueden ser naturales o artificiales.
7. Varios: Éstos pueden ser agentes antiespumantes, acentuadores de sabor, humectantes, agentes de curado, clarificadores y muchos otros.

A continuación mencionamos algunos de los aditivos artificiales que son derivados de los productos petroquímicos.

Acido adípico: Se usa como acidulante en las bebidas de frutas, gelatinas y postres.

BHA y BHT: Preservativos, antioxidantes usados en grasas y aceites vegetales.

CMC: Viscosificante usado en helados, rellenos de pastel y alimentos dietéticos.

Glicerol: Humectante y suavizante usado en dulces y repostería.

Propilenglicol: Humectante, solvente. Se usa en dulces, refrescos y malvaviscos.

Benzoato de sodio: Preservativo usado en jugos de frutas, conservas y aderezos para ensaladas.

Nitrito y nitrato de sodio: Preservativo que imparte color a las carnes frías derivadas del puerco, tales como el jamón, embutidos, etc.

Bióxido de azufre: Fungicida y bactericida usado en los vinos de mesa.

## **SALUD**

La petroquímica participa activamente en la salud del hombre.

En la preparación de medicamentos genera los reactivos químicos que sirven para hacer productos fisiológicamente activos como el ácido acetilsalicílico que es el analgésico conocido como aspirina, y en la fabricación del anestésico local llamado benzocaína.

En otras ocasiones son sus productos intermediarios los que participan, como en el caso del formato de metilo fabricado a partir del metanol y el ácido fórmico, que se usa como uno de los reactivos para producir vitamina B.

Algunos productos petroquímicos se utilizan como medicamentos. En este caso se encuentra la glicerina usada para hacer supositorios y la nitroglicerina empleada para aliviar los dolores de la angina de pecho al vasodilatar las arterias coronarias.

La preparación de antibióticos, vacunas, drogas, hormonas, esteroides, vitaminas, etc., requiere de solventes para la extracción de los principios activos de las plantas y otros productos naturales. Estos solventes por lo general son derivados petroquímicos tales como el acetato de etilo, el acetato de butilo y el acetato de amilo.

Los polímeros también participan en la industria de la salud, donde se les llama biomateriales. Sirven no sólo para hacer órganos artificiales como huesos, corazones, arterias, dientes, etc., sino también para la preparación de medicamentos con los llamados "sistemas de liberación controlada".

A continuación describiremos brevemente el uso de los polímeros como biomateriales en el campo de la salud.

### *Medicamentos con sistema de liberación controlada*

Antes de describir la participación de los polímeros en la preparación de este tipo de medicamentos, explicaremos qué son los sistemas de liberación controlada y cuáles son sus ventajas, a fin de vislumbrar mejor el futuro de los polímeros en este campo.

Este sistema ha tomado gran auge en los últimos años; surgió como respuesta a las desventajas presentadas por las formas convencionales de los medicamentos (pastillas, cápsulas, etc.). Esto se entenderá mejor si se analiza cómo actúan fisiológicamente los

medicamentos que se ingieren en forma de cápsulas o pastillas (ver Fig. 35).

Cuando se ingiere una cápsula o tableta convencional, la concentración del medicamento en el torrente sanguíneo puede subir al principio rápidamente a un nivel superior al llamado rango terapéutico (nivel en donde la concentración del medicamento es suficiente para tener efecto adecuado).

Si la concentración está abajo de este rango, el medicamento no tiene ningún efecto, pero si por el contrario se encuentra por arriba de este nivel, el medicamento tendrá efectos tóxicos, es decir, provocará efectos secundarios tales como dolores de cabeza, somnolencia, náuseas, hipotensión, etc.

Por lo general, al ingerir los medicamentos presentados en las formas convencionales, la concentración de los mismos en el torrente sanguíneo está por encima del rango terapéutico con los efectos antes mencionados.

Después, la concentración baja al rango terapéutico permaneciendo allí por una o dos horas, y después decae por debajo de este nivel en donde no tiene ningún efecto. Cuando se toma la siguiente dosis de medicamento, su concentración en la sangre sigue el ciclo anterior. El resultado es que el medicamento produce el efecto positivo deseado sólo del 40 al 60% del tiempo.

Obviamente sería mucho mejor si la formulación proveyera una liberación controlada del medicamento, de tal modo que el agente activo permaneciera en el rango terapéutico durante un periodo mayor, quizás del 89 al 90% del tiempo.

Los investigadores que se dedican al estudio y desarrollo de medicamentos, así como las compañías farmacéuticas, tienen un gran interés en este tipo de formulaciones, no sólo por los argumentos antes mencionados, sino por otras razones como son las siguientes:

1. Los medicamentos con sistemas de liberación controlada no necesitan tomarse tan a menudo, por lo que son más convenientes. Algunos medicamentos se implantan y su efecto, por ser de liberación controlada, dura desde un mes hasta más de un año.
2. Si un medicamento se toma una vez al día, habrá menos probabilidades de que el paciente lo olvide, como sería el caso si tuviera que tomarlo cuatro veces al día.
3. Los medicamentos con este tipo de sistema casi nunca

están por encima del rango terapéutico, por lo que sus efectos secundarios son casi nulos y en algunos casos se eliminan.

4. Si un medicamento incorporado a un polímero se implanta en la parte más cercana al sitio de acción, ésta será más efectiva y producirá menos efectos indeseables.
5. Una forma de dosificación mejorada de cualquier medicamento ya existente podría incrementar considerablemente sus propiedades. De este modo no sería necesario desarrollar nuevos medicamentos para el mismo propósito, lo que ahorraría el tiempo y dinero que implican la investigación y desarrollo, así como los permisos respectivos para su uso.
6. Muchas patentes de medicamentos importantes están a punto de expirar, por lo que las compañías que desarrollaron las formulaciones originales buscan la manera de protegerse de los nuevos trámites que esto les ocasionaría. Una forma de lograrlo es tomar un medicamento cuya patente expire en 1987, y lanzarla al mercado con un sistema de liberación controlada, haciendo que la patente sea válida hasta 1998. De esta manera la compañía que desarrolló el medicamento original podrá conservar su posición comercial en un campo específico, ya que en principio hizo un producto superior.

*Usos de los sistemas de liberación controlada.* Estos sistemas sirven para un gran número de medicamentos, incluyendo aquellos que se usan en el tratamiento del glaucoma, angina de pecho, paludismo, alergias, caries dental, anticonceptivos, hipertensión, etc. Tienen varias formas. Algunos son dispositivos que contienen el medicamento y que se implantan en el cuerpo por un periodo determinado. Otros son parches que se adhieren a la piel.

A continuación describiremos algunos de estos sistemas con sus medicamentos y usos, así como los derivados petroquímicos que intervienen en su fabricación. Algunos de estos productos ya están siendo comercializados; otros están en estado experimental.

Los siguientes son algunos medicamentos que ya están a la venta.

#### *Parches transdérmicos*

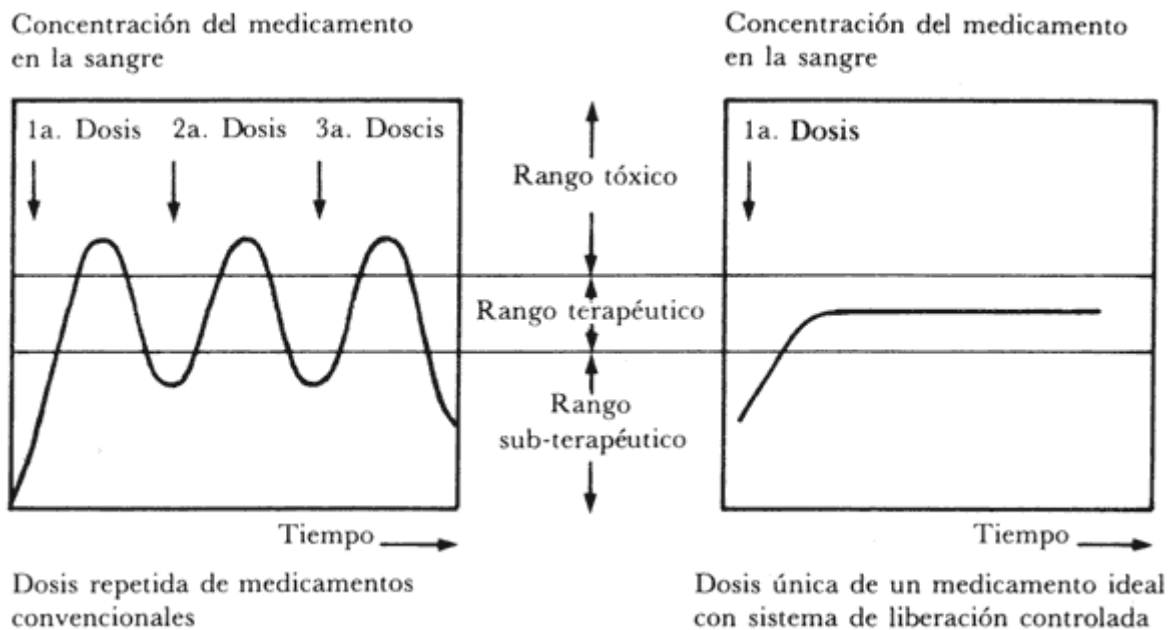
Uno de los avances más emocionantes en el campo de la liberación controlada de medicamentos es el uso de los llamados parches

transdérmicos que se adhieren a la piel en donde se libera el medicamento por periodos de uno a siete días dependiendo del medicamento.

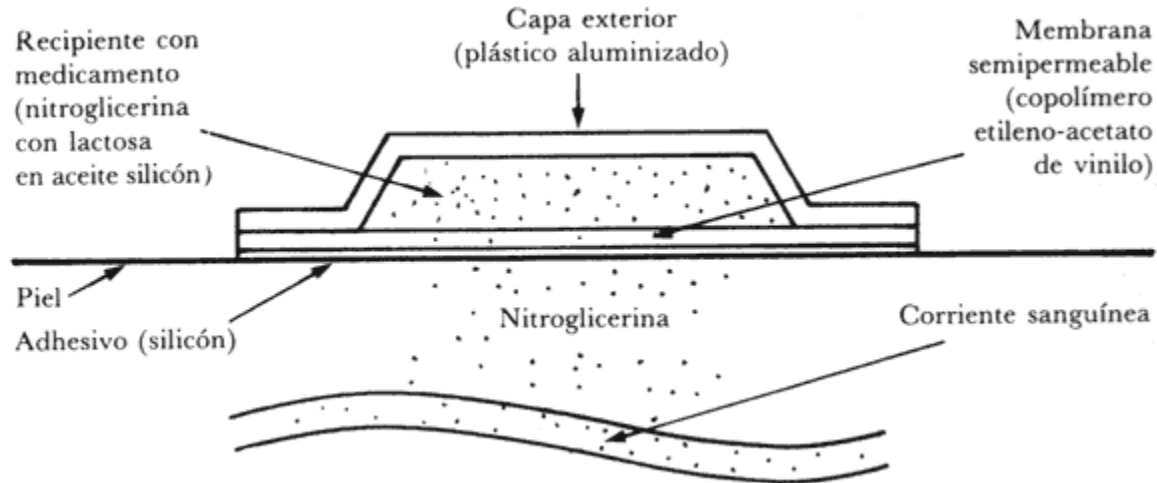
Por lo general, los parches transdérmicos consisten en una capa de poliéster aluminizado que sirve de protector. Después tienen una capa de la sustancia activa, y por último una membrana microporosa de polipropileno que es la que controla la liberación de la medicina hasta la superficie de la piel. El parche se mantiene sobre la piel por medio de un adhesivo.

Los medicamentos que se han comercializado con este sistema son muy variados. Los más comunes son los que tienen los usos siguientes.

*Mareos.* Los mareos provocados por movimiento (barcos, avión, automóvil, etc.) se suelen combatir actualmente con el medicamento llamado "Transderm-scop" que fue desarrollado por Alza e introducido por la Ciba-Geigy en julio de 1981. Es un parche transdérmico que contiene escopolamina disuelta en aceite mineral, impregnada sobre poliisobutileno, lo cual constituye la segunda de las capas antes mencionadas. Su forma es circular, es del tamaño de una moneda pequeña y se coloca detrás de la oreja.



**Figura 35. El nivel en el medicamento en la sangre varía en función del tiempo.**



**Figura 36. Parche transdérmico de nitroglicerina para aliviar dolores de la angina de pecho.**

*Angina de pecho.* Los parches transdérmicos más usados son los que contienen nitroglicerina y sirven para aliviar las molestias de la angina de pecho, al permitir vasodilatar las arterias coronarias y así aumentar el flujo de sangre al corazón.

Antes de la aparición de los parches transdérmicos que contienen nitroglicerina, este medicamento se vendía en forma de tabletas, cápsulas y ungüentos. Las tabletas conservan su efecto terapéutico durante tres horas, las cápsulas actúan de ocho a doce horas y el ungüento se unta una o dos veces diarias, pero presenta la inconveniencia de ser pegajoso y no poderse aplicar sobre la piel en cantidades uniformes. En cambio, el efecto de los parches transdérmicos dura 24 horas.

Varias compañías farmacéuticas producen estos parches, usando diferentes tipos de polímeros como membranas de difusión. Los más comunes son los copolímeros de etileno-acetato de vinilo, y los de cloruro de polivinilo y sus terpolímeros.

Los parches transdérmicos de nitroglicerina se venden bajo los nombres de Transderm-nitro, Nitro-Dur, y Nitrodisc (ver figura 36).

*Hipertensión.* Los parches transdérmicos que contienen medicamentos como la clonidina (vendido actualmente en tabletas con el nombre de catapres) se usan para combatir la hipertensión arterial. Los parches que están próximos a salir al mercado se llamarán Catapres TTS

(sistema terapéutico transdérmico). Su efecto terapéutico dura una semana.

*Climaterio.* Otro medicamento que usa este sistema de liberación controlada y que está próximo a salir al público es el parche transdérmico que contiene estradiol, una hormona natural que se emplea para disminuir los síntomas del climaterio.

Los parches transdérmicos no son los únicos usados en los sistemas de liberación controlada. También se suelen usar los polímeros bajo otras formas y para controlar otras enfermedades como las que mencionaremos a continuación.

*Caries dental.* El sistema de liberación controlada consiste en un hidrogel a base de polihidroxietil metacrilato que sirve como membrana dosificante de fluoruro. El sistema se implanta en una muela posterior y permite liberar el fluoruro necesario para proteger al paciente durante seis meses contra la caries dental.

*Glaucoma.* Para este caso, se usa un copolímero de etilenoacetato de vinilo como membrana para la liberación controlada de la pilocarpina. Este medicamento reduce la presión intraocular, lo que permite disminuir la posibilidad de que la enfermedad provoque ceguera.

La nueva presentación del medicamento se llama Ocusert y tiene la forma de una oblea delgada que se coloca en la parte interna del párpado inferior.

La liberación controlada de la pilocarpina dura una semana.

*Anticonceptivos.* El Progestasert desarrollado por la compañía Alza en 1967 consiste en un dispositivo intrauterino fabricado con un copolímero de etileno-acetato de vinilo.

Este polímero sirve como membrana y controla la liberación lenta de la Progesterona hacia el útero. Su acción dura un año.

### *Biomateriales para órganos artificiales*

La capacidad para reemplazar órganos dañados total o parcialmente ha permitido mejorar la calidad y tiempo de vida de muchas personas.

Su éxito se debe fundamentalmente a los biomateriales, muchos de los cuales son plásticos y resinas provenientes de la petroquímica. Gracias al trabajo conjunto de químicos, bioquímicos e ingenieros, se ha logrado modificar la composición y propiedades de los plásticos que han permitido el desarrollo de los aparatos biomédicos actuales.



*Biomateriales para sistemas cardiovasculares.* Los obstáculos que se han tenido que vencer en materia de aparatos usados en sistemas cardiovasculares se deben fundamentalmente a la escasez de materiales con suficiente resistencia y durabilidad, propiedades indispensables en los implantes de larga vida.

Otros problemas con tales materiales incluyen la formación de coágulos en la sangre y la mineralización en la superficie de éstos, fallas mecánicas, hemólisis (destrucción de los glóbulos rojos), degradación del material y la activación de los factores que favorecen los coágulos que provocan las trombosis.

Los materiales más apropiados para usos cardiovasculares son los poliuretanos tipo poliéster como el "biomer". Este tipo de elastómero es muy versátil, pues puede moldearse en solución, por inyección, o por extrusión, a fin de darle la forma y configuración más variada.

El primer corazón artificial se colocó el 2 de diciembre de 1982 a Barney Clark, de 61 años de edad. Este corazón fue desarrollado por Robert K. Jarvik y se llama Jarvik-7. Los dos ventrículos estaban hechos de poliuretano soportado sobre bases de aluminio, y el diafragma era de biomer, que es un poliuretano de base poliéster aromática que posee excelente vida flexible, resistencia a la fatiga y alta resistencia al deslizamiento.

En un corazón latiendo a 100 palpitaciones por minuto, el diafragma se flexiona más de 50 millones de veces en un año, por lo que las propiedades antes mencionadas son indispensables.

Este mismo tipo de corazón artificial se implantó en William Schroeder, de 52 años de edad, quien duró con vida más de un año después de la operación.

Los polímeros derivados del petróleo también son útiles para injertos vasculares. Esta técnica quirúrgica para tratar a los pacientes con arterioesclerosis consiste en reemplazar o en desviar los vasos sanguíneos obstruidos. El material más usado en la actualidad es el dacrón, fibra poliéster fabricada por la Dupont.

Desde 1975 se ha injertado en más de 500 000 casos clínicos el polímero denominado PTFE (poli-tetrafluoro-etileno expandido).

Éste se usa principalmente para reconstruir las arterias de las piernas y también para permitir el paso de la sangre en las diálisis.

El PTFE se ha empleado para sustituir a la vena safena, que es el injerto más común en la reconstrucción de las arterias. La sustitución se hace sobre todo en los pacientes que no tienen dicha vena en

condiciones adecuadas, ya sea por ser corta, de diámetro pequeño, o presentar problemas de flebitis.

*Diabetes.* Otra de las aplicaciones médicas de los polímeros es el control de la insulina en los enfermos diabéticos.

El material usado es un copolímero de acetato de vinilo y etileno, unido en forma covalente a una enzima de glucosa oxidasa e implantado en el cuerpo del enfermo. Dicho sistema de implante permite autorregular el envío de insulina de la manera siguiente:

La glucosa, al difundirse por el sistema polimérico, se convierte en el ácido glucónico. Esto aumenta la acidez, que a su vez provoca un incremento en la solubilidad y liberación de la insulina.

El efecto también es reversible, es decir, cuando disminuyen los niveles de glucosa, baja la velocidad de liberación de la insulina.

**CUADRO 24. Polímeros sintéticos comúnmente usados para prótesis**

<i>nombre</i>	<i>nombre comercial</i>
polietileno	PE
polipropileno	PP
cloruro de polivinilo	PVC
politetrafluoro etileno	teflón, PTFE
poliacrilonitrilo	orlón
acetato de polivinilo	PVAC
alcohol polivinílico	PVAL
polimetil-meta-acrilato	plexiglas, lucite
polidimetil siloxano	silastic
tereftalato de polietileno	dacrón
adipato de polihexametilen diamina	nylon 6,6

*Prótesis en general.* El cuadro siguiente describe algunos de los polímeros sintéticos comúnmente usados en la elaboración de prótesis y aparatos biomédicos. Estos materiales se usan para hacer prótesis de orejas, ojos, cadera, rodillas, cráneo, huesos, válvulas y corazones artificiales, venas y toda clase de catéteres y cánulas.

*Odontología.* Los petroquímicos también participan en la odontología, siendo las resinas acrílicas las principales protagonistas. Los requisitos ideales de una resina dental son los siguientes:

1. El material debe tener suficiente transparencia para reproducir estéticamente los tejidos que ha de reemplazar. Debe ser capaz de ser pigmentado con esa finalidad.

2. No debe experimentar cambios de color o aspecto después de su procesamiento dentro de la boca o fuera de ella.
3. No debe dilatarse, contraerse, ni curvarse durante el procesamiento ni mientras la use el paciente.
4. Debe poseer resistencia a la abrasión adecuada para soportar el uso normal.
5. Debe ser impermeable a los líquidos bucales para que no se convierta en insalubre o produzca olor y sabor desagradables. Si se utiliza como material de obturación o cemento, debe unirse químicamente al diente.
6. Debe ser insípida, inodora, no tóxica ni irritante para los tejidos bucales.
7. Debe ser completamente insoluble en los líquidos bucales o cualquier sustancia que ingrese a la boca, y no presentar manifestaciones de corrosión. No debe absorber tales líquidos.
8. Su gravedad específica debe ser baja.
9. Su temperatura de ablandamiento será muy superior a la de cualquiera de los alimentos o líquidos calientes introducidos en la boca.
10. En caso de rotura inevitable, debe ser posible reparar la resina fácil y eficazmente.
11. La transformación de la resina en aparato protético debe efectuarse fácilmente con un equipo simple.

En los últimos años de la década de los cuarenta se crearon los acrílicos de autocurado, que hicieron posible la restauración directa de los dientes con resina.

Tales productos permiten la combinación del monómero con el polímero, con el cual se obtiene una masa plástica o una gel que se coloca dentro de la cavidad tallada donde se polimeriza *in situ*. El componente principal del polvo de polímero es el polimetil-meta-acrilato en forma de perlas o limaduras. Además, el polvo contiene un iniciador de radicales libres que es el peróxido de benzoílo (0.33%). Este polvo se mezcla con el monómero de metil-meta-acrilato, y a veces se le introducen agentes de unión cruzada como el dimetacrilato de etilo (5%), lo que permite aumentar la estabilidad de la resina.

Este mismo tipo de producto se usa para hacer las bases de dentaduras en las prótesis. Para este uso también se suele emplear un copolímero de cloruro de vinilo y acetato de vinilo, saturado con metacrilato de metilo, para formar una gel plástica.



**Figura 37. Resinas acrílicas usadas en la reparación de dientes.**

Las bases de dentaduras hechas con el proceso de inyección emplean poliestireno como resina de moldeo. Las resinas acrílicas también sirven para hacer dientes artificiales, que poseen ciertas ventajas sobre los dientes hechos de porcelana, como es su mayor resistencia al choque y su bajo módulo de elasticidad, lo que permite disminuir el "castañeteo" que con frecuencia padecen los portadores de prótesis dentales.

El motivo por el cual las resinas dentales actuales se hallan más o menos limitadas a los polimetil-meta-acrilatos y otros monómeros de metacrilato se debe a que son las únicas resinas conocidas que proporcionan, con técnicas relativamente simples, las propiedades esenciales para el uso en boca.

Aún no se ha hallado la resina que cumpla con todos los requisitos antes mencionados. Pero las resinas de polimetil-acrilato y sus copolímeros son los que reúnen el mayor número de ellos. Se encuentran en el comercio bajo el nombre de Profile, Finesse, Isopast, etc.

### **ARTÍCULOS COMPLEMENTARIOS USADOS PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE SALUD, VESTIDO Y ALIMENTACIÓN**

La petroquímica también interviene en todos aquellos artículos que son complementarios. A continuación mencionaremos algunos de ellos.

En las cocinas se emplean refrigeradores, que contienen interiores de plástico, aislante de poliuretano y freón o amoniaco como gas de enfriamiento; también hay recipientes de polietileno, batidoras y licuadoras. Además, muchos artículos eléctricos del hogar están hechos de diferentes tipos de plásticos, sartenes recubiertos de teflón, muebles hechos de madera aglomerada y cubiertos de formaica y melamina; artículos de limpieza que contienen amoniaco, detergentes hechos de fenoles etoxilados, de dodecibencen-sulfonatos, etc.

En la limpieza y cuidado de la ropa intervienen los petroquímicos a través de los solventes usados en el lavado en seco de las prendas, así como en los desmanchadores y en los detergentes y jabones que emplean olefinas lineales, tetrámero de propileno, benceno, ácido sulfúrico, glicoles, fenoles, y otros muchos petroquímicos en su fabricación.

En los hospitales y centros de salud, los productos derivados del petróleo se encuentran en los recipientes para medicamentos, y en los materiales y aparatos usados tanto en las salas de operación como en sus laboratorios y oficinas.

Los guantes de cirugía, cámaras de oxígeno, sondas, placas radiográficas, recipientes diversos, jeringas, y aparatos en general, son hechos también de plásticos, resinas y hules derivados del petróleo.

## XIII. CONCLUSIONES

NO importa en donde estemos, sea en la cocina, en el taller, en la escuela, en la oficina, en el hospital, en el campo, en la fábrica, estamos rodeados de productos derivados de la industria petroquímica.

En términos generales se puede considerar que el gas natural, el gas LP, y varios de los hidrocarburos contenidos en las gasolinas de alto octano, son los principales proveedores de las materias primas básicas para la industria petroquímica.

Las olefinas y los aromáticos obtenidos de los productos antes mencionados son las piedras angulares sobre las que descansa la industria de los materiales sintéticos.

Indudablemente que no se cubrieron en este libro todos los aspectos de estos temas, ya que no se pretendió ser exhaustivo. Pero sí quisimos presentar los últimos descubrimientos y aplicaciones de la petroquímica para que el lector pudiera comprobar que aún hay mucho futuro en el fascinante mundo de la química del petróleo.

México es un país rico en petróleo, pero debemos comprender que para que esta riqueza natural sirva para cubrir nuestras necesidades en materia de vestido, salud, alimentación, vivienda, transporte, etc., es indispensable tener suficiente conocimiento para generar la tecnología de transformación.

Para ello hace falta el trabajo y talento tanto de científicos de todas las ramas de la ciencia, como de toda clase de personal técnico como son los químicos, bioquímicos, ingenieros de todas las especialidades, etc.

El trabajo científico nos permite establecer la comprensión y la explicación de causas, principios, procesos y leyes universales, con el fin de incrementar la relación entre el hombre y la naturaleza, independientemente del contexto político y social circundante, logrando con ello encontrar los satisfactores de necesidades comunes a la mayoría de los seres humanos. El científico no crea nada en el sentido absoluto, ya que el Creador del Universo es el que colocó al hombre en un mundo lleno de maravillas que sencillamente había que descubrir y desarrollar para solucionar los problemas que poco a poco han ido apareciendo a través de la historia humana. ¡Qué bueno que el hombre tenga el reto permanente de encontrar nuevas respuestas a sus necesidades, aplicando hoy algo que aprendió ayer, basándose en lo que otro había hecho anteayer! Es así como siempre existe la

esperanza de desarrollar algo mejor, porque creemos que estamos lejos de agotar todas las posibilidades de conocimiento de nuestro planeta, sobre todo en esta área de la química del petróleo.

Por otro lado, la tecnología consiste en aplicar los conocimientos científicos y empíricos para solucionar los problemas actuales que se definen en función de las necesidades económicas, políticas o sociales de una sociedad o grupo en particular. Por lo tanto, podemos decir que el desarrollo tecnológico de un país no implica usar las tecnologías de los países desarrollados sino tratar de cubrir sus necesidades con sus propios recursos tanto humanos como materiales.

En cuanto al resto de la población, la ayuda más grande que puede proporcionarle al país es hacer un uso más racional de los energéticos como son el gas, la gasolina y la electricidad (generada con combustibles), pues esto equivale a reducir el uso de la madera de los bosques para producir leña y carbón, a fin de poder contar con más material para hacer muebles y papel, de acuerdo a la ilustración descrita al iniciar este libro.

El pago al presente esfuerzo colectivo será el de garantizarle a las futuras generaciones el poder de disfrutar de los beneficios que brindan los productos derivados de la petroquímica en todos los aspectos de la vida cotidiana.

## A P É N D I C E

### **1. CAMBIOS A LA LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN MATERIA PETROQUÍMICA EN MÉXICO, 1960-1996.**

De acuerdo a este reglamento, la industria petroquímica se divide en dos sectores: sector básico y sector secundario.

La descripción del sector básico según el *Diario Oficial de la Federación* del 5 de febrero de 1971, comprende aquellos productos que son susceptibles de servir como materias primas industriales básicas, que sean resultado de los procesos petroquímicos fundados en la primera transformación química importante que se efectúe a partir de productos o subproductos de refinación de hidrocarburos naturales de petróleo.

El sector secundario comprende aquellos productos que sean resultado de los procesos subsecuentes a los señalados en el párrafo anterior, en cuya elaboración pueden operar indistintamente y en forma no exclusiva la nación, los particulares, o las sociedades de los particulares que tengan una mayoría de capital mexicano, ya sea solos o asociados con la nación.

Cuando algún producto tenga un interés económico o social para el país, su elaboración compete a la nación por conducto de Petróleos Mexicanos, de sus empresas asociadas en otros organismos descentralizados o de empresas de participación estatal.

De 1971 a 1996, México ha pasado de una economía cerrada con tendencia hacia la sustitución de importaciones, a una economía abierta, sin fronteras, neoliberal y globalizante, siguiendo las tendencias mundiales. Lo anterior trajo como consecuencia una redefinición del sector básico de la petroquímica, la cual cambia de ser el resultado de procesos fundados en la primera *transformación química* a ser el resultado de la primera *separación física* importante que se efectuó a partir de productos de la refinación de hidrocarburos naturales del petróleo. Esto se muestra en el cuadro 25.

**CUADRO 25. México: Evolución de la lista oficial de petroquímicos básicos publicados en el *Diario Oficial de la Federación*<sup>1</sup>.**

**Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación.**



N°	9 abril 1960	13 octubre 1986	15 agosto 1989	17 agosto 1992	13 noviembre 1996
1		acetaldehído			
2		acetonitrilo			
3		acrilonitrilo			
4		alfa olefinas			
5	amoniaco	amoniaco	amoniaco		
6	benceno	benceno	benceno		
7	dicloro etileno	butadieno	butadieno		
8	butadieno	ciclohexano		butanos	butanos
9	cloruro de etilo	cloruro de vinilo			
10	cumeno	cumeno			
11		dicloroetano			
12	dodecilbenceno	dodecilbenceno	dodecilbenceno		
13		estireno			
14		etano	etano	etano	etano
15		etil benceno			
16	etileno	etileno	etileno		
17	estireno				
18		heptano	heptano	heptano	heptano
19		hexano	hexano	hexano	hexano
20	isopropanol	isopropanol			
21		materia prima, negro de humo	materia prima, negro de humo	materia prima, negro de humo	materia prima, negro de humo
22	metanol	metanol	metanol		metano
23		metilterbutil éter	metilterbutil éter	naftas	naftas
24		N-parafinas	N-parafinas		
25		olefinas internas			
26		orto-xileno	orto-xileno		
27		para-xileno	para-xileno		
28		pentanos	pentanos	pentanos	pentanos
29	polietileno de alta densidad	polietileno de alta densidad			
30	polietileno de baja densidad	polietileno de baja densidad			
31	propileno	propileno	propileno	propano	propano
32	polipropileno	tetrámetro de propileno	tetrámetro de propileno		
33			metilteramil éter		
34	tolueno	tolueno	tolueno		
35	xilenos	xilenos	xilenos		
TOTAL	17	34	20	8	9

<sup>1</sup> Memorias del Seminario "El Sector Energético" de la Maestría en Administración y Economía de los hidrocarburos. ESIA del Instituto Politécnico Nacional, 1996.

## 2. PRODUCCIÓN UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS DEL PETRÓLEO EN MÉXICO

**CUADRO 26. Producción de gas natural (millones de pies cúbicos diarios)<sup>1</sup>.**

	1993	1994	1995
Gas Asociado <sup>2</sup>	3 093	3 108	3 154
REGIÓN MARINA	1 244	1 339	1 379
Cd. del Carmen	574	563	547
Dos Bocas	671	776	832
REGIÓN SUR	1 723	1 641	1 649
Cárdenas	377	357	375
Comalcalco	438	409	363
Reforma	836	816	861
Agua Dulce	71	58	48
Ocosingo	1	1	1
REGIÓN NORTE	125	128	126
Poza Rica	73	78	79
Altamira	42	43	41
Veracruz	10	7	7
Gas no asociado <sup>3</sup>	484	517	605
REGIÓN NORTE	316	351	422
Reynosa	215	238	302
Veracruz	101	113	120
REGIÓN SUR	167	166	183
Ocosingo	144	146	165
Agua Dulce	24	20	18
<b>TOTAL</b>	<b>3 576</b>	<b>3 625</b>	<b>3 759</b>

<sup>1</sup> FUENTE: *Petróleos Mexicanos, Memoria de Labores 1995*, p. 158.

<sup>2</sup> Gas asociado: Gas que se encuentra en yacimientos junto con el petróleo crudo.

<sup>3</sup> Gas no asociado: Hidrocarburos ligeros encontrados en yacimientos sólo de gas.

**CUADRO 27. PEMEX REFINACIÓN: elaboración de productos petrolíferos (miles de barriles diarios).**

	1993	1994	1995
Gas seco	50	61	58
Gas licuado	59	66	61
Gasolinas	417	430	423
Nova	324	263	228
Magna-Sin	92	165	193
Otras gasolinas	2	2	2
Querosenos	84	85	77
Turbosina	72	74	70
Diáfano	8	8	5
Otros querosenos	3	2	1
Diesel	267	284	255
Sin	12	94	150
Desulfurado	242	182	101
Marino	3	2	2
Carga a HDS	10	6	1
Gasóleo Industrial	6	5	4
Fondos torre del alto vacío	2	2	-
Combustóleo	419	420	417
Pesado	418	412	414
Intermedio 15	1	8	2
Asfaltos	24	32	30
Lubricantes	7	7	7
Otros	21	3	4
<b>TOTAL</b>	<b>1 356</b>	<b>1 395</b>	<b>1 335</b>

**CUADRO 28. PEMEX REFINACIÓN: elaboración de productos petroquímicos (miles de toneladas).**

	1993	1994	1995
Propileno	253	297	373
Propano-propileno	2	1	-
Tetrámero	3	4	5
Benceno	72	73	60
Etilbenceno	22	21	18
Estireno	18	19	13
Tolueno	16	46	29
Xileno (meta y para)	54	66	52
Ortoxileno	4	3	3
Aromáticos pesados	8	3	-
Anhídrido carbónico	122	131	127
Butano/butileno	681	700	727
Butadieno	24	27	22
Hexano	27	26	15
Ciclohexano	66	73	68
Polialquilados	1	-	-
Materia prima negro de humo	123	137	166
Hidrógeno	31	31	30
Azufre	146	172	164
<b>TOTAL</b>	<b>1 672</b>	<b>1 830</b>	<b>1 872</b>

**CUADRO 29. PEMEX PETROQUÍMICA. Petroquímicos Secundarios:  
elaboración de productos por complejo (miles de toneladas).**

	1993	1994	1995
COSOLEACAQUE	4 110	4 902	4 868
Anhidrido carbónico	2 311	2 715	2 714
Amoniaco	1 753	2 132	2 099
Paraxileno	34	38	36
Hidrógeno	12	18	19
LA CANGREJERA	3 348	3 722	3 976
Pentanos*	624	822	1 032
Etileno	453	511	485
Xilenos	318	339	346
Tolueno	275	283	281
Benceno	234	247	227
Polietileno de baja densidad	232	270	275
Paraxileno	175	226	241
Etilbenceno	163	160	181
Oxígeno	159	138	142
Estireno	146	143	161
Acetaldehído	87	88	101
Óxido de etileno	81	71	79
Aromáticos pesados	54	64	65
Ortoxileno	44	50	49
Otros	304	310	311
MORELOS	1 583	1 609	1 804
Etileno	498	478	510
Oxígeno	331	318	302
Óxido de etileno	193	178	195
Glicoles etilénicos	122	106	141
Acetaldehído	122	125	134
Polietileno de alta densidad	110	120	99
Polipropileno	65	76	95
Acrilonitrilo	38	54	53
Otros	105	154	275
TULA	62	59	61
Acrilonitrilo	54	52	53
Otros	9	8	8
REYNOSA	44	36	37
Etileno	23	19	20
Polietileno de baja densidad	21	17	17
PAJARITOS	1 226	1 222	1 207
Dicloroetano	368	356	330
Cloruro de vinilo	223	212	189
Etileno	179	164	199
Refinado II	152	214	177
Ácido clorhídrico	147	141	135
MTBE	49	61	45
Acetaldehído	44	6	36
Otros	63	67	96
SALAMANCA	608	505	498
Anhidrido carbónico	344	302	294
Amoniaco	247	186	188
Isopropanol	17	17	17
TEXMELUCAN	323	385	395
Metanol	169	185	202
Polímero petroquímico	87	132	125
Acrilonitrilo	54	56	58
Otros	13	12	10

\*Petroquímico básico de acuerdo al *Diario Oficial* del 13 Nov. 1996.

FUENTE: Petróleos Mexicanos.- *Memoria de Labores*, pp. 239-240

### 3. PRODUCCIÓN VENTAS INTERNAS Y EXTERNAS DE PETROQUÍMICOS BÁSICOS EN MÉXICO PARA EL PERIODO 1993-1996

CUADRO 30. Producción de petroquímicos en México.

<i>Miles de toneladas métricas</i>	1993	1994	1995	1996
Acetaldehído	252	219	271	303
Ácido acético	174	175	225	257
Acrilonitrilo	146	161	164	166
Benceno	306	320	288	302
Dimetil tereftalato	373	391	460	501
Etilbenceno	185	160	181	193
Etileno	1 304	1 317	1 359	1 381
Dicloroetileno	368	356	330	342
Etilenglicol	317	292	326	345
Óxido de etileno	300	280	306	320
Formaldehído 37%	94	102	109	113
Metanol	169	185	202	211
Propileno	284	360	420	455
Estireno	164	162	173	179
Acido tereftálico	340	346	511	633
Tolueno	291	329	312	320
Urea	608	562	698	782
Acetato de vinilo	95	96	107	113
Cloruro de vinilo	223	212	189	199
Xilenos	629	721	346	358
Butadieno-estireno	94	98	132	155
Polietileno de alta densidad	197	202	181	190
Polietileno de baja densidad	308	341	346	349
Polipropileno 139	139	203	227	240
Poliestireno	147	156	123	136
Cloruro de polivinilo	395	346	382	402
Amoniaco	2 137	2 468	2 422	2 445
Nitrato de amonio	87	95	112	122
Sulfato de amonio	265	256	259	261
Negro de humo	66	84	96	103

FUENTE: Asociación Nacional de la Industria Química.

Publicado en el *Chem. & Eng. News*, diciembre 16 de 1996. p. 48.

CUADRO 31. Pemex-Gas y Petroquímica Básica. Volumen de ventas internas.

	1993	1994	1995
GAS NATURAL (MMPCD) <sup>1</sup>	1 380	1 450	1 552
Sector industrial	866	872	961
Sector eléctrico	415	494	524
Sector doméstico	99	84	67
GAS LICUADO (MBD) <sup>2</sup>	249	610	663
Doméstico	245	251	250
Carburación	4	4	5
PETROQUÍMICOS (MT) <sup>3</sup>	407	610	663
Hexano	51	50	45
Azufre	204	389	416
Mat. prima negro de humo	122	138	173
Pentanos	16	18	16
Heptano	7	6	5
Butano	3	1	1
Propano	3	3	3
Isobutano	2	4	4

FUENTE: Petróleos Mexicanos, *Memoria de labores 1995*, p. 221..

<sup>1</sup> MMPCD = millones de pies cúbicos por día

<sup>2</sup> MBD = miles de barriles por día

<sup>3</sup> MT = miles de toneladas

**CUADRO 32. Volumen del comercio exterior\*.**

	1993	1994	1995
EXPORTACIONES			
Gas natural (mmpcd)	5	19	21
Gas licuado (mbd)	8	13	13
Pentanos (mbd)	29	37	27
Butano (mbd)	10	13	12
Azufre (mt)	506	531	540
Butano crudo (mt)	36	7	-
Gasolinas naturales (mbd)	-	4	4
IMPORTACIONES			
Gas natural (mmpcd)	97	125	173
Gas licuado (mbd)	24	30	30
Propano (mbd)	6	1	7
Butano crudo (mt)	-	24	-

FUENTE: Petróleos Mexicanos, *Memoria de labores 1995*, p. 221.

#### 4. PETROQUÍMICOS PRODUCIDOS EN LOS PROCESOS DE REFINACIÓN EMPLEADOS PARA HACER GASOLINAS REFORMULADAS

CUADRO 33. Número de octano de compuestos petroquímicos contenidos en las gasolinas.

Compuesto	Número de Octano	
	Ron	Mon
Isobutano	102.1	93
Butano normal	93.6	90.1
Isopentano	92.6	86.8
Pentano normal	61.7	61.9
Benceno	-	115
Tolueno	120	103.5
Etilbenceno	107.4	97.9
p-Xileno	116.4	109.6
m-Xileno	117.5	115
o. Xileno	102	100
Aromáticos C <sub>8</sub>	106.5	100.7
Aromáticos C <sub>9</sub>	109.7	99.3
Aromáticos C <sub>10</sub>	108	94.6
Metilterbutil éter (MTBE)	118.3	101.3
Diisobutileno (DIB)	106	86.5

#### 5. PUBLICACIONES SOBRE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA MEXICANA.

*Petróleo y Petroquímica de México*

*Revista Mexicana del Petróleo*

*Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*

*Hule y Plásticos de México*

*Plastinoticias*

*Petroquímica 1984.* Desarrollo histórico y análisis de la situación actual de la industria petroquímica en México. Comisión petroquímica mexicana de la Secretaría de Energía y Minas e Industria Paraestatal

*La Industria Petroquímica Mexicana.* Desarrollo y Perspectivas, 1987. Instituto Mexicano del Petróleo.

#### 6. LA GASOLINA Y LOS AUTOS<sup>1</sup> EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

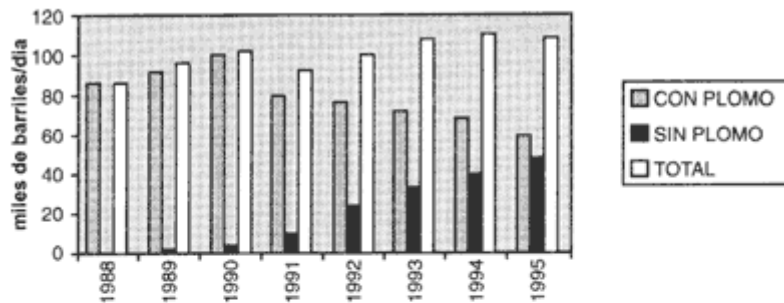


El inmenso consumo de combustibles por parte de los vehículos automotores constituye la principal fuente de emisiones contaminantes del Valle de México. El parque vehicular de la zona metropolitana ha crecido de manera persistente durante los últimos años, a tasas cercanas a 10% anual. Se calcula que actualmente circulan 3.2 millones de automotores.

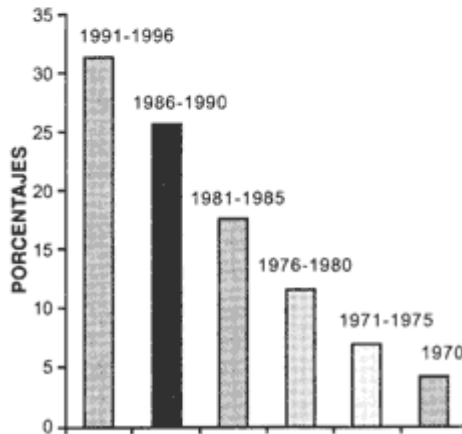
Aproximadamente 60% de los vehículos son de modelos anteriores a 1990 y generan un alto porcentaje de los contaminantes del D. F. y su área metropolitana, situación que complica la búsqueda de soluciones al problema de la contaminación.

El consumo de gasolina en 1996 se incrementó en 1.5 millones de litros en relación al año anterior, pasando de 17.7 a 19.3 millones de litros.

**Consumo promedio de gasolinas en la zmvm**



**Distribución de los vehículos por edades en la ZMVM**



**NOTAS**

<sup>1</sup> Eduardo Santos Z.; *Últimas Noticias de Excelsior*, 24 de diciembre de 1996.

## G L O S A R I O

**ácido.** Compuesto que cuando se disuelve en agua produce iones  $H^+$ .

**ácido carboxílico.** Ácido orgánico débil que contiene el grupo  $COOH$ .

**alcano.** Cualquier miembro de la serie saturada de los hidrocarburos. También se les llama parafínicos.

**alcohol.** Compuesto que contiene el grupo funcional  $-OH$ .

**aldehído.** Compuesto que contiene el grupo funcional  $-C-CHO$ .

**álcos.** Nombre dado por PEMEX a ciertos solventes alifáticos. Los álcos que podrán ser fabricados por la petroquímica secundaria son el 5, 8 y 9.

**álco 5.** Solvente usado para fabricación de recubrimientos para cítricos; solvente para la elaboración de cápsulas digeribles; solvente para extracción de aceites. Peso específico  $20/4^{\circ}C = 0.747$ ; temperatura de anilina  $61^{\circ}C$ . Destilación: temperatura inicial de ebullición  $120^{\circ}C$ , temperatura final de destilación  $145^{\circ}C$ .

**álco 8.** Producto usado en copadoras electrostáticas como disolvente de la tinta de impresión y en la fabricación de insecticidas sin olor. Peso específico  $20/4^{\circ}C = 0.75$ , temperatura de anilina  $80^{\circ}C$ , temperatura inicial de ebullición  $157^{\circ}C$ , temperatura final de destilación  $176^{\circ}C$ .

**álco 9.** Solvente para desodorizantes y aromatizantes de ambiente domésticos, cosméticos e insecticidas. Peso específico  $20/4^{\circ}C = 0.762$ , temperatura de anilina  $84^{\circ}C$ , temperatura inicial de ebullición  $173^{\circ}C$ , temperatura final de destilación  $198^{\circ}C$ .

**alquilados.** Productos provenientes del proceso de alquilación; hidrocarburos ramificados con alto índice de octano.

**alquilación.** Proceso en donde a las cargas gaseosas se les sustituye un hidrógeno por un radical alquilo.

**aromas.** Nombre dado por PEMEX a ciertas fracciones de xilenos pesados  $>C_9$ , caracterizados por su temperatura de ebullición.

**amina.** Compuesto que contiene un átomo de nitrógeno unido a tres átomos de carbono, o a dos átomos de carbono y un átomo de hidrógeno, o a un átomo de carbono y a dos de hidrógeno.

**antibiótico.** Sustancia producida por un microorganismo que mata o inhibe el crecimiento de otro tipo de microorganismos.

**anillo bencénico.** Un anillo con seis átomos de carbono que puede representarse con uniones alternadas de ligaduras dobles y sencillas.

**aromático (hidrocarburo).** Compuesto de carbono e hidrógeno que comúnmente contiene cuando menos un anillo bencénico con seis átomos de carbono.

**átomo.** La partícula más pequeña de un elemento.

**biodegradable.** Compuesto capaz de romperse formando compuestos simples, tal como el bióxido de carbono y agua por medio de bacterias que se encuentran en la naturaleza.

**butilo (grupo).** El grupo de átomos  $C_4H_9-$ . Existe en 4 formas isométricas.

**catalizador.** Sustancia (o mezcla de sustancias) que aumenta la velocidad de un proceso químico sin desgastarse ni cambiar ella misma después de la reacción. No cambia el punto de equilibrio de las reacciones reversibles, pero sí dirige el curso de las mismas haciéndolas selectivas. Pequeñas cantidades de catalizador pueden transformar grandes cantidades de reactantes debido a su autoregeneración.

**cetona.** Compuesto que contiene el grupo funcional  $-CO-$ .

**combustión.** Reacción química de una sustancia con oxígeno con desprendimiento de calor, generalmente acompañada de flamas. Un tipo de reacción de oxidación.

**compuesto químico.** Sustancia específica que está hecha de dos o más tipos diferentes de átomos unidos entre sí formando moléculas.

**combustión completa.** Reacción en la cual todo el carbono e hidrógeno de un compuesto se oxida formando bióxido de carbono y agua.

**concentración.** La cantidad de una sustancia dada que está presente en cada unidad de volumen.

**condensación.** La conversión de un vapor a un líquido cuando se enfría a la temperatura de ebullición del líquido.

**copolímero.** Sustancia producida por la polimerización de dos o más monómeros diferentes.

**criogénicas.** La ciencia y tecnología de los materiales a bajas temperaturas. Procesos para licuar los gases a bajas temperaturas.

**densidad.** Medida de peso por unidad de volumen. Generalmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

**desintegración.** Romper las moléculas por medio de calor y presión para formar fragmentos más pequeños.

**desproporción.** Partición de un hidrocarburo formando dos hidrocarburos diferentes, uno con menor y otro con mayor número de carbonos; no se aumentan ni disminuyen los hidrógenos,

**destilación.** Proceso que consiste en hervir un líquido para formar vapor y luego condensar el vapor para formar nuevamente el líquido. Se usa para separar compuestos líquidos de sus impurezas.

**destilación fraccionada.** Proceso de destilación en donde los compuestos que tienen diferentes temperaturas de ebullición pueden ser separados.

**doble ligadura.** Unión covalente en donde se comparten dos pares de electrones.

**ebullición (temperaturas).** Punto en el cual hierve un líquido.

**ecología.** La compleja red de interdependencias que existen entre las plantas animales y medio ambiental en una región dada (ecosistema).

**elemento.** Una de las 106 sustancias específicas conocidas que están compuestas por un solo tipo de átomo.

**emulsión.** Líquido que contiene glóbulos microscópicos de otro líquido que en condiciones normales no suelen mezclarse.

**esterificación.** La reacción entre un alcohol y un ácido carboxílico para formar un éster.

**éter.** Compuesto que contiene el grupo funcional -O-.

**etilo (grupo).** El grupo de átomos  $C_2H_5-$ .

**evaporación.** Conversión espontánea de un líquido a gas debido al calor del medio.

**fermentación.** Proceso mediante el cual las enzimas de las levaduras o bacterias convierten los azúcares o almidones en alcohol etílico y bióxido de carbono.

**grupo fenilo.** Grupo de átomos  $C_6H_5-$ , con los seis átomos de carbón formando un anillo bencénico.

**grupo funcional.** Cualquiera de los diferentes grupos de átomos que aparecen como una unidad en los compuestos orgánicos y que le imparten al compuesto un cierto conjunto de propiedades químicas.

**glicol.** Compuesto que contiene dos grupos -OH. Un dialcohol.

**halógeno.** Cualquier miembro del grupo 7A de los elementos de la tabla periódica: F, Cl, Br, I, o At.

**hidrocarburo.** Compuesto que sólo contiene átomos de carbono e hidrógeno.

**hidratación.** Reacción que implica la adición de agua.

**hidroformilación.** La producción de un aldehído a partir de un hidrocarburo y monóxido de carbono e hidrógeno.

**hidrogenación.** Reacción mediante la cual se adiciona hidrógeno a las dobles o triples ligaduras para saturar una molécula.

**hidrólisis.** Reacción química entre el agua y una sal, de tal modo que la solución resultante puede hacerse ácida o básica. En general es la reacción química de cualquier sustancia con el agua.

**isomerización.** El rearrreglo de la estructura de un compuesto sin aumentar ni disminuir ninguno de sus componentes.

**metilo (grupo).** El grupo de átomos  $CH_3$ .

**molécula.** La partícula más pequeña de un compuesto químico. Consta de átomos unidos entre sí.

**monómero.** Compuesto simple conteniendo ligaduras insaturadas y capaces de unirse entre sí, o con otras moléculas para formar compuestos más grandes (polímeros) con estructuras repetidas.

**naftenos.** Hidrocarburos cíclicos saturados; generalmente contienen cinco o seis carbonos en el anillo.

**oxidación.** La reacción de una sustancia con oxígeno. También describe el proceso mediante el cual se incrementa el estado de oxidación de un átomo al perder uno o más electrones.

**partes por millón (ppm).** Es una especie de porcentaje, pero en vez de describir cuantas partes de algo están en cien partes de un todo,

nos dice cuántas hay en cada millón de partes de un todo. Puede ser en peso o en volumen.

**pentilo (grupo).** El grupo de átomos  $C_5H_{11}$ -. También se le llama grupo amilo y existe en ocho formas isoméricas.

**petroquímica.** Cualquier producto químico que provenga o se haga del petróleo.

**pH.** Una medida de la acidez de una solución, es decir, la concentración de iones  $H^+$  en una solución.

**polimerización.** Reacción mediante la cual se forman moléculas grandes de unidades pequeñas repetidas (monómeros).

**propiedad física.** Propiedad de la materia que describe sólo su condición, por ejemplo, tamaño, densidad, color, conductividad eléctrica, etc.

**propiedad química.** Propiedad de la materia que describe cómo reacciona con otras sustancias.

**propilo (grupo).** Grupo de átomos  $C_3H_7$ -. Son dos isómeros.

**proteína.** Compuesto formado mediante la polimerización de aminoácidos.

**reducción.** El proceso mediante el cual se disminuye el estado de oxidación de un átomo al ganar uno o más electrones.

**reformación.** Proceso de conversión catalítica de fracciones como gasolina y nafta, formando productos de alto índice de octano. Es una combinación compleja de reacciones en donde predomina la deshidrogenación de los naftenos.

**silicón.** Compuesto de sílice y oxígeno que contiene grupos orgánicos unidos en forma covalente.

**sintético.** Fabricado artificialmente con tecnología química.

**solvente.** En una solución, es la sustancia en la cual se disuelve el soluto. Generalmente se presenta en una cantidad mucho mayor que el soluto.

**tecnología.** Aplicación con propósitos prácticos del conocimiento obtenido de la ciencia pura.

**teoría.** Explicación extensa de algunas observaciones científicas que parecen surgir en muchos experimentos.

**triple ligadura.** Unión covalente en donde se comparten tres pares de electrones.

**vapor.** Es un gas. Se le llama vapor cuando está asociado con la forma líquida de la misma sustancia.

**viscosidad.** El espesor de un líquido.

**vulcanización.** Reacción entre el azufre y el hule cuando se calientan juntos que le imparte dureza al hule. Entre mayor sea la cantidad de azufre, mayor será la dureza.

## B I B L I O G R A F Í A

### ARTÍCULOS TÉCNICOS CONSULTADOS

Anderson, E. V., "Optimism returns to Mexico's petrochemical industry", en *Chemical Engineering News*, 7 de noviembre de 1986, p. 14.

Chow, P. S., "El petróleo", en *Naturaleza. Imágenes de la ciencia*, vol. 3 núm. 2, 1972, pp. 70-76.

Greek, F. B., "Global rubber industry resumes growth trend", en *Chemical Engineering News*, 31 de marzo de 1986, página. 17.

Hatch, L. F. y Sami Matar, "From hydrocarbons to petrochemicals", en *Hydrocarbon Processing*, agosto de 1978, p. 153.

Hatch, L. F. y Sami Matar, "Thermoplastics", en *Hydrocarbon Processing*, septiembre de 1979, p. 175.

Hatch, L. F. y Sami Matar, "Thermosetting resins and engineering resins" *Hydrocarbon Processing*, enero de 1980, p. 141.

Heinhold, R. H., "Broadening capabilities of polypropylene for appliance applications", *Proceedings Society, Plastic Engineers National Technical conference*, 17-19 de noviembre de 1975, pp. 63-67.

Houston, J., "Automotive Market, Impetus to the growth of polyolefin polymers", en *Proceedings Chemical Marketing Research Association meeting*, 7-10 de febrero de 1978, pp. 142-168.

"De los vehículos de vapor a los de combustión interna", *Gaceta del Instituto Mexicano del Petróleo*, núm. 32, junio de 1986, p. 9.

Layman, P. L., "Detergent Report", *Chemical Engineering News*, 23 de enero de 1984, p. 17.

Mitre, L. F. "Las olefinas y su importancia estratégica y comercial en la petroquímica básica en México", *LIX Reunión a nivel de expertos de la Arpel*, México, 22-28 de septiembre de 1986.

Osborne, D., "The origins of petroleum", en *The Atlantic*, febrero de 1986, pp. 39-54.

Ough, C. S., "Chemicals used in making wine", en *Chemical Engineering News*, 5 de enero de 1987, p. 19.

Sanders, L. H., "Improved drug delivery", *Chemical Engineering News*, 11 de abril de 1985, pp. 30-48.

### **LIBROS DE CONSULTA**

Blanco, J., y R. Linarte, *Catálisis*, Instituto Mexicano del Petroleo, publicación núm. 74, EM/170, noviembre de 1974.

*Chambers Dictionary of Science and Technology*, Chambers Paperback Reference Books, Editorial Chambers, Edimburgo.

*Encyclopedia of chemical technology Kirk Othmer*, John Wiley & Sons, 1982.

Dalemont, Etienne, *Le Pétrole*, Presses Universitaires de France, 1966.

Etienne, G., y H. Menchaca, *El petróleo y la petroquímica*, ANUIES, Editorial Edicol, México, 1975.

Hall, A. J., *The Standard Handbooh of Textiles*, Chemical Publishing Co. Inc., Nueva York, 1965.

Infotec, *Resinas sintéticas en México*, 1970-1987.

Krieger James, *Chemical Engineering News*, 1996.

Lanuza, J. A., *Petróleo*, Editorial Offset, México, 1986.

Lapp, R. E., *Materia*, Colección científica de Time-Life, Offset Larios, 1976.

Leprince, P., Catry J. P. y Chauvel, A., *Les produits intermédiaires de la chimie de dérivés du pétrole*, Société des éditions Technip, 1967.



Meyerhoff, A., *Yacimientos gigantes de petróleo*, Conacyt, México, 1983.

Oparin, A. I., *The origins of life*, Mc. Millan, Nueva York, 1938.

Peaff, George, *Chemical Engineering News*, 1996.

Pemex, *Memorias de Labores 1985*, México.

Pirie, N. W., *Chemical diversity and the origin of life*, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Inglaterra.

*Review of textile progress*, vol. 14, The Textile Institute, Society of Dyes & Colourists and Butterworths, 1962.

SEMIP, Comisión Petroquímica Mexicana, *Desarrollo histórico y análisis de la situación actual de la industria petroquímica en México*, 1984.

Snoeck, M., *La industria petroquímica básica en México, 1970-1982*, Colegio de México, 1986.

---

## CONTRAPORTADA

La doctora Susana Chow Pangtay formula en *Petroquímica y sociedad* una interrogante muy seria: "¿Qué pensarían los seres humanos si se les propusiera talar todos los bosques del mundo para transformar sólo el 7 % de la madera en muebles y papel y el resto convertirlo en leña y carbón? La cuestión es muy pertinente puesto que es lo que se está haciendo en la actualidad con el petróleo y el gas natural. Así, el alto consumo de gasolinas y de gas licuado afecta el precio y la disponibilidad de los derivados del petróleo cuyos usos, gracias a la petroquímica, se han extendido a tal grado que prácticamente no hay rama de la actividad humana en la que no intervenga algún derivado del petróleo. En su presentación a este libro, el Doctor Francisco Barnés de Castro invita en broma al lector a desprenderse de cualquier prenda de vestir en la que no intervenga una alta proporción de materiales sintéticos derivados de la petroquímica; recomienda al que haga la prueba refugiarse en la intimidad del hogar, ya que incluso el material elástico que sostiene la ropa interior incluye derivados del petróleo.

No extraña así que la parte central de esta obra se encuentre enfocada al uso extenso de los petroquímicos en nuestra vida diaria. Simultáneamente, se explica también el grado de complejidad que acompaña a cada uno de los procesos utilizados en la industria petroquímica. Al finalizar la lectura de este libro se tendrá una idea más clara de lo que significa para un país tener petróleo y, sobre todo, saber aprovecharlo. México es un país rico en petróleo, mas debemos comprender que para que esta riqueza natural sirva para cubrir nuestras necesidades en los múltiples usos que se han encontrado para sus derivados: vestido, salud, alimentación, vivienda, transporte, etc., resulta indispensable tener los conocimientos suficientes para generar la tecnología de transformación y, para eso, hace falta la labor y el talento de los científicos de todas las ramas de la ciencia.

En la actualidad, la autora de este libro es una de las pocas personas con las que contamos que puede ser calificada de experta en petroquímica, lo que da mayor peso a su trabajo escrito, por otra parte, en estilo claro y accesible.

La doctora Chow estudió en el Instituto tecnológico de Ciudad Madero, su ciudad de origen; prosiguió sus estudios en importantes instituciones educativas francesas y se doctoró en ingeniería en la Universidad de Provence, en Marsella. Fue miembro fundador del Grupo de Investigación del Instituto Mexicano del Petróleo, en donde trabaja desde 1967.

Diseño: Carlos Haces/Fotografía. Carlos Franco