USOS Y ABUSOS DE LA GASOLINA

Autor: ISAAC SCHIFTER/ESTEBAN LÓPEZ SALINAS

- COMITÉ DE SELECCIÓN
- EDICIONES
- DEDICATORIA
- EPÍGRAFE
- PREFACIO
- I. SOBRE AIRE Y MÁQUINAS
- II. LA ENERGÍA
- III. LOS CARBURANTES ALTERNOS
- IV. LOS CARBURANTES Y LA CONTAMINACIÓN
- GLOSARIO
- BIBLIOGRAFÍA
- CONTRAPORTADA

COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Gerardo Cabañas

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores Valdés

Dr. Leopoldo García-Colín Scherer

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Raúl Herrera

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Julio Rubio Oca

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora:

María del Carmen Farías

Inicio

EDICIONES

Primera edición, 1998

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra —incluido el diseño tipográfico y de portada—, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del editor.

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R.© 1998 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

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

ISBN 968-16-5723-3

Impreso en México

Inicio

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres

ESTEBAN LÓPEZ GARZA y MARÍA DE JESÚS SALINAS DE LÓPEZ quienes desde otra perspectiva inimaginable se regocijarán con este libro

E.L.S.

Inicio

EPÍGRAFE

En aquel planeta situado en un confín de la galaxia, hubo preocupación por haberse detectado rudimentarias explosiones atómicas, originadas más allá de Marte. Se decidió, por tanto, enviar una nave con la misión de capturar un ser tipificado de aquella probable y peligrosa civilización. Después de larga travesía la nave arribó y tras observación detenida fue capturado un sujeto que pululaba por la calle. Hasta la fecha, los sabios de aquel planeta no han podido determinar el coeficiente mental, ni la verdadera naturaleza e intenciones del Volkswagen rojo que fue secuestrado de un estacionamiento de la Tierra, como a las dos de la mañana.

JORGE MEJÍA PRIETO, citado por EDMUNDO VALADÉS, *El libro de la imaginación*, FCF, México.

Inicio

PREFACIO

Dice D. H. Lawrence en *Apocalipsis*, que un libro se mantiene vivo en tanto sea insondable, una vez desentrañado, muere de inmediato. El libro, prosigue, vive, en tanto tenga el poder de movernos, mientras lo encontremos distinto en cada lectura. Añade que se produce una oleada de libros triviales, que se agotan en una lectura y nuestra mente tiende a pensar que todos son iguales, que se abarcan de una sola vez. "Pero no es así. Poco a poco, la mente moderna se dará cuenta de ello. El verdadero gozo de un libro radica en la posibilidad de leerlo una y otra vez, encontrando algo diferente, llegando a otro nivel de significado. Como siempre, es cuestión de valores. Estamos tan abrumados por la cantidad de libros que difícilmente nos percatamos de que uno puede ser valioso, tanto como una joya, como una pintura hermosa, en la que se puede ver más y más a fondo logrando cada vez una experiencia más profunda. Es mucho mejor leer un libro seis veces, con intervalos, que leer seis libros diferentes. Porque si un libro puede hacer que se le lea seis veces, cada lectura nos proporcionará una experiencia más profunda, que enriquecerá el alma, emocional y mentalmente."

En cambio seis libros de una lectura son una acumulación superficial, la pesada acumulación de los tiempos modernos, la cantidad sin un valor real, ¡los carburantes!, pero si todo está dicho, dirá alguien por ahí, nada se puede agregar que el gran público no sepa: que si el octano, que si el precio, que si hay que buscar otras fuentes de energía que si queda petróleo para tantos años, que si hay gasolina "ecológica", que si esto, que si el otro. En resumen, llegamos a la conclusión antes de empezar a escribir que lo dicho por Lawrence sería totalmente imposible de cumplir, el libro estaría destinado a ser uno de aquellos que no se leen más de una vez. ¿Qué nos mueve entonces a escribir sobre carburantes? Esperamos por una parte demostrar que en el pasado se han hecho muchas especulaciones sobre el futuro de los energéticos y al cabo de diez años nos damos cuenta de que nuestras predicciones eran tan falsas como una moneda de tres pesos (tal vez ni esto sea cierto y una vez editado el libro ya existan esas monedas). Esto ha tenido un enorme peso sobre las decisiones que se han tomado en la forma de emplear los carburantes.

También nos inclinamos a pensar que mucha culpa se le ha imputado a la gasolina y muy poca a los autos y menos aún a la manera como los empleamos. Una reflexión adicional que puede rescatarse de este libro, sin importar mucho las cifras descritas en las tablas que presentaremos, y que seguramente se modificarán radicalmente con el tiempo, es que los combustibles fósiles son productos químicos de valor enorme, se extinguen como le sucedió a los dinosaurios, hay que aprender a conocer sus atributos y emplearlos con la mayor eficiencia y en armonía con el medio ambiente, no corramos tanto. Al fin de cuentas, como narra A. Lightman en su libro los *Sueños de Einstein*, en este mundo de grandes velocidades, efecto por cierto que no se advirtió hasta la invención del motor de combustión interna y los principios del transporte rápido, algunos han dejado de mirar por la ventana y no saben a qué velocidad se mueve su vecino y sus competidores, se levantan por la mañana, se bañan, comen panes, en forma de trenza, con jamón, trabajan en sus escritorios, oyen música, conversan con sus hijos, viven satisfechos.

I. SOBRE AIRE Y MÁQUINAS

UNA persona adulta normalmente requiere de 14 kg de aire diarios para vivir, sólo 1.4 de comida y unos 2 del agua. La vida, en términos de estos parámetros, necesita del aire más que de cualquier otra sustancia. Dado que un ser humano inhala y exhala aire en forma involuntaria, es obvio que la contaminación resulta ser un problema crítico que pone en peligro la vida. Más aún, se puede vivir sin comer unas cinco semanas, sólo unos cinco días sin agua, pero sin aire no resistimos más de cinco minutos. El aire también desempeña un papel importante sobre los sentidos de la visión, del olfato y del oído, de ahí que aquél que está contaminado también los afecta. Piense en estos datos: los gases dañinos entran en nuestro cuerpo por varios caminos y sus efectos son variados en cada uno de ellos. En particular, los que ocurren en el sistema respiratorio son muy serios. Respiramos unas 20 000 veces diarias y usamos unos 10 000 litros de aire. El aire pasa a través de la cavidad nasal, faringe, laringe, tráquea y llega a los bronquios, se realiza el intercambio de gases que se difunden físicamente en los alvéolos. Dicho de otra manera, la sangre elimina el bióxido de carbono en los alvéolos que están en los capilares. La sangre toma ahí el oxígeno que necesita y lo envía al corazón. Este gas circula por el cuerpo a través de la aorta y provee de oxígeno a los tejidos celulares. Esto en teoría, ya que si alguna de las partes que hemos mencionado falla, por ejemplo por el daño ocasionado por gases tóxicos, entonces el organismo sufre diversos padecimientos. También podemos pensar de igual manera con las partículas sólidas diminutas que inhalamos, que pueden, por ejemplo, depositarse en los tejidos pulmonares y causar problemas que podemos imaginar sin ser médicos ¿De qué trata este libro se pregunta el lector que empieza a impacientarse?, ¿no era el asunto relacionado con la gasolina y otros carburantes?

En efecto, se hablará de la gasolina y los carburantes en general, tanto los que existen hoy en día como aquellos que en el futuro tendrán un papel preponderante. Debe recordarse que los carburantes automotrices son, probablemente, los productos más importantes que se generan y posteriormente se venden manufacturados en las refinerías dado que una gran proporción del petróleo crudo (entre 30 y 70%) que llega a estos centros de conversión, es transformado en gasolina y diesel. Si mira uno las ventas de estos carburantes en todos los países industrializados y los en vías de desarrollo, han aumentado continuamente en los últimos 20 años y la tendencia inevitable es que lo seguirán haciendo hasta bien avanzado el próximo siglo. Pero no hay que olvidar al filósofo Séneca, nacido en Córdoba a principios de nuestra era, que decía en sus *Naturales Quaestiones*: "La providencia, la divinidad que dispone del mundo, ha encargado a los vientos remover el aire y esparcirlo por todas partes, para que nada de suciedad nos ataque." Tal vez el primer dictamen jurídico formulado acerca del medio ambiente se dio en España por el juez, Soleiman Ben Asuad, que en 852 hablaba sobre "La colocación de tubos en la parte superior de cada horno, de manera que los humos salieran a cierta altura y no perjudicaran a los vecinos". Si bien estos dos antecesores no conocieron los automóviles de combustión interna, ni las refinerías, se hubieran referido a ellos en sus escritos. No hay duda de que la gasolina y otros carburantes que se utilizan hoy en día son los causantes de muchos de los males que aquejan nuestra sociedad, en particular si vemos muchas de nuestras ciudades envueltas de una nube, nada romántica, formada por todo tipo de vapores nocivos. También, punto importante, hablaremos de los automóviles y otros medios de transporte tratando de mostrar la problemática que se genera por el uso y abuso de ambos ya que, quiérase o no, y por más que tratemos de tener los carburantes "de la mejor calidad siempre terminaremos contaminando nuestro planeta.

¡AH, LAS MÁQUINAS, LAS MÁQUINAS!

La historia de las invenciones es, en sí, el estudio de las circunstancias que convirtieron un mecanismo simple e ineficaz de los primeros periodos de la humanidad en lo que hoy consideramos como mecanismos complejos y eficientes, al menos eso pensamos. En el siglo XVIII los científicos habían empezado a preguntarse por qué no podían inventar una máquina de movimiento perpetuo.

Descubrieron con exasperación que cada vez que ponían a funcionar una, parte de la energía que le inyectaban tomaba una forma que no se podía recuperar y utilizar de nuevo para hacer un trabajo. A fines del XIX se pensaba que conociendo las leyes aprenderíamos con creciente destreza a predecir y controlar la entropía, término introducido por Claussius para expresar el desorden o falta de organización en un sistema. Entre más desordenado es un sistema, mayor su entropía. Recuérdese que la primera ley de la termodinámica nos informa que una cantidad de trabajo mecánico siempre se puede convertir en una cantidad equivalente de calor. Esto es cierto para la mayoría de las máquinas pero no para las máquinas térmicas. Por ejemplo: no se puede convertir una cantidad

fija de calor en su equivalente de trabajo.

En términos prácticos se pensaba que el caos entrópico y pasivo se podía reducir o eludir mediante una comprensión cada vez más precisa del orden mecánico del Universo (véase *La ciencia del caos*, La Ciencia para Todos, Núm. 142, FCE).

LAS FANTASÍAS DE LA TECNOLOGÍA

Cuando se empieza analizar cuál ha sido el desarrollo de la tecnología, la indagación comienza con la invocación del *homo faber* (el hombre productor) y la forma con la satisfacción de las necesidades de la vida ha llevado inevitablemente a la diversidad de artefactos que empleamos. Parece interesante centrarse más bien en el *homo ludens* (el hombre jugador) al que toca presentar las cosas como novedad. Luego consideraremos cómo el papel del juego sirve de fuente de innovación tecnológica. Así, Herón de Alejandría construyó un mecanismo que abría las puertas de un templo al encender una hoguera, empleando el principio por él descubierto, de que el aire al calentarse aumenta de volumen. Este diseño mecánico, hecho tal vez por diversión, introduce avances notables en el conocimiento de los principios mecánicos. El juego está dominado por un elemento de simulación, en el cual tiene un papel importante la fantasía, tema tan amplio del cual nada más mencionaremos brevemente tres partes importantes: los sueños tecnológicos, las máquinas imposibles y la fantasía popular.

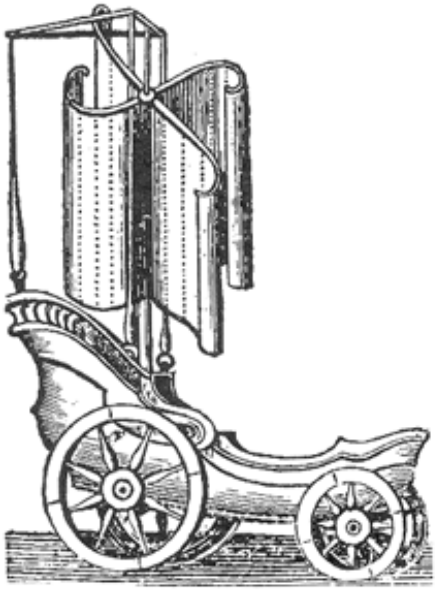


Figura 1. Carruaje propulsado por el viento (*ca*. 1660).

LOS SUEÑOS TECNOLÓGICOS

Los producen las máquinas, las propuestas y las visiones generadas por la comunidad técnica en el Renacimiento y en el presente. Resumen la propensión de los tecnólogos de ir más allá de lo técnicamente posible, Las fantásticas creaciones de este tipo dan acceso a la riqueza de la imaginación y a la fuente de la novedad que se encuentra en el corazón de la tecnología occidental. El contenido de los libros de máquinas del Renacimiento proporcionan una excelente oportunidad para examinar los sueños de los primeros tecnólogos modernos. Entre 1400 y 1600 se publicaron numerosos libros de este tipo —minuciosamente elaborados— en Alemania, Francia e Italia. Contenían centenares de imágenes de máquinas extrapoladas a partir de la tecnología existente. *Theatrum machinarum* era el título de estos libros que presentaban la tecnología como espectáculo para el gozo e instrucción de los lectores. Uno de los más populares era *Le diverse et artificiose machine de Agostino Ramelli*, ingeniero militar francés. Publicado en 1588, fue reimpreso y traducido a varios idiomas, Ramelli respondía interrogantes nunca planteadas, resolvía problemas que nadie, salvo él, había propuesto. La necesidad económica no era la fuerza motivadora pues eran producto de una imaginación fértil que se deleitaba recreándose y

desplegando su capacidad de operar dentro de los límites de lo posible, si no de lo útil. Las patentes son el segundo tipo de sueños tecnológicos. Su inclusión aquí obedece al hecho de que, vistas en conjunto, constituyen la representación de la potencialidad tecnológica más que de la realidad. Las visiones tecnológicas son la última categoría de los sueños, esquemas audaces y fantasiosos que van desde lo improbable al filo de lo imposible. Las primeras datan del siglo XV, cuando aparecen por primera vez tratados que describían máquinas tan alejadas de las posibilidades de la tecnología del momento que no podían presentarse con todo detalle mecánico. Uno de los primeros libros de este tipo fue el *Bellifortis* de Conrad Keyser (1405), notable por sus fantásticas máquinas de guerra. La más famosa colección de máquinas visionarias del Renacimiento no fue revelada sino hasta finales del siglo XIX. Estuvo oculta entre los cuadernos personales no publicados de Leonardo da Vinci. Sus dibujos muestran algunos de los mejores ejemplos de aparatos fantásticos: hay esbozos de máquinas voladoras, paracaídas, carros blindados, catapultas gigantes, pistolas, máquinas de vapor, planos de vapores impulsados por palas, trajes de buzo, dragas, automóviles. Que sepamos, las fantásticas creaciones de Da Vinci fueron las primeras de este alcance y poder de inventiva. No hay evidencias de que haya disminuido el vigor y la popularidad de las visiones tecnológicas.

Figura 2, Motor de vapor, diseño de V. Zonca, 1660.

A pesar del fracaso de la tecnología en plasmar la utópica sociedad prometida por sus defensores de los siglos XVIII y XIX, y a pesar de los graves problemas estrechamente identificados con la tecnología del siglo XX, contaminación, guerras, las visiones del futuro siguen produciéndose y fascinando al público.

MÁQUINAS IMPOSIBLES

Siempre existe la posibilidad de que un hito tecnológico futuro facilite la realización de los sueños tecnológicos. Sin embargo, la existencia y funcionamiento de máquinas imposibles no puede alterarse nunca por los desarrollos tecnológicos futuros porque violan las leyes científicas fundamentales. Las máquinas de movimiento perpetuo son quizás las máquinas imposibles más conocidas. Durante más de 1500 años los ingenieros han ofrecido planes y construido en ocasiones máquinas que por su construcción, materiales y lubricación, supuestamente habían de funcionar eternamente. El Renacimiento fue una época en la que la invención de máquinas de movimiento perpetuo se convirtió en asunto popular, usaban agua, aire o la fuerza de gravedad. Todas ellas estaban pensadas para funcionar como un ciclo cerrado; por ejemplo, la energía generada por una corriente continua de agua fluyendo sobre una rueda de palas se utilizaba para bombear el agua que subía hasta la rueda y así *ad infinitum*.

Junto al movimiento perpetuo, algunos inventores también prometían la producción de un excedente de energía que podía utilizarse para mover la máquina de un molino de trigo u otro fin útil. El interés aumentó en el siglo XVIII y alcanzó su cenit en el XIX cuando muchas de las nuevas máquinas, así como las recientemente conocidas fuerzas, electricidad y magnetismo, recibieron atención generalizada y cuando se puso en claro el decisivo papel de la energía del vapor en la industria y el transporte. En 1855-1903 se concedieron en Inglaterra cerca de quinientas patentes de máquinas de movimiento perpetuo, y locura similar barrió EUA. Las máquinas liberarían a las naciones de la necesidad de recursos naturales escasos como el carbón y el petróleo. Resulta irónico que precisamente en la época en que muchos inventores estaban convencidos de que pronto lograrían conseguir energía ilimitada para la sociedad, los físicos describían las leyes de la conservación de la energía. Si los partidarios del movimiento perpetuo hubiesen comprendido estas leyes, hubieran sabido que era imposible que un aparato tuviese una producción de energía superior a la consumida.

LAS FANTASÍAS POPULARES

Las fantásticas máquinas creadas por la imaginación literaria o popular no se originan en la mente de inventores e ingenieros, lo que revela que este estímulo no se limita a los miembros de la comunidad técnica. Las fantasías tecnológicas pueden rastrearse al menos hasta el siglo XIII cuando Francis Bacon (1561-1626), filósofo inglés, profetizó que grandes barcos, sin velas ni remos, navegarían por ríos y mares; vehículos sin animales de tiro se moverían por tierra; máquinas voladoras, con alas batientes como las de un pájaro, surcarían los aires y que personas en trajes de buzo explorarían las profundidades oceánicas. Profecías similares han gozado desde antiguo de gran popularidad. La industrialización de los siglos XIX y XX alimentó la predilección por las predicciones tecnológicas fantásticas y la institucionalizó en el arte. En la literatura, la ciencia ficción se convirtió en la fuente más importante de máquinas fantásticas: Julio Verne, H. G. Wells, Karel Capek y las naves espaciales y armas láser que asombran al amante del cine moderno. Pero hay que recordar a Galileo Galilei, el primero en hacer notar que las máquinas no podían crear trabajo, que sólo permitían influir sobre la velocidad de su uso. Desde este punto de vista, con su tratado de mecánica (*ca*. 1600) asegura que uno no puede recibir más de lo que da, la naturaleza no ofrece regalos, ve claramente que el interés por las fuentes naturales de la energía reside en su bajo precio: "La caída de un río cuesta poco", dice, "es menos costoso mantener un caballo que a ocho hombres."

ANALOGÍAS ENTRE LOS ORGANISMOS Y LAS MÁQUINAS

Explicar la diversidad de los artefactos mediante una teoría de la evolución tecnológica exige comparar los organismos vivos y los instrumentos mecánicos. El crecimiento industrial generalizado, la capacidad del geólogo para determinar la edad de la Tierra y la teoría de Darwin sobre la evolución facilitaron la aplicación de las analogías orgánicas al ámbito tecnológico. Los usos literarios de la metáfora pueden verse en *Erewhon* (1872) de Samuel Butler donde se analiza la idea de que las máquinas se desarrollaran de forma similar a los seres vivos. Sus ideas inspiraron las fantasiosas novelas de ciencia ficción de los siglos XIX y XX, en que las máquinas en rápida evolución superan y sustituyen a los humanos, cuyo desarrollo evolutivo, según él, se había estancado. Butler advirtió a sus contemporáneos, orgullosos de sus logros industriales, de la conveniencia de detenerse y contemplar las amplias implicaciones del cambio tecnológico. Las máquinas, decía, han experimentado una serie de transformaciones muy rápidas, desde el simple palo de nuestros antepasados a la máquina de vapor de la actualidad. Este desarrollo en dirección de una mayor complejidad plantea la posibilidad de un reino mecánico que se sume a los reinos animal y vegetal. Sugería que considerar las máquinas como una nueva clase de seres vivos permitiría ordenarlas en géneros, especies y variedades. Decía que la historia de la tecnología muestra numerosos ejemplos de máquinas que cambian con el tiempo y sustituyen a los antiguos modelos que subsisten como partes de mecanismos mucho después de haber perdido sus funciones originales, y de máquinas en lucha por la sobrevivencia, si bien con la ayuda de los humanos. El criador de plantas o animales que practica la selección artificial, eligiendo ciertos especímenes para su propagación, está haciendo precisamente lo que hacen el constructor de máquinas y el industrial con la vida mecánica cuando planean una nueva empresa tecnológica. Como las máquinas son más potentes, precisas, seguras y versátiles que los humanos, y como las máquinas cambian rápidamente ante nuestros ojos, los humanos no pueden evitar pasar a un segundo plano en un mundo dominado por la tecnología. Por supuesto podríamos intentar poner freno a la evolución mecánica y destruirlas, como no podemos detener el progreso mecánico hemos de resignarnos, advertía, a aceptar el *status* de siervos de nuestros superiores.

LA EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La creencia en que la necesidad desencadena el esfuerzo inventivo es invocada para explicar la mayor parte de

actividad tecnológica. Los seres humanos tienen necesidad de agua, y por tanto cavan pozos, encauzan ríos y corrientes y desarrollan la tecnología hidráulica. Necesitan refugio y defensa y construyen casas, fortalezas, ciudades e ingenios militares. Los humanos, así, utilizan la tecnología para satisfacer una necesidad. Si la tecnología existe para satisfacer a la humanidad en sus necesidades más básicas, ¿cuáles son estas necesidades y qué complejidad tecnológica se precisa para satisfacerlas? ¿Necesitamos automóviles? A veces se nos dice que son esenciales, pero apenas tienen un siglo de historia, Los hombres y mujeres llevaban una vida plena y feliz antes de que Nikolauss August Otto (1832-1891) inventara en 1876 su motor de combustión interna de cuatro tiempos. Investigar el origen del vehículo propulsado con motor de gasolina revela que no fue la necesidad lo que impulsó a sus inventores. El auto no se desarrolló en respuesta a una crisis relacionada con la escasez de caballos. Los gobernantes y pensadores no pedían la sustitución del caballo, ni los ciudadanos esperaban que los inventores llenaran la necesidad del transporte motorizado. De hecho, entre 1895 y 1905 el automóvil fue un juguete para los que podían comprarlo; W. C. Durant, creador de la General Motors, decía que antes de 1902 los automóviles "eran ruidosos, peligrosos, malolientes, perturbaban la tranquilidad y asustaban a los caballos". El camión fue aceptado más lentamente que el auto. El éxito del transporte militar en camión durante la primera Guerra Mundial, y la presión de los fabricantes y el ejército después de la guerra, determinó el desplazamiento del carro tirado por caballos y del ferrocarril. Pero el camión no fue creado para superar las obvias deficiencias del tiro por caballo y por máquina de vapor. Como sucedió con los autos, la necesidad de camiones surgió después. En otras palabras la *invención* de los vehículos dotados de combustión interna dio lugar a la *necesidad* de transporte motorizado.

Una última reflexión antes de adentrarnos en los humos de la gasolina y los carburantes: en México y América Central el transporte era desconocido hasta la llegada de los españoles pero los mesoamericanos, desde los siglos IV a XV fabricaron figuras de barro de animales dotados de ejes y ruedas para hacerlos móviles, es decir se conocía el principio mecánico de la rueda pero nunca lo pusieron en uso para el transporte de mercancías. Los historiadores aseguran que los mesoamericanos no utilizaron vehículos con ruedas porque no eran factibles dadas las características topográficas y la fuerza animal de que disponían. El transporte con ruedas depende de caminos adecuados y grandes animales de tiro capaces de arrastrar pesados vehículos.

Figura 3. Figura de barro de un animal con aplicación del principio de la rueda. Museo de Antropología, México.

¿CUÁNTOS ESCLAVOS TIENE USTED?

En la cadena agroalimenticia, la fotosíntesis es la reacción por la cual a partir de la energía solar, el agua y el bióxido de carbono, fabrican alimentos los vegetales. De éstos se nutren los animales, y es sabido que el hombre requiere consumir alimentos que le proporcionen entre 3 000 y 3 200 kilocalorías diarias. A esta cantidad le corresponde una potencia energética media de 150 vatios o si se quiere ver de otra manera diremos que el gasto

energético humano equivale a tener permanentemente prendido un foco de 150 vatios. Volviendo al asunto de los consumos, en realidad el metabolismo básico emplea aproximadamente la mitad de ese gasto energético, ya que es la cantidad necesaria para mantener vivo a un organismo, digamos a una persona de 65 kg de peso, en reposo y a una temperatura de 20°C. La otra mitad, 75 vatios, es la fracción que el ser humano convierte en trabajo muscular útil. Puede decirse entonces que el ser humano es una máquina que consume una potencia mínima de 150 vatios, con un rendimiento útil del orden de 50%. El hombre empezó a utilizar la energía solar fósil: el carbón, el petróleo y el gas acumulados en el subsuelo durante millones de años; la importancia de esta mutación puede apreciarse mediante los siguientes datos: la potencia media suministrada por el conjunto de todas las industrias para satisfacer las necesidades de los seres humanos es del orden de 2 kilovatios por habitante. Si dividimos estos 2 kilovatios por los 150 vatios que requiere un ser humano para mantenerse con vida, se obtiene una relación de 13; puede decirse entonces de manera simbólica que cada ser humano tiene 13 "esclavos mecánicos" a su servicio. Enumere los suyos, pero podemos garantizarle que entre ellos se encuentra algún tipo de transporte.

LOS ORÍGENES DEL PETRÓLEO

Se acepta hoy en día que el petróleo se generó a partir de vegetales que poblaban el planeta hace unos 3 000 millones de años en el caso de los yacimientos más antiguos y entre 100 a 600 millones de años para los más recientes. ¿Por qué la hipótesis de un origen vegetal es la más aceptada? La respuesta se basa en la semejanza estructural de las moléculas del petróleo con las de plantas marinas y terrestres. La complejidad de las moléculas de los hidrocarburos es tal que no se puede explicar su formación por los procesos geológicos, dicho en otras palabras, los procesos geológicos *per se* no generan estructuras, desde el punto de vista químico, sumamente complejas en su síntesis. Sin embargo hemos de mencionar que algunos autores afirman que toda la gama de hidrocarburos existentes en el petróleo se formó en las entrañas de la Tierra a partir del metano, el hidrocarburo más sencillo de todos desde el punto de vista estructural, y hay quienes dan origen extraterrestre a estos carburantes fósiles.

¿SE PUEDE SABER CUÁNTO PETRÓLEO NOS QUEDA?

La incertidumbre siempre ha sido compañera de la historia de la humanidad y de nuestra vida cotidiana. Permanentemente debemos tomar decisiones en un contexto en el que nuestras apreciaciones no son lo claras que quisiéramos. Disponemos de nuestra experiencia pasada y del saber acumulado pero nunca estamos seguros de haber hecho el mejor diagnóstico. En el caso particular de la vida económica, la incertidumbre es el factor predominante. ¿Cómo prever lo que una inversión redituará en 20 años? El problema depende de parámetros muy diversos como la evolución política o el progreso tecnológico, que salen del cuadro económico. Kenneth Galbraith, connotado economista, solía decir con respecto a quienes hacen predicciones: "los hay quienes no saben lo que va a suceder y los que tampoco saben predecir porque no tienen idea de cómo hacerlo." La pregunta que mucha gente se hace, al conocer la producción de barriles diarios de petróleo en México o en el resto del mundo es: ¿para cuántos años más alcanza el dichoso material? En la figura 4 mostramos en primer término las reservas mundiales de petróleo en millones de barriles en función del año, en segundo término para aquellos más exigentes, en la parte inferior se presentan las reservas de petróleo por país productor.

Estos datos se refieren a las reservas probadas, la cantidad de petróleo que según los datos geológicos y la información de los ingenieros indican que son recuperables con base en el conocimiento de yacimientos bien localizados y de acuerdo con las condiciones actuales de la economía y la tecnología. La figura 5 nos muestra la producción mundial del petróleo en miles de millones de barriles por día.

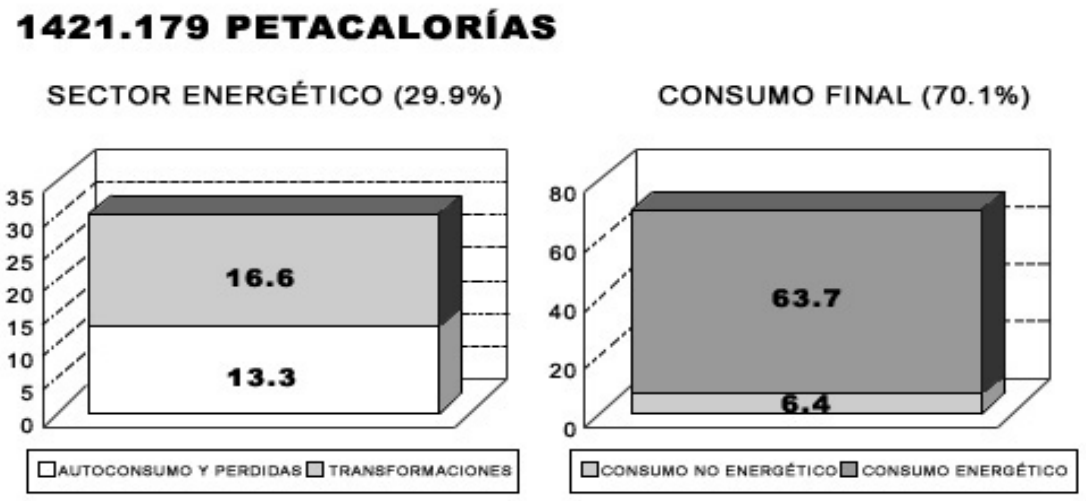


Figura 4. (a) Variación de las reservas mundiales de petróleo en miles de millones de barriles; (b) reservas por país en millones de barriles.

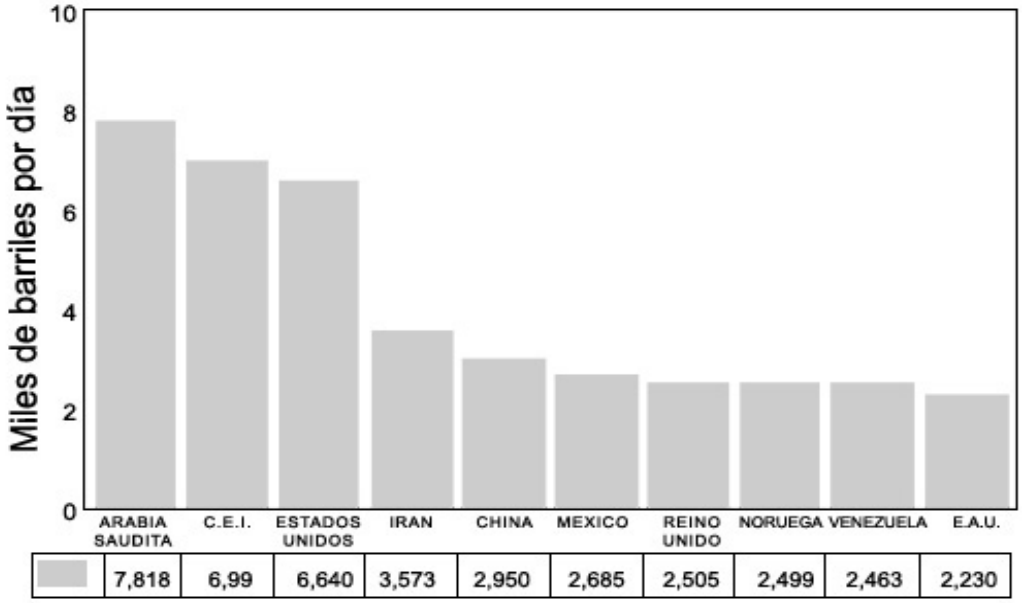


Figura 5. Producción mundial del petróleo en miles de barriles por día para el año de 1995.

Si se divide las reservas probadas (R) por el ritmo de la demanda actual, que no es otra cosa que la producción anual (P) obtenemos el lapso de tiempo que esas reservas durarán, que es lo que aparece en la figura 6. Hay que considerar que la economía dicta en buena medida el dato de las reservas probadas pues basta que aumente el precio del crudo para que ciertos yacimientos que no eran considerados rentables se sumen a las reservas probadas. Durante la década de los años 70 se dieron dos incrementos de precios del petróleo, el primero en 1973-1974 y el segundo en 1979-1981. En 1985 el precio del crudo se desplomó y desde entonces se ha mantenido en niveles bajos.

Algo que resulta interesante se muestra en la figura 7 en la que se dan los pronósticos de las compañías dedicadas a la predicción financiera de lo que costaría el petróleo en el año 2010 en los periodos de 1983 a 1995. En 1983 se

pensaba que el barril de petróleo costaría tres veces más de lo que se pensó en 1995. Por supuesto el valor de las reservas lo dictamina la cantidad de dinero que se destina a la exploración de yacimientos. Es lógico pensar que en 1983, con la perspectiva de precios muy altos a futuro del petróleo, el dinero destinado a su búsqueda y por lo tanto a incrementar el número de reservas era mayor que un par de años después cuando los precios ya no parecían atractivos.

LA DEMANDA DE PETROLÍFEROS HASTA 2020

La demanda de petrolíferos seguirá teniendo un crecimiento sostenido hasta el año 2020 y más. Varios factores intervienen para que las predicciones no sean extremadamente precisas: una de ellas es obviamente el crecimiento esperado de la población mundial que tiene aproximadamente un ritmo anual de 1.4%. Ahora, ¿cuánta energía será necesaria para esa época? Una primera respuesta es que la solidez económica de un país o región conlleva a una reducción en la intensidad energética. También se espera que, durante los próximos treinta años y aún después, aumenten en términos reales los precios de la energía en el mundo, especialmente los del petróleo y gas natural.

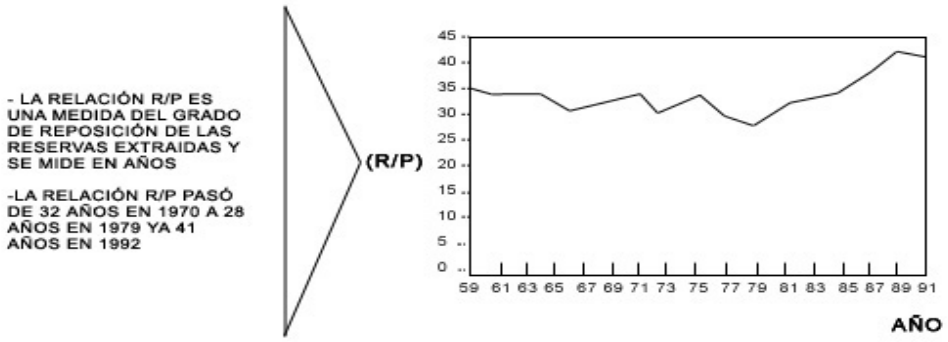


Figura 6. Relación histórica entre las reservas y la producción mundial de petróleo, R/P, en función del tiempo.

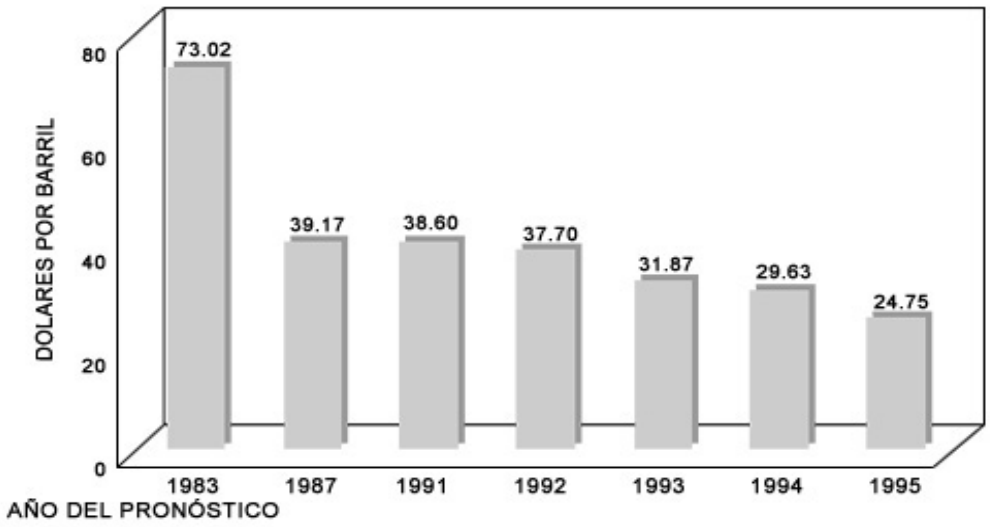


Figura 7. Pronóstico del costo del barril de petróleo para el año 2010 en función del año en que se realizó la estimación,

expresado en dólares.

¿Y EN EL AÑO 2020?

Hemos visto que la relación entre reservas de petróleo/producción es actualmente del orden de 40 años. Veamos la relación que existe con otros combustibles fósiles: carbón, 197 años, lignito 293 años y gas natural 56 años. Hay que recalcar que existe una marcada dependencia con respecto a los combustibles fósiles hasta que se encuentren fuentes de energía alternas y es ahora cuando hay que tomar conciencia e iniciar las acciones necesarias por sustituirlos. Hasta entonces habrá que afrontar los siguientes hechos:

- los combustibles fósiles serán la base del suministro de energía durante muchas décadas
- la demanda de carbón, petróleo y gas natural crecerá posiblemente durante algunas décadas
- el carbón es el único combustible fósil con reservas suficientes para continuar empleándose mucho más allá de mediados del próximo siglo.

De la lectura de este libro quedará en claro que los combustibles fósiles, al ser quemados, contribuyen al cambio climatológico en marcha. En consecuencia, se podría llegar a exigir la sustitución del carbón y probablemente del petróleo, en cuyo caso, para los que opinen así, las reservas recuperables de combustibles fósiles dejará de tener importancia. Por lo tanto el suministro de energía de otro origen debe adelantarse y difundirse a escala mucho mayor que la actual.

Veamos los datos energéticos que se tienen para México: a fines de 1995 las reservas probadas son de 63 220 millones de barriles de los cuales 43 127 son crudo, 6 648 líquidos del gas y 13 445 gas seco, calculado como petróleo equivalente.

A los ritmos actuales de producción y consumo, la vida media de estas reservas oscila entre 41 y 48 años. En la región marina se localiza 47% de las reservas de hidrocarburos que concentran 55% de las de petróleo. En esta región se encuentran los yacimientos más importantes del país. La región sur acumula 30% de las reservas de gas y 17% de las de petróleo. En la norte se ubica la tercera parte de los hidrocarburos y se concentra 53% de las reservas totales de gas. Para los que se muestran atentos a los datos geográficos hemos de decir que las cabeceras regionales se ubican a lo largo de la costa del Golfo de México: Poza Rica,Veracruz (Región Norte), Villahermosa, Tabasco (Región Sur) y Ciudad del Carmen, Campeche (Región Marina).

En la figura 8 se pueden apreciar los valores de reservas de hidrocarburos para las diferentes zonas geográficas de México.

La producción promedio de crudo en 1996 es de 2.85 millones de barriles diarios y para los adoradores de las cifras diremos que paralelamente se extraen unos 1 295 millones de metros cúbicos diarios. Más aún, del crudo producido diariamente 1 336 000 barriles son de tipo pesado y la Sonda de Campeche contribuye con 74% del total, al mismo tiempo que produce aproximadamente 11 600 millones de metros cúbicos de gas natural.

LOS TIPOS DE MOLÉCULAS EN LOS CRUDOS

El petróleo o aceite crudo se describe así: "material que ocurre naturalmente en la tierra y que está predominantemente compuesto de una mezcla de compuestos químicos a base de carbón e hidrógeno con o sin otros elementos no metálicos como el azufre, el oxígeno, nitrógeno, etc. El petróleo puede contener, o estar compuesto de esas sustancias en el estado gaseoso, líquido o sólido, dependiendo de la naturaleza de estos compuestos y de las condiciones existentes de temperatura y presión." Hay muchas maneras de clasificar los crudos, quien no es experto en la materia puede confundirse con tanto nombre. Hay quien los diferencia en "ligeros" y "pesados", bien por la región de donde provienen o por su contenido de azufre o, como veremos más adelante cuando hablemos del tipo de moléculas, se les denomina de tipo parafínico, nafténico o intermedio entre ambos tipos de moléculas. Primero demos un vistazo a la manera de unirse de las moléculas de hidrocarburos para luego con esas armas tratar de clasificar los crudos. La manera como se unen los átomos de carbono e hidrógeno determina familias de hidrocarburos; la regla de unión es sencilla de entender y consiste en que el átomo de carbono tiene cuatro manos, ligaduras diríamos en química, para asirse del hidrógeno que sólo cuenta

con una para el mismo propósito. Por ello la molécula más simple de hidrocarburo que podemos encontrar es la del metano, CH_4.

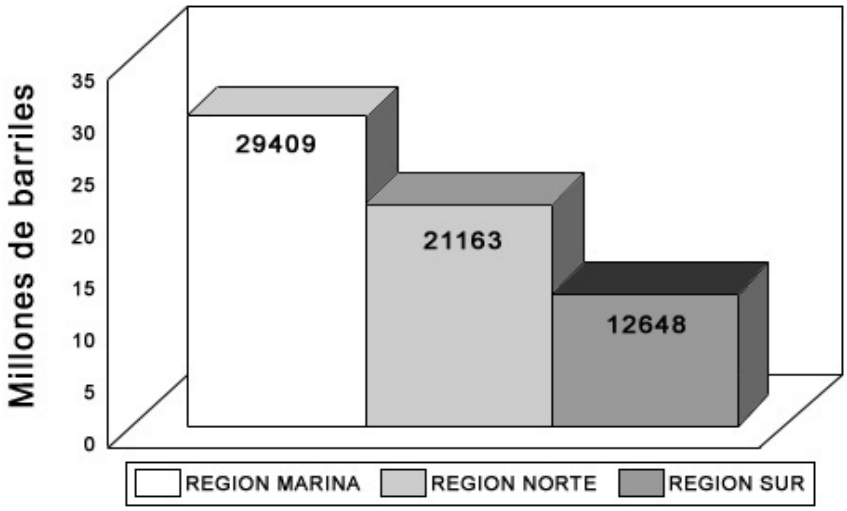
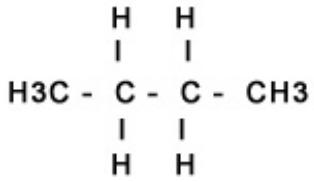


Figura 8. Reservas de hidrocarburos en México por regiones, millones de barriles.

Hidrocarburos saturados, también llamados parafinas

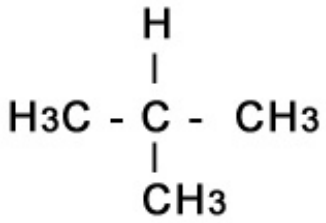
normales = en este caso se trata de cadenas continuas de carbonos. A manera de ilustración representamos al butano, alcano de cuatro carbonos lineales.



n-BUTANO

La figura del n-butano

isoparafinas = las cadenas de hidrocarburos son ramificadas como se muestra a manera de ejemplo para el isobutano.



ISOBUTANO

La figura del isobutano

Si se observan las estructuras del isobutano y la del butano, se puede afirmar que sólo existen dos maneras en que los átomos de carbono se unen entre sí; se dice que el butano y el isobutano —los dos contienen cuatro carbonos— son isómeros. Aunque tienen el mismo número de átomos de carbono e hidrógeno, su estructura y propiedades físicas y químicas son diferentes. Al aumentar el número de átomos de carbono lo hace también el de isómeros, así un compuesto con 9 carbones tiene 35 isómeros, pero uno de 25 tiene ¡36 797 588!

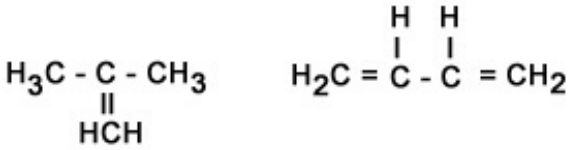
cíclicos = los hidrocarburos de este tipo, también llamados naftenos, son ciclos de carbonos como se pueden observar en el caso del ciclohexano.

CICLOHEXANO

La figura del ciclohexano

Hidrocarburos insaturados

alquenos = contienen ligaduras carbono= carbono dobles. Obviamente los hay formados de cadenas continuas o ramificadas. Se les llama también olefinas



ISOBUTENO **1-3, BUTADIENO**

La figura del isobuteno y del 1-3 butadieno

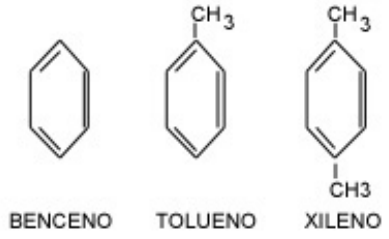
alquinos = en estos compuestos la ligadura del carbono con el que le sigue es triple

$$HC \equiv CH$$

ACETILENO

La figura del acetileno

arenos = también conocidos como aromáticos; veamos tres ejemplos que ilustran su estructura, la del benceno, la del tolueno y la de un xileno.



La figura de benceno, el tolueno y el xileno

Existen también aromáticos policíclicos en los que uno o varios anillos aromáticos se unen entre sí, el más sencillo lo representa el naftaleno en el cual dos anillos de benceno se fusionan

NAFTALENO

La figura del naftaleno

CLASIFICACIÓN DE LOS CRUDOS

Todo lo que hemos descrito tiene como función hacer ver que los crudos contienen inmensas variedades de compuestos, y con base en el mayor o menor contenido de alguna de las familias de productos químicos presentes se les puede agrupar en:

- parafínicos
- intermedios
- nafténicos

según la predominancia de algunos de estos tipos de compuestos en el crudo. La clasificación tal vez más empleada y conocida es la que se basa en su densidad, de acuerdo con la definición de una institución dedicada durante muchos años a su investigación y caracterización profunda. Hela aquí:

- ligeros Densidad API mayor de 30 grados
- intermedios Densidad API entre 20 y 30 grados
- pesados Densidad API entre 10 y 20 grados

La densidad API (definida por el American Petroleum Institute) es una clasificación en la que se basan muchos petroleros para definir el tipo de crudo. Puede parecer confusa al principio, veamos si podemos aclarar este asunto. Como sabemos, la densidad en el sentido del API no es más que el cociente del peso de un cierto volumen de una sustancia a una cierta temperatura, relacionada al mismo volumen de agua a la misma temperatura determinada y corregida por ciertos parámetros de medición que no vale la pena adentrar aquí. Aclaremos, un crudo de 40 API (densidad igual a 0.825) tiene por lo general, un valor mayor que un crudo de 20 API (densidad 0.934) debido a que contiene más fracciones ligeras (por ejemplo gasolina) y menor cantidad de constituyentes pesados tales como residuos de asfalto. Cuanto menor es el valor de la densidad API más viscoso es el crudo, su proceso de refinación y transformación de moléculas requiere de procedimientos cada vez más costosos y complejos, de ahí que su precio sea menor que el del crudo ligero que proveerá gran proporción de carburantes con menor inversión en su refinación. Una vez extraído, el crudo se lleva a una refinería donde se le calienta para destilarlo. En función de las propiedades, las moléculas pasan a la etapa de vapor separándose del líquido a diferentes temperaturas. En los procesos de destilación que se realizan en la refinería todavía no hay transformación química, el objetivo es separar al menor costo los distintos cortes intermedios para su procesamiento posterior. La gasolina natural que se obtiene directamente de la destilación, también conocida como "gasolina ligera" se usó de 1900 a 1915. En la figura 9 se esquematiza cuáles son los principales productos de la destilación de un crudo y el destino de los diferentes cortes que se le hacen.

La mejoría en los motores de combustión requirió máquinas de mayor compresión y se creó una demanda de productos con mayor índice de octano, parámetro del que hablaremos más adelante. La única forma de aumentar el octano en la gasolina era añadir aditivos especiales o desarrollar una tecnología de procesamiento del petróleo. Cada crudo genera fracciones que tienen propiedades diferentes a medida que se calientan y es bien conocido que los crudos pesados una vez destilados dejan mayor cantidad de productos que son más difíciles de refinar que los crudos ligeros. Un crudo contiene hidrocarburos que van de uno a sesenta átomos de carbono, los vehículos requieren productos cuyos átomos de carbono van desde uno, que sería el caso del gas metano, de tres si usa propano para moverse y un conjunto de moléculas que van desde los seis a los doce átomos de carbono, con estructuras particulares, si hablamos de la gasolina. La común y corriente contiene unos 500 hidrocarburos y como no se encuentran presentes en los crudos pesados es necesario realizar procesos de transformación en las refinerías para producir la mezcla apropiada. Todos ellos emplean cortes de crudo obtenidos en la destilación.

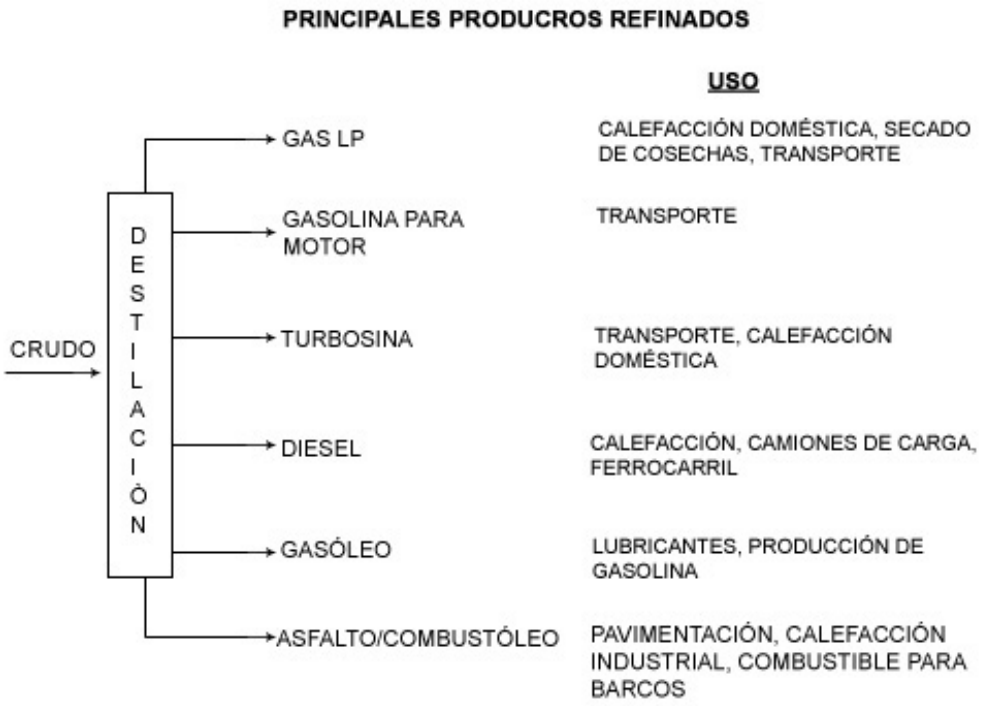


Figura 9. Productos de la destilación y sus diferentes usos.

Datos adicionales de los crudos mexicanos (Istmo y Maya) comparados con los de otros países se pueden observar en la figura 10 que muestra los grados API de crudos ligeros y pesados, asociados al porcentaje de azufre que, como veremos, es necesario eliminar de los crudos por su toxicidad sobre el medio ambiente.

Veamos en la siguiente Tabla las temperaturas más comunes a que se fraccionan las diferentes corrientes de crudo destinadas a ser transformadas químicamente para obtener entre otros productos la gasolina:

Corte	*Temperatura de ebullición*
Gasolina ligera de torre atmosférica	85 °C
Gasolina pesada o nafta	104 °C
Querosina	271 °C
Gasóleo atmosférico	321 - 430 °C
Gasóleo de vacío	510 - 565 °C

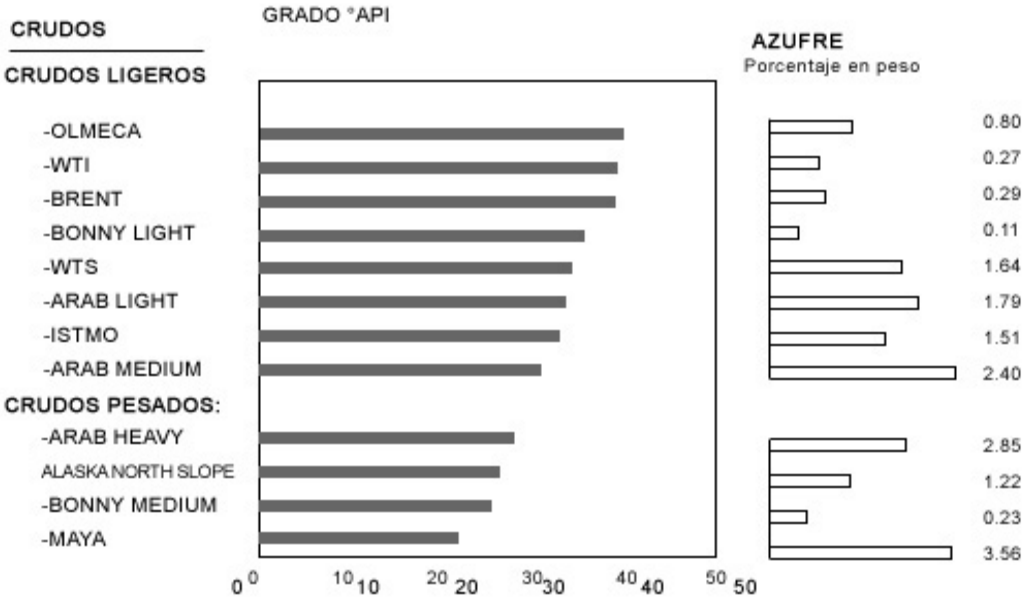


Figura 10. Características de crudos ligeros y pesados. Grado API y porcentaje de azufre en peso. El Olmeca, Istmo y Maya son mexicanos.

LOS INICIOS DEL USO DE LOS CARBURANTES

El gas de hulla y el petróleo pasaron a ser de uso general por primera vez en el siglo XIX, aunque eran conocidos desde mucho antes. Ambos son compuestos químicos que tienen el carbono y el hidrógeno como principales componentes. El gas de hulla es rico en un hidrocarburo, el metano y el petróleo son una compleja mezcla de hidrocarburos. En 1900, cuando la industria del automóvil aún no salía de su infancia, el papel desempeñado por el petróleo era insignificante. El gas, por el contrario, alcanzaría en el curso del siglo un completo desarrollo tecnológico como fuente de luz y de calor así como de energía para el motor de gas.

El uso del gas en la iluminación tuvo muchas contribuciones, una de las primeras e importantes es la de Philippe Lebon, ingeniero francés que estudió la combustión del carbón vegetal. En 1791 comenzó a analizar el gas que

produce la combustión de la madera y concluyó que podía obtenerse en una retorta de hierro, enfriado y utilizado posteriormente para el alumbrado, la calefacción o para globos, resultados que patentó en 1700. Lebon no sólo demostró la utilidad práctica sino que su vehemente imaginación se adelantó a casi todas sus posteriores aplicaciones: la suave luz ardiendo en un globo de cristal y la conveniencia de distribución por el interior de la casa por medio de pequeñas cañerías. Poca atención le prestaron los franceses enfrascados en las guerras napoleónicas. William Murdock, joven mecánico escocés, usó en 1798 retortas de hierro colado, puestas al rojo, para generar el gas, e iluminó el edificio principal de la fábrica donde trabajaba durante muchas noches sucesivas según cuentan los escritos de la época. En 1804 empezaron a producir lámparas. Algunos de los quemadores eran del tipo *Argand*, adaptación de un diseño original de Amado Argand, físico, matemático y químico italiano. El aparato tenía una mecha cilíndrica y por su centro circulaba aire. Una chimenea de cristal la protegía. Tenía la desventaja de producir mucho humo, lo que no impidió que en los primeros años del siglo un tal Andrew Ure sostuviera que la luz del gas podría reemplazar la del Sol, de modo que no sería una aberración moral obligar a los niños a laborar doce horas diarias en las fábricas. Pasamos a 1823, cuando 52 ciudades inglesas tenían iluminación por gas. En 1816 Baltimore, EUA, era también alumbrada con gas, seguida por Boston y Nueva York. París empezó en 1819 con el Palacio Real. En lo que se refiere a otros usos del gas, las ideas de Lebon inspiraron a Z. A. Winzler quien en diciembre de 1802 ofreció una cena con alimentos preparados en una cocina de gas en un comedor con calefacción de gas. Esta cocina pronto se hizo popular en el decenio 1870-1880.

... Y SUS DERIVADOS

El uso de los derivados del petróleo es muy anterior al del gas de hulla. Entre el Nilo y el Indo hay al menos treinta sitios donde aparecen yacimientos superficiales de petróleo, estas concentraciones son más numerosas en la región mesopotámica. Para los asirios del siglo IX a.C. los escapes de gas marcaban "el sitio donde salía de las rocas la voz de los dioses". El líquido inflamable, misterioso y sin utilidad práctica a ojos de los antiguos fue llamado *nafta* por los babilonios que quiere decir "la cosa que arde"; y sólo la roca asfáltica sólida y las filtraciones más espesas eran consideradas útiles para la preparación del betún. El famoso "fuego griego" que desempeñó un papel tan importante en la defensa del Imperio bizantino a partir del siglo VII no tenía una fórmula concreta, pero su ingrediente secreto esencial parece haber sido la *nafta*. Aunque los gases inflamables y los afloramientos de Bakú habían sido descritos por Marco Polo, despertaron mayor interés los informes procedentes del Nuevo Mundo durante el siglo XVI, relativos a los afloramientos cercanos a La Habana y que se podían utilizar para calafatear barcos. A una materia bituminosa con la que los aztecas hacían una especie de chicle y al lago de asfalto de 5 km de circunferencia en la isla Trinidad.

La moderna industria del petróleo surgió de la necesidad de mejorar el alumbrado de casas, fábricas y calles, al incrementarse la actividad humana a finales del siglo XVIII como resultado de la Revolución Industrial. La perforación de pozos muy profundos no era una novedad, aunque se viese limitada por la falta de taladros lo suficientemente potentes, de energía mecánica para taladrar y la incertidumbre del resultado. La apertura de los yacimientos fue favorecida por la búsqueda de sal o aguas salinas. Las torres de perforación y la aplicación de la máquina de vapor ayudaron en esta tarea. Entre los pozos perforados en búsqueda de agua se encontraron algunos que contenían petróleo lo que llevó al industrial estadunidense George H. Bissell a buscar petróleo en Estados Unidos, pero antes envió una muestra a Benjamin Silliman, catedrático de química de Yale. De ella se obtuvieron, al calentarla en condiciones controladas, diversos productos aparte del gas de alumbrado, lo que luego se llamaría *gasolina* y que por años se consideró inútil y peligrosa, ceras, lubricantes y combustible para lámparas que al arder no dejaba residuo ni se inflamaba al contacto de un cerillo encendido sino únicamente si había una mecha impregnada del líquido. El residuo que quedaba después de obtener los productos anteriores sustituyó con ventaja al carbón en las calderas de las locomotoras y a fines del siglo XIX se empleaba como único combustible en la mayoría de los ferrocarriles de EUA.

La primera Guerra Mundial cambió notablemente la demanda y calidad requerida de la gasolina. Las máquinas de combustión interna necesitaban de un cociente de alta potencia en relación al peso de los artefactos, en especial luego que los hermanos Wright realizaron el primer vuelo en una nave más pesada que el aire en 1903. El uso de bajos cocientes de compresión se podía evitar si la calidad del combustible mejoraba y en aquella época la única manera de resolver el problema era emplear gasolina con componentes de hidrocarburos más pesados como los que se obtenían en Borneo en lugar de los crudos ligeros de Pennsylvania y Oklahoma.

En México, durante la época precortesiana, se empleó el petróleo como material de construcción, medicina, pegamento, impermeabilizante y para limpiar y blanquear la dentadura. En la iluminación se empleó hacia 1862

en una mina cerca del cerro del Tepeyac. En 1901, en la hacienda "El Tulillo" del municipio El Ébano, San Luis Potosí, el 14 de mayo a una profundidad de 165 m brotó petróleo con tal fuerza que expulsó la herramienta de fondo. El pozo produjo unos 500 barriles de petróleo diarios; recuérdese que un barril equivale a 0.159 m^3 y también aproximadamente es algo así como 0.136 toneladas. Como dato anecdótico mencionaremos que el famoso pozo Cerro Azul número 4, en 1916, al llegarse a los 410 m de profundidad, como un volcán que despierta de su letargo lanzó las piezas de perforación a 33 m del lugar por la fuerza del gas que brotaba y siete horas después apareció el petróleo en una columna que alcanzó 180 m de altura. Se calculó en aquella época que el pozo producía alrededor de 260 000 barriles diarios.

PROCESOS INDUSTRIALES PARA OBTENER GASOLINA

Al mencionar que existen procesos industriales para obtener el preciado carburante, se concluye que la destilación del crudo no provee la cantidad suficiente y además, podemos decirlo, la que se obtiene del crudo directamente no sirve de mucho en los automóviles modernos. La manera de resolver el problema consiste en transformar de diversas maneras los cortes del crudo, es decir reestructurando las moléculas originales en estructuras más útiles para ser quemadas en un automóvil. Al final de la primera Guerra Mundial era claro que la composición de la gasolina desempeñaba un papel vital en el buen funcionamiento de los autos, sobre todo cuando se decidió que era necesario mejorar la eficiencia mecánica de los aparatos incrementando la relación de compresión. En los laboratorios de la General Motors se inició una campaña de investigación para determinar cómo los hidrocarburos se quemaran sin producir detonaciones indeseables en el motor. Se estableció que los hidrocarburos aromáticos eran los más resistentes y las parafinas los menos. Los alcoholes, como carburantes, se vio, que prevenían la detonación. Era necesario fortalecer la industria de la transformación química para obtener los productos deseados, los grandes laboratorios se pusieron a trabajar y surgieron los procesos necesarios para aumentar la calidad y cantidad de productos deseables como componentes en la gasolina.

Desintegración catalítica: como su nombre lo indica, en el proceso se rompen los hidrocarburos de cadena larga que componen el gasóleo pesado, generándose gasolina que contiene 30% de aromáticos y de 20 a 30% de olefinas, además de compuestos más ligeros. De todos los procesos de conversión que existen la desintegración representa 57% de la capacidad total a nivel mundial.

Ya en 1861 se sabía que calentando las fracciones pesadas del crudo, se generaban las llamadas "reacciones de desintegración" que conducían a la formación de fracciones de hidrocarburos más ligeros. El desarrollo fundamental del proceso se debe a Eugene Houdry (1892), ingeniero francés quien se inició en la fabricación de acero, y que gustaba de competir en carreras de autos, pero pronto aprendió que las limitaciones de la máquina eran resultado de la calidad del carburante. Sus experimentos con gasóleos de Venezuela y catalizadores de tipo arcilloso condujeron a la primera planta de procesamiento en EUA a mediados de los años 30. En la figura 11 se esquematizan las propiedades y destino de los productos de la desintegración catalítica. Las reacciones principales que se llevan a cabo durante el proceso se indican en la figura 12. Se concluye que la desintegración es un proceso de conversión de los productos pesados, llamados *residuales*, en otros más ligeros y de mayor valor. La alimentación a esta unidad viene directamente de la torre de la destilación y sus productos, entre ellos la gasolina, que tienen diversos destinos en la refinería.

Isomerización: convierte las moléculas de cadena lineal en hidrocarburos isómeros de cadenas ramificadas. El proceso es una fuente alterna para incrementar el octanaje de la gasolina y generalmente su materia prima es la gasolina natural que se separa del crudo por destilación. En la figura 13 se dan algunos de los objetivos que tiene el proceso.

La reacción para el caso de la transformación del butano normal en isobutano fue descubierta por Herman Pines y Vladimir Ipattieff, éste, un emigrado ruso, fue inventor de numerosos procesos catalíticos para la transformación de hidrocarburos. Se cuenta que al cumplir 70 años recibió un telegrama de felicitación de su amigo Nobel, su comentario fue: "De Nobel recibo alabanzas pero no el premio".

Reformación: convierte los hidrocarburos saturados en aromáticos, entre otras cosas, el producto final puede tener 60% de ellos, además de generar también isoparafinas. Este proceso nació en los años 30 y la primera planta fue construida en 1940. Inicialmente el proceso no se concibió para obtener gasolina sino para producir tolueno, con el cual se genera el trinitrotolueno, el explosivo TNT. En la figura 14 damos algunas reacciones típicas que se suceden en el proceso así como los porcentajes en volumen de componentes alimentados y productos obtenidos.

PRODUCTO	PROPIEDADES	DESTINO
COQUE		CONSUMIDO EN PROCESO
C2 Y LIGEROS		GAS COMBUSTIBLE
PROPILENO	OLEFÍNICO	CARGA DE ALQUILACIÓN, PETROQUÍMICOS
PROPANO		VENTA DE PROPANO, GAS COMBUSTIBLE
BUTILENO	OLEFÍNICO	CARGA DE ALQUILACIÓN
ISOBUTANO		CARGA DE ALQUILACIÓN
BUTANO NORMAL	93.0 RON, 92.0 MON, 51.6 RVP	MEZCLADO DE GASOLINAS
C5 + GASOLINAS	92-99 RON, 78-85 MON	MEZCLADO DE GASOLINAS
ACEITE CÍCLICO LIGERO	GRAVEDAD API MENOR A LA DE LA ALIMENTACIÓN (12°-25° API) BAJO ÍNDICE DE CETANO	COMBUSTIBLE DESTILADO
ACEITE CÍCLICO PESADO	GRAVEDAD API MUY BAJA (-5° A 10° API)	COMBUSTÓLEO RESIDUAL RECICLADO CARGA DE COQUIZACIÓN

Figura 11. Desintegración catalítica: propiedades de los productos y destino de los mismos

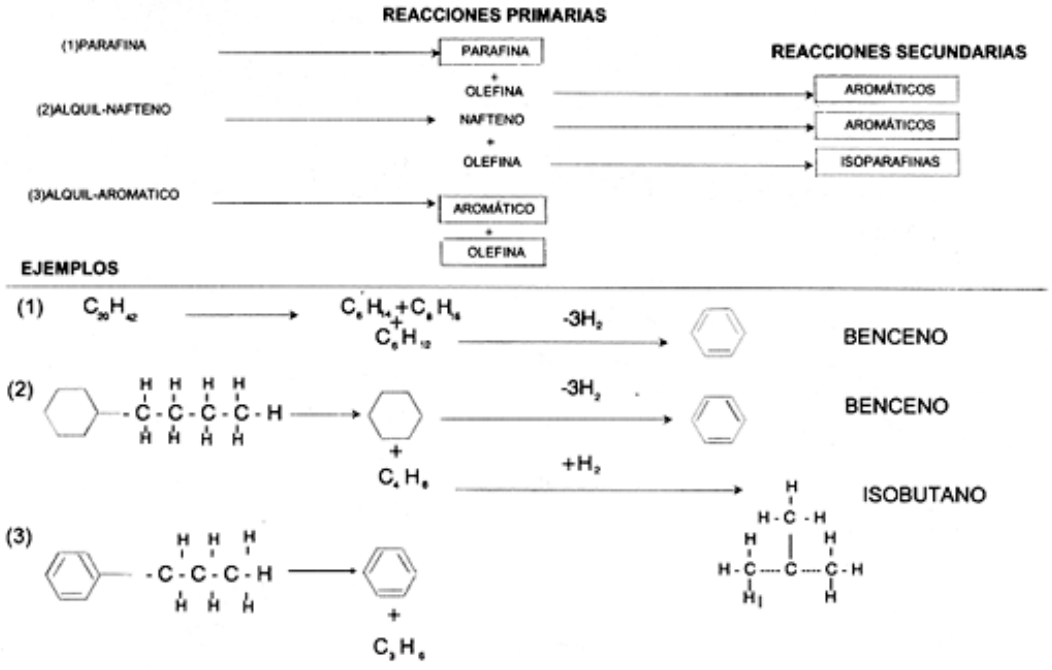


Figura 12. Algunas reacciones típicas del proceso de desintegración catalítica.

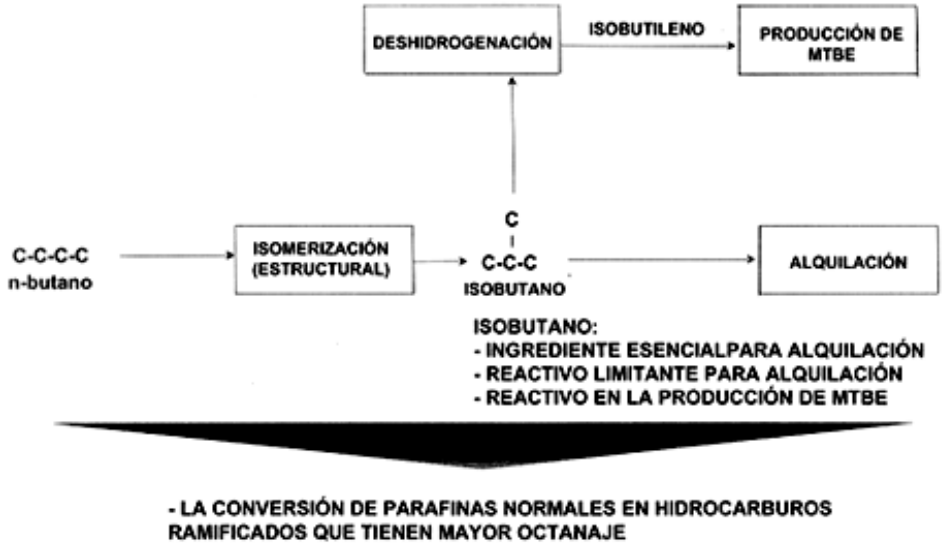
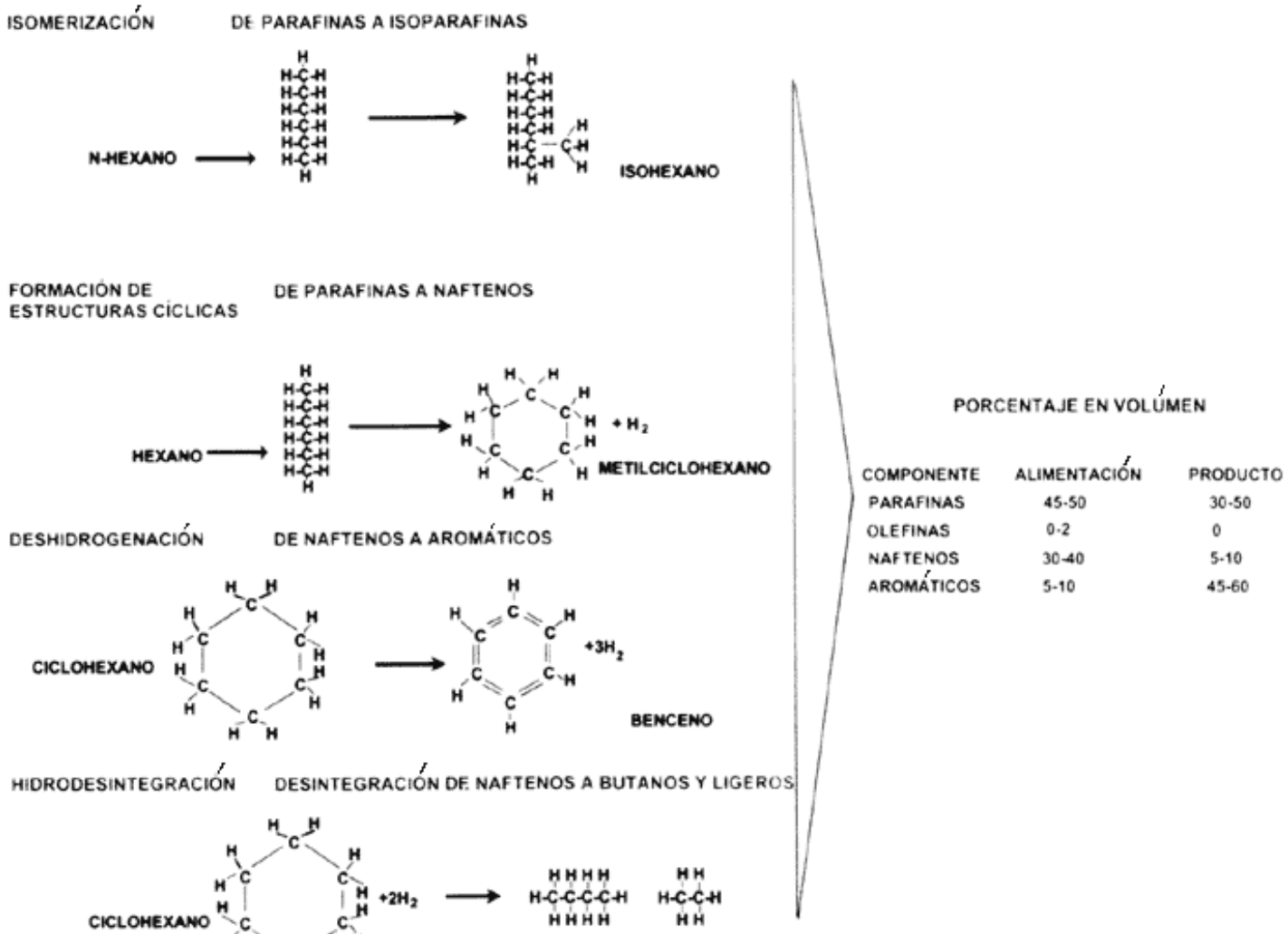


Figura 13. Objetivos del proceso de isomerización.

La reformación es un proceso que aumenta el octanaje de una corriente y su destino es formar parte de la gasolina. A nivel industrial se lleva a cabo en presencia de un catalizador de platino incorporado a un óxido de aluminio. Vladimir Haensel sentó los principios básicos de este proceso.



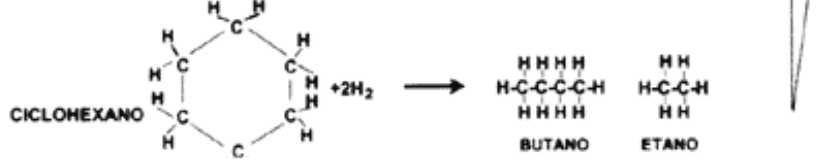


Figura 14. Reformación catalítica: reacciones típicas.

Alquilación: en ésta se hacen reaccionar olefinas con isoparafinas para hacer crecer la cadena de hidrocarburos y ramificarla. Generalmente el producto que se obtiene está dentro del rango de las gasolinas y contribuye en forma importante al volumen de ésta. En la figura 15 se muestran algunas reacciones químicas que se llevan a cabo durante la alquilación.

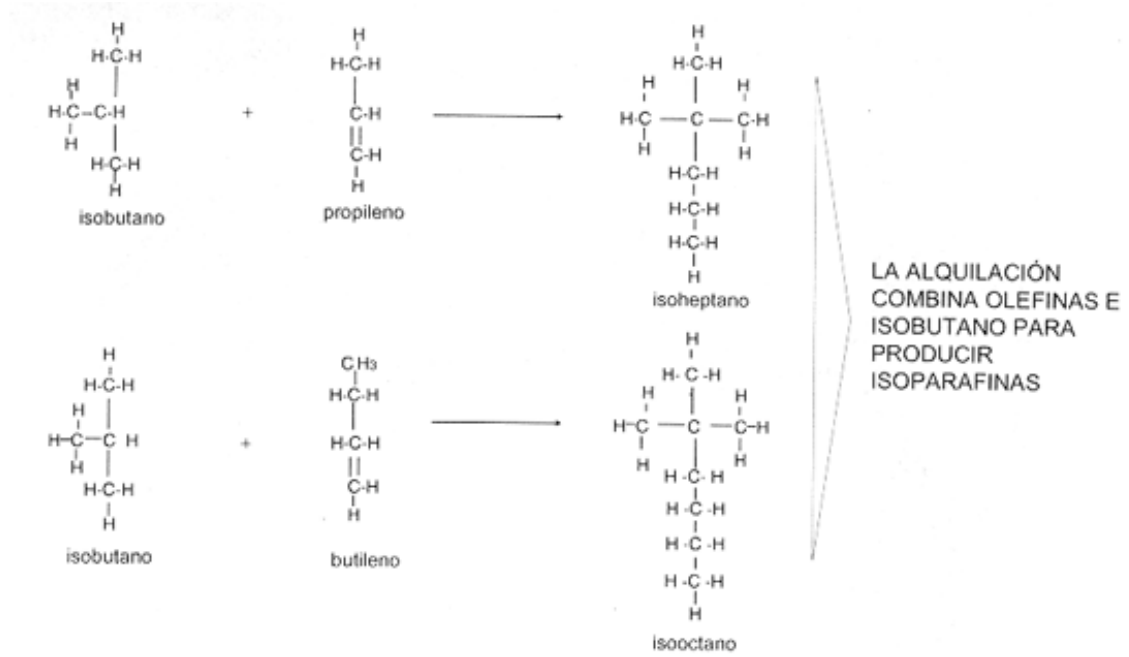


Figura 15. Reacciones químicas que se llevan a cabo durante la alquilación.

El proceso se desarrolló durante la segunda Guerra Mundial y proveyó un componente esencial de la gasolina necesario para los aviones, el cumeno. La reacción fue también descubierta por V. Ipatieff. Mediante un proceso catalítico se hace reaccionar benceno con propileno. Terminada la guerra el proceso se orientó a producir reacciones de alquilación pero esta vez empleando otros componentes, así como para producir una fracción que se incorporaba a la gasolina, figura 16.

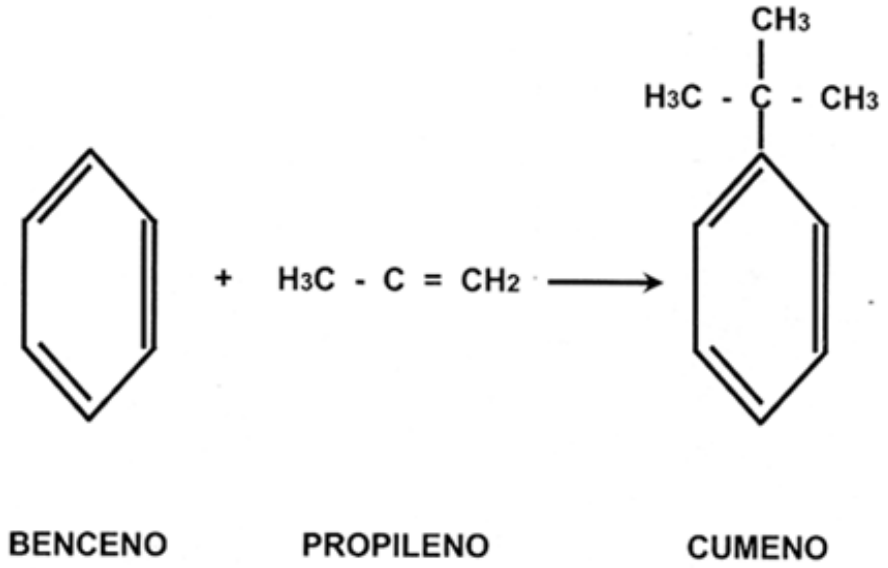


Figura 16. La reacción de obtención del cumeno

Para los interesados en conocer la ubicación, capacidad de procesamiento en millones de barriles por día (MBD), año de su construcción y principales puntos de abastecimiento de la República Mexicana, la figura 17 presenta los centros de procesamiento del país.

REFINERIAS MEXICANAS

Figura 17. Principales refinerías mexicanas. Capacidad de producción en millones de barriles diarios (MBD).

LOS ANTECEDENTES DEL MOTOR

De acuerdo con Francis Bacon, la ciencia debería dividirse en dos: aquella cuyos experimentos proveen luz y los que dan frutos. La primera sería una necesidad fundamental de la ciencia pues la búsqueda de la Luz da a los estudiosos el conocimiento de los principios necesarios y de las leyes que rigen la naturaleza. Pero el científico debe buscar con tenacidad la forma de que su trabajo dé frutos, lo cual es el objetivo final de la ciencia, en la medida que los frutos benefician la vida de los hombres. Sin embargo la conexión entre ciencia y tecnología es mucho más compleja y nunca sólo jerárquica. En segundo, el conocimiento científico que estimula la innovación tecnológica no tiene que ser el último ni presentarse en forma pura; concepciones de adelantos científicos de segunda o tercera mano sirven adecuadamente a la tecnología. En tercer lugar, la ciencia dicta los límites de las posibilidades físicas de un artefacto, pero no determina su forma final. La afirmación de Aristóteles de que no

existía el vacío en la naturaleza fue combatida en el siglo XVII por Galileo, Torricelli, Pascal, Otto von Guericke y otros autores que contribuyeron al desarrollo de la neumática y probaron que la atmósfera de la Tierra ejerce una presión; construyeron bombas capaces de evacuar el aire de contenedores pequeños y estudiaron el vacío generado en laboratorios rústicos. En 1680, Christian Huygens ideó una máquina en que se hacía explotar pólvora en un cilindro cerrado por un pistón. Cuando se encendía la pólvora, la mayor parte de los gases calientes en que se convertía, junto con parte del aire que estaba en el interior del cilindro, dilatado por el calor, eran expulsados a través de válvulas de escape. Al enfriarse, las válvulas se cerraban y se creaba un vacío parcial en el interior del cilindro. Una vez frío, el gas ocupaba un espacio mucho menor que cuando estaba caliente y en consecuencia la presión atmosférica llevaba al pistón hacia el fondo del cilindro. Dos desventajas tenía este aparato: el vacío sólo era parcial pues se formaban residuos de la combustión, y había que usar pólvora para el cilindro, asunto bastante peligroso. Entre los que investigaron también los usos prácticos del vacío se encuentra el francés Denis Papin (1647-1712) quien realizó experimentos con el vapor de agua. En 1690 expuso sus ideas en las que describe el modo de actuar de las primeras máquinas de vapor:

> puesto que el agua goza de la propiedad de que una pequeña cantidad de ella transformada en vapor por medio del calor tiene una fuerza similar a la del aire, y de que por medio del frío se transforma de nuevo en agua, de manera que no queda ni rastro de aquella fuerza elástica, he llegado a la conclusión de que se pueden construir máquinas en cuyo interior se puede producir el vacío perfecto

Papin había descubierto el principio clave del motor atmosférico y comprobado que con cilindros y pistones de adecuado tamaño sería posible realizar un trabajo útil, figura 18. En un artículo en que describía estos experimentos sugería que podía utilizarse la energía atmosférica para elevar el agua y minerales de minas profundas, impulsar balas y mover barcos.

Figura 18. Aparato de vapor diseñado por Denis Papin, 1690.

El principio del método fue llevado rápidamente a la práctica por Savery, Newcomen y Smeaton quienes diseñaron las máquinas de vapor. En Inglaterra, la patente de Robert Street (1791) de un motor que funcionaba con gas y en Francia la de Lebon (1799) marcan el inicio de una larga serie de esfuerzos que no dieron grandes resultados sino por 1860. La patente de Street es la primera que considera el uso de gas proveniente de la hulla como carburante. Pero es al ingeniero suizo lsaac de Rivaz (1752-1828) a quien se acredita la construcción del primer vehículo accionado por una máquina de combustión interna basada en su diseño de 1813 de una máquina de gas que se encendía con una chispa. En 1860 Etienne Lenoir, ingeniero francés, construyó una máquina a base de un motor de gas cuyos requerimientos de potencia no excedían tres caballos de fuerza y, a pesar del enorme consumo de gas que necesitaba, la máquina fue empleada en amplia variedad de usos. La causa de su falta de economía al principio no fue entendida, pero la polémica científica que se prolongó durante los siguientes dos años condujo a notables recomendaciones de los requisitos primarios que desencadenaron máquinas como la de Schmidt (1861) y la de Alphonse Beau de Rochas (1862). El primero hizo hincapié en la importancia que tenía la compresión de la mezcla explosiva; el segundo sugirió que las varias operaciones que se llevaban a cabo en el

cilindro se redujeran a un ciclo que requiriera cuatro golpes de pistón, anticipándose al famoso sistema de Nikolaus August Otto (1832-1891), quien en 1861 concibió la idea de construir una máquina de compresión con ignición controlada que trabajaba basada en un ciclo de cuatro tiempos y controlado por válvulas que regulan la entrada de combustible y la expulsión de los productos de la combustión. En el primero, la mezcla explosiva se introduce al cilindro, ésta es comprimida por el émbolo y luego encendida por una flama, un tubo caliente o una chispa eléctrica; en el tercero, la fuerza de la explosión lleva al émbolo a su posición de partida y, durante el cuarto, el émbolo en su recorrido de vuelta expulsa los productos gaseosos de la combustión, quedando todo dispuesto para la repetición del ciclo. El concepto revolucionario de operación del "ciclo Otto" fue aplicado con éxito en 1876. Los motores de Otto llegaron al máximo de popularidad en 1917 culminando así su asociación con Eugen Langen con quien fundó la primera fábrica en el mundo (Alemania, 1864) para producir autos. La dificultad entonces era la falta de carburante, si bien los combustibles derivados del petróleo empezaban a ganar la batalla al gas de la hulla. Las razones eran entre otras la disponibilidad de gas, restringido por falta de gasoductos, además era más atractivo pensar en un combustible líquido que se pudiera transportar y almacenar fácilmente y fuese introducido en el interior del motor por la simple fuerza de gravedad y que diera más calor por unidad de peso que el carbón. Los primeros combustibles líquidos que se usaron eran del tipo queroseno, que al ser comprimidos se encienden espontáneamente y por tanto se prescinde de una ignición externa. Un importante tipo de máquina de combustión interna fue llevada a escala industrial por Rudolf Diesel en 1895. El principio del método había sido sugerido por De Rochas en 1860.

EL MOTOR DIESEL

Este motor se basa en el principio de emplear la elevada temperatura que alcanza el aire comprimido como medio para encender una carga de vapor de aceite o gas. Los motores tenían una cámara de ignición separada conectada con el cilindro, Diesel (1858-1913) buscó alcanzar la eficiencia térmica más elevada impidiendo las pérdidas de calor. Nacido en París de padres alemanes, estudió ingeniería en Munich. Después de su doctorado, estudió termodinámica en Suiza con Sadi Carnot y ahí desarrolló sus teorías para aumentar la eficiencia de las máquinas de combustión interna. Ya existían varias patentes entre 1890 y 1892 referentes a la introducción gradual de carburante en aire que había sido altamente comprimido de manera tal que su temperatura era lo suficientemente alta para encender, espontáneamente al ponerse en contacto. Un artículo de las teorías de Diesel publicado en 1893 fue recibido con entusiasmo por los ingenieros alemanes que dedicaron esfuerzos a ponerlos en práctica. Diesel experimentó con gasolina: la ignición fue tan violenta que el aparato que marcaba la presión del cilindro salió disparado pasando a pocos centímetros del inventor.

La primera máquina tenía una eficiencia mecánica de 34.2% superior a lo que había en el mercado. Los primeros usos industriales de los motores diesel fueron las áreas industrial, marina y el ferrocarril con muy pocos en las carreteras y el transporte aéreo. Sin embargo, la falta de gasolina en Alemania después de 1918 estimuló el desarrollo de las máquinas diesel, particularmente por la firma Daimler-Benz. Después de la segunda Guerra Mundial se incrementó notablemente el desarrollo de los motores en todos los países europeos. Los resultados de la investigación condujeron a producir máquinas de alta velocidad que compiten con los motores a gasolina. La velocidad de estas máquinas se incrementó a 1000 revoluciones por minuto de las 250-350 iniciales y más adelante se alcanzaron 3 000 revoluciones por minuto; otro punto importante fue que el peso de los automóviles oscilaban entre 9 y 15 libras por caballo de fuerza. Todo esto condujo a ampliar el transporte aéreo y terrestre con equipo de alta velocidad.

EL MOTOR A GASOLINA

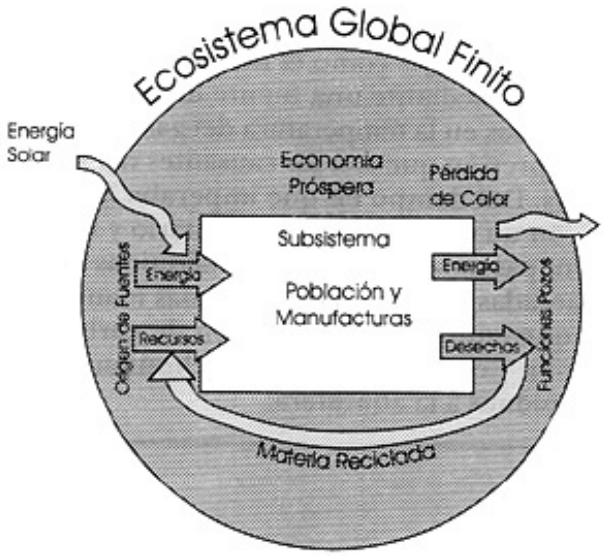
Los principios básicos de las máquinas de combustión interna a gasolina son los mismos que los de los motores a gas y de aceite pesado que hemos descrito. Las diferencias importantes estriban en los sistemas de inyección e ignición del combustible. El primer motor a gasolina del alemán Gottlieb Daimler fue patentado en 1885 y consistía en una máquina de un solo cilindro vertical, refrigerada por aire y que funcionaba según el ciclo Otto. La mezcla explosiva se preparaba haciendo pasar aire a través de la gasolina dentro de una cuba de nivel constante y se encendía por medio de un tubo calentado desde el exterior e inserto en la culata del cilindro. Al mismo tiempo, Karl Benz se dedicaba a la construcción de motores pensados especialmente para automóviles. El motor construido en 1885, con un solo cilindro, difería del anterior en que estaba situado en posición horizontal, disponía de un sistema eléctrico de ignición y era capaz de moverse a velocidades relativamente reducidas, luego el sistema de ignición se provoca por medio de una bobina eléctrica de inducción, alimentada por un acumuladon. La chispa era producida por medio de una bujía desmontable. Más adelante aparece el carburador de flotador,

inventado por W. Maybach en el cual el nivel de gasolina en la cuba se mantiene constante por medio de un flotador que mueve una válvula de aguja. La cuba de nivel constante comunica, a través de un surtidor muy fino, con el orificio de admisión del cilindro: la succión del cilindro hace que se inyecte en la toma de aire una lluvia extremadamente fina de gasolina, y la historia continua hasta el coche moderno no sin antes hablar brevemente de un motor concebido en 1816 por Robert Stirling. En su motor, el movimiento de los pistones no se debe a la combustión interna que es discontinua y generalmente incompleta, de la mezcla aire-combustible. Funcionaba a base de un fluido, que podía ser un gas como el helio, el hidrógeno o el aire, que se calienta mediante una fuente de calor externa al conjunto. Los cambios en la temperatura del gas activo generan variaciones en la presión que son las causantes del movimiento de los pistones. Del tiempo en que imperaba la unidad de un solo pistón con un carburador rudimentario y su mecanismo de inyección, pasamos a las actuales máquinas multicilíndricas y turbocargadas con complejos sistemas manejados por computadoras que controlan la inyección de carburante, el tiempo de ignición y con aditamentos que limitan las emisiones nocivas de residuos a la atmósfera.

II. LA ENERGÍA

EN PRIMER término hay que darse cuenta de que los sistemas industriales están ligados a la energía. En la figura 19 se observa lo que sucede al crecer la población y los productos en un sistema natural como la Tierra. El crecimiento poblacional crea más demandas y, para mantener los recursos renovables, no pueden extraerse a una velocidad mayor que la de su propia generación. Por otra parte, los recursos no renovables, como el petróleo, no deberán exceder la velocidad a la cual se renuevan por fuentes que los sustituyan. Claro que esto último no puede realizarse como se desearía, de ahí que el reciclaje de los desechos, sumado al ahorro de energía y materiales, es la única manera de reducir la magnitud del problema.

El concepto de energía es uno de los más empleados en la ciencia, se asocia con cualquier tipo de actividad y a través de él se explica la inmensa mayoría de los fenómenos naturales y artificiales. Durante los siglos XVIII y XIX se hicieron descubrimientos muy importantes en todas las ramas del saber, lo que hizo surgir la necesidad de explicarlos. Una manera es definir el significado de energía. El descubrimiento de la electricidad, la invención de la pila eléctrica o el hecho de que la corriente eléctrica sea capaz de descomponer las sustancias o poner un imán en movimiento, hizo que se pensase que todos estos fenómenos pudieran deberse a una misma causa. Es así como aparece el término de *energía* como algo *que puede producir los cambios*. A través de los años, el hombre ha perfeccionado la capacidad de hacer trabajos que requieren grandes esfuerzos físicos, para dejar a las máquinas las tareas pesadas y dedicarse a labores intelectualmente más productivas. Esto ha traído como consecuencia que el consumo de energía por habitante sea cada vez mayor.



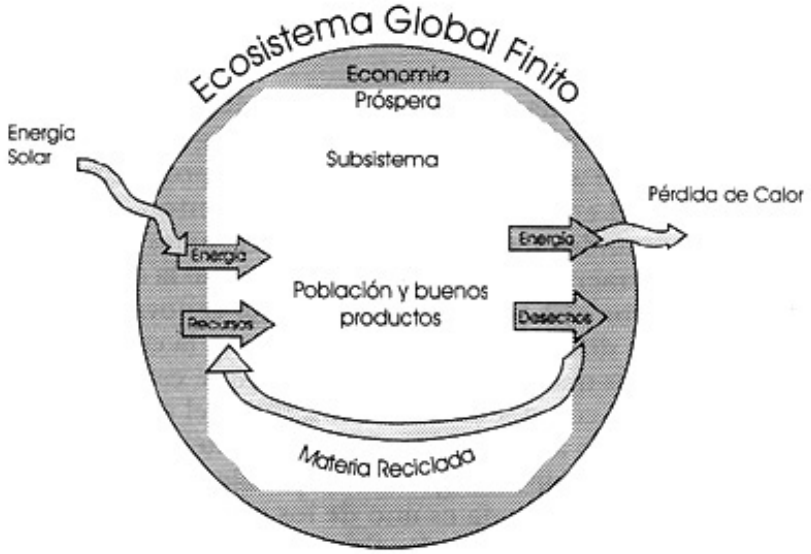


Figura 19. El ecosistema finito global comparado con el crecimiento de los subsistemas económicos y de población.

EL TRABAJO Y LA ENERGÍA

Existen muchos procesos en los que una fuerza mueve un objeto, decimos entonces que se ha producido un trabajo. La capacidad para realizar un trabajo se llama energía. La cantidad de energía que se transfiere depende de la intensidad de la fuerza y del desplazamiento de dicha fuerza, la magnitud que mide esta transferencia de energía es lo que conocemos por trabajo. Cuando se habla de las máquinas se menciona la potencia. ¿Qué significa este término? Pues que el tiempo es fundamental en el trabajo que realiza una máquina, por eso se introdujo el concepto de potencia que se define como la rapidez con que se realiza un trabajo o como la energía por unidad de tiempo, medida en vatios. El término de caballo de fuerza es una invención de J. Watt en 1782. Supuso que un caballo era capaz de jalar un peso de 180 libras y que sujeto a un malacate, daba 150 vueltas por hora recorriendo en 2.5 minutos un círculo de 24 pies de diámetro, lo cual rinde un trabajo que, haciendo las transformaciones de unidades pertinentes, resulta en 745 vatios. ¿Cuántos caballos de fuerza tiene su automóvil? Compare ese valor con un pistón de 1712 que poseía un cilindro de 0.5 m de diámetro y 2 m de largo capaz de producir 12 golpes por minuto, si le aplicamos los cálculos que conocemos actualmente, el "poderoso" aparato daba alrededor de 5.5 caballos de fuerza.

FUENTES DE ENERGíA

Cuando aludimos a las fuentes de energía, nos referimos a su origen. Una fuente de energía como la que se obtiene del petróleo puede producir energía calorífica, mecánica, química o eléctrica. Cuando hablamos de fuentes implícitamente decimos que se trata de energía aprovechable, es decir, energía que el ser humano puede utilizar para sus actividades. Existen los siguientes tipos de fuentes de energía según su origen y aprovechamiento:

1) Energía del petróleo, gas y carbón. La energía química se convierte en calor para posteriormente transformarse en electricidad u otras formas de energía. Cuando la energía que proporcionan el petróleo, gas o el carbón se obtiene en grandes cantidades, se transforma en energía eléctrica a través de las centrales termoeléctricas o carboeléctricas. En el caso de los transportes, la energía se transforma en cinética o mecánica o bien en energía calorífica cuando se trata de un calentador o una estufa.

2) Energía hidráulica. Para producirla se aprovechan las caídas del agua, por lo tanto se trata de energía potencial. Los griegos fueron los primeros en usarla, por medio de la rueda hidráulica para bombear agua que inventó Filón de Bizancio en el siglo III a.C. La energía hidráulica es energía mecánica, primero potencial y después cinética.

3) Energía nuclear. Es la que une el núcleo de los átomos. Se transforma primero en energía calorífica y ésta, a su vez, en mecánica y eléctrica. Los protones y los neutrones constituyen el llamado núcleo de los átomos y los electrones gravitan a su alrededor. Al bombardear un átomo pesado con neutrones, su núcleo se rompe o se fisiona liberando en el proceso una enorme cantidad de energía. Al fisionarse puede emitir también neutrones y si éstos son dos o tres, chocarán con otros átomos produciéndose una reacción en cadena que produce la energía nuclear.

4) Energía geotérmica. Desde tiempos remotos, el ser humano ha usado las aguas termales con diversos fines. En México, el temascal se utilizó desde la época precolombina. Existen pozos geotérmicos, es decir, formaciones rocosas que han atrapado agua y ésta se calienta por la temperatura de la Tierra pudiendo estar en forma de vapor, de mezcla vapor-líquido o líquido caliente.

5) Energía solar. La constituye la radiación solar y se emplea para producir calor o electricidad. Una forma de aprovechar la energía del Sol es mediante los llamados *colectores*, que convierten la energía solar en calor. En nuestro país existen regiones en Sonora y Baja California con altísimos promedios de radiación por año donde es posible construir centrales de energía solar para satisfacer la demanda local.

6) Energía eólica. Es la que utiliza la energía cinética de los vientos, puede aprovecharse como tal o convertirse en electricidad. Uno de sus primeros usos fue hace unos 3 500 años cuando los sumerios armaron las primeras embarcaciones de vela. Una aplicación familiar son los molinos de viento, cuya historia se remonta a la antigua Persia y que han sido usados para bombear agua y moler granos.

7) Energía de la biomasa. Resulta de la materia viva y los desechos orgánicos cuando se les usa como combustible, por lo tanto se trata de energía química que se puede transformar en cualquier forma de energía. En el uso de la biomasa como fuente energética se emplean principalmente árboles, plantas, desechos animales y vegetales. El ejemplo más conocido de utilización de la biomasa es la madera.

¿CUÁNTOS AUTOS ANDAN RODANDO?

Pudiera uno pensar que en un principio las carreteras pavimentadas se construyeron atendiendo al uso del automóvil, pero fueron construidas para atender los vehículos tirados por caballos, En un trabajo de 1974 escrito por E. Montroll y W. Badger se llegó a la conclusión que de haberse seguido construyendo carreteras con este fin se hubiera producido un desastre ecológico, aunque desde el punto de vista tecnológico el carro era una innovación tecnológica maravillosa. Veamos los cálculos de estos autores. El que se refiere a desperdicio sólido se basa en el cálculo de una producción promedio de 16 kg por día con un recorrido de 40 km diarios, mientras que el cálculo para los contaminantes líquidos se basa en suponer unos 7.5 kg por día para una travesía de 40 km diarios. Se consideran los estándares que prevalecían en 1980.

medio de transporte	*contaminante*	*emisiones en gramos por kg*
caballos	sólidos	400
	líquidos	188
automóviles	hidrocarburos	0.16
	monóxido de carbono	2.9
	óxidos de nitrógeno	0.25

En 1950 circulaban en el mundo 53 millones de automóviles; para 1988 la cantidad total de vehículos excedió los 500 millones y en 1990 se calculaba que circulaban 675 millones de vehículos, de los cuales los automóviles representan 65%, los camiones ligeros 15%, las motocicletas 15% y el resto camiones pesados. Desde 1950 el promedio anual de crecimiento ha sido de 9.5 millones, es decir 5.9% anual. Para acabar con las estadísticas diremos que la población de vehículos ha crecido más rápidamente que la humana. Para el año 2000 se espera que en los países desarrollados dicho crecimiento no se incremente notablemente, pero este patrón no será el mismo para el resto del mundo donde se espera mayor crecimiento de la población y mayor urbanización. Esto lleva a predecir que la flota de vehículos alcanzará 900 millones de unidades en 2010. Más grave es la cifra que nos expresa el número de kilómetros recorridos por vehículos de motor anuales: 8 000 000 000 000. ¿A qué se debe esto?

La respuesta se relaciona con el incremento de la urbanización. Las ciudades crecen más horizontal que verticalmente, lo que provoca que las tierras rurales pasen a ser urbanas. La distancia de los lugares residenciales al centro del comercio de las ciudades crece, e induce a que el número de kilómetros recorridos también crezca.

PREDICCIONES SOBRE EL CONSUMO DE CARBURANTE

El crudo y sus derivados se han convertido desde el inicio de su explotación en la fuente energética primaria de mayor importancia. En 1991 de los 57 232 millones de barriles de petróleo equivalente, es decir energía expresada como barriles de petróleo, 41% provino del crudo, 22% del gas y el resto de otras formas de energía como la nuclear, la hidráulica y la geotérmica.

En México para el mismo año, las proporciones son todavía más dependientes del crudo: de 883 millones de barriles, 61 % proviene del crudo, 29% del gas y 10% de otros (figura 20).

En el pasado, la gasolina era considerada un producto secundario de los procesos de refinación, y su obtención carecía de importancia. Ahora es el producto principal que mueve al transporte en el mundo. Para México, la

figura 21 nos muestra el consumo nacional de energía destinado al transporte.

En 1994 se consumieron 502 000 barriles diarios que seguramente llegarán a 586 000 en 2005, como se muestra en la figura 22. En el mundo, en 1994, se consumieron 800 millones de toneladas.

¿Por qué hacemos tanto hincapié en el consumo de gasolina? La explicación tiene que ver con el desperdicio que se genera en un coche por la poca eficiencia de la combustión, que es uno de los grandes motivos de investigación en el mundo, ya que se trata de elevarla al máximo.

EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO

La energía obtenida del carbón, petróleo, gas, biomasa, energía hidráulica y calor generado en un reactor nuclear es la *energía primaria*, que no se utiliza en forma directa sino trasformada en *energía secundaria*. La ventaja de ésta es que tiene una amplia gama de utilización y comodidad de uso: electricidad, gasolina, gas avión, etc. La energía secundaria se suministra como *energía final* y otra parte es rechazada y devuelta a la naturaleza como "calor residual". Las consideraciones acerca de la eficiencia energética se centran en la que se deriva de la explotación, transporte y tratamiento de la energía primaria para su conversión, almacenaje de la secundaria, sistemas de distribución, redes de transporte y, finalmente, en la transformación útil para el consumo final, y en los medios de conversión como focos, cocinas o motores de vehículos.

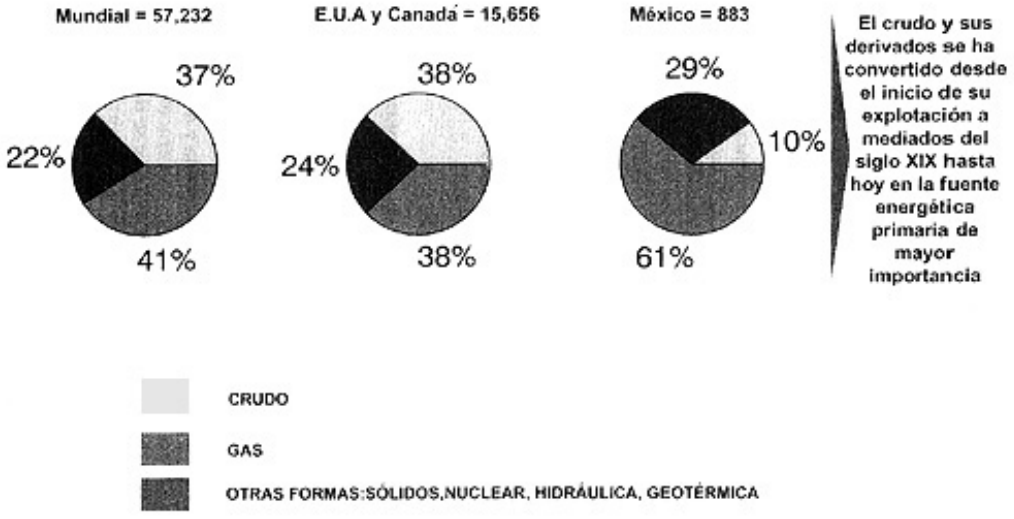


Figura 20. Comparación del consumo de energía primaria en México *vs* otros lugares del mundo. Millones de barriles de petróleo equivalentes.

SECTOR TRANSPORTE 367 PETACALORIAS

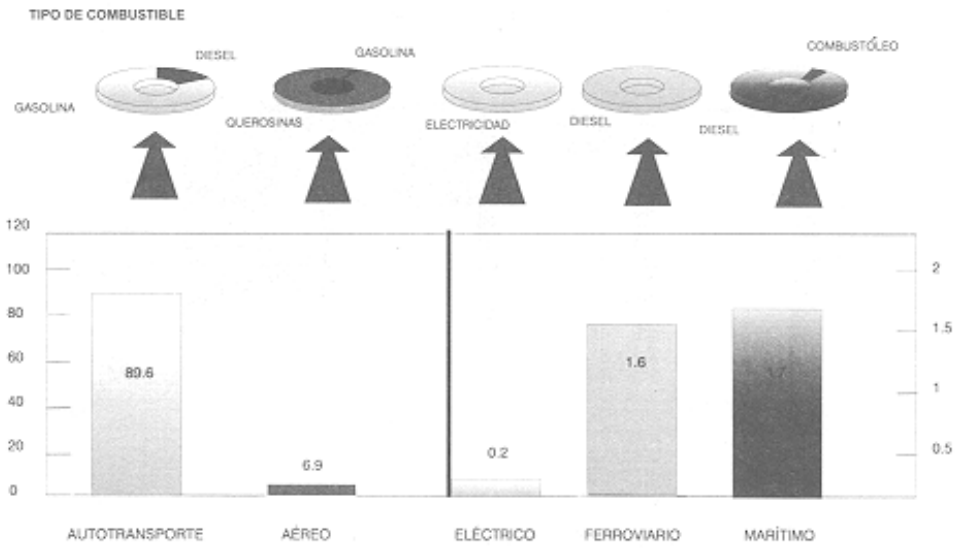


Figura 21. Consumo en México de energía en el sector transporte, 1994.

GASOLINAS
MILES DE BARRILES DIARIOS

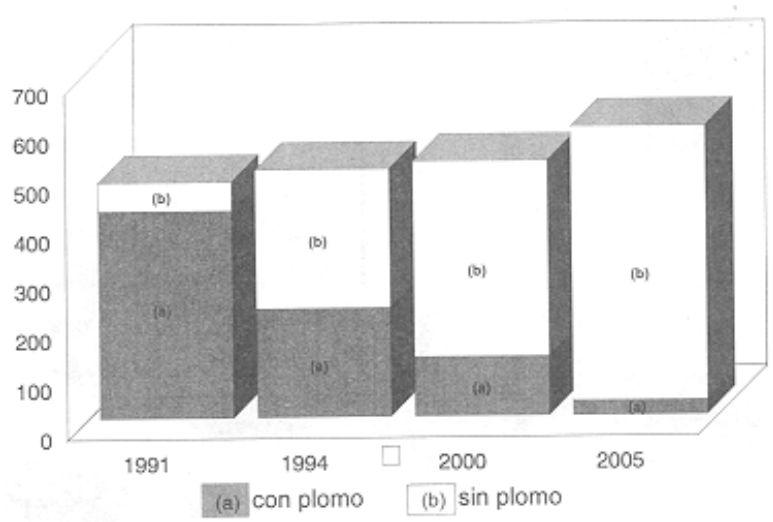


Figura 22. Evolución de la demanda de gasolina en México, *a*) con plomo, *b*) sin plomo.

EL RENDIMIENTO DE ALGUNAS MÁQUINAS

Antes de seguir con los motores, veamos una máquina popular, la bicicleta, muy popular en todo el mundo. Los científicos la estudian intrigados por lo simple de su tecnología, su gran eficiencia y su equilibrio. Su pariente más lejano es la rueda, inventada hace unos 5 000 años. Fue Harry Lawson, en 1879, quien la diseñó tal como la conocemos: transmisión por cadena, piñones y cuadro. ¿Hay algo interesante que decir acerca de la bicicleta a más de un siglo de creada? Parece que no, pero hay un punto de sumo interés: resulta que la bici es uno de los medios de transporte con más alto rendimiento energético. La energía que gasta un individuo, animal o vehículo para desplazarse depende de la velocidad con que lo hace, pero uno puede comparar los diferentes movimientos con la velocidad habitual promedio. Cuando uno realiza esos cálculos resulta que comparados entre sí, por kilómetro y gramo transportado, los menos eficientes son la serpiente, la rata, la mosca, seguidas del conejo, helicóptero, avión, el hombre, el caballo, el automóvil y el salmón. Un ciclista gasta cinco veces menos energía (0. 15 calorías por gramo y kilómetro recorrido) que un marchista (0.75 calorías/km y gramo). ¿Por qué? Para contestar esto debemos pensar en la potencia que la máquina humana puede dar y cómo se usa.

LA COMBUSTIÓN DE LA GASOLINA

La combustión en un auto es muy diferente de las combustiones simples y continuas que se suceden en otro tipo de aparatos como las turbinas de gas. Es intermitente y se da bajo condiciones complejas y variables. La eficiencia de la combustión es muy sensible a la calidad del carburante y éste depende a su vez en forma estrecha de las condiciones de operación.

Para destacar la importancia del adelanto técnico, diremos que en el siglo X el enganchar la collera en los homóplatos de los animales de tiro los salvó de la semiasfixia que les producía llevarla al cuello. En los vehículos automotores, la energía química contenida en los combustibles se transforma en movimiento y como subproducto se genera calor y gases de combustión. Es importante hacer notar que el contenido energético teórico de la gasolina al ser quemada en presencia del aire, está relacionado directamente con el contenido de carbono e hidrógeno. La energía es liberada cuando el hidrógeno y el carbono son oxidados (quemados) para formar agua y bióxido de carbono. El octano de la gasolina no está relacionado con el contenido energético y son sólo los hidrocarburos presentes en la mezcla los que determinan la liberación de energía y que no se produzcan detonaciones indeseables. Las dos reacciones importantes son:

$$\mathbf{C + O_2 \rightarrow = CO_2}$$

$$\mathbf{H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O}$$

La masa o volumen de aire requerido para proveer suficiente oxígeno con el cual se alcance la combustión completa es un valor preciso. Pueden darse dos condiciones, la primera que la cantidad de aire sea insuficiente, los científicos hablan entonces de que la mezcla es "rica"; la segunda, que se da cuando la masa es excesiva, se dice entonces que la mezcla es "deficiente". Como regla, un auto funciona con el máximo de potencia cuando la mezcla es ligeramente "rica" pero la economía de combustible se alcanza en mezcla "deficiente". El contenido energético o poder calorífico de la gasolina se mide quemando todo el combustible dentro de una bomba calorimétrica y midiendo el incremento de temperatura. Al instrumento se añade una cantidad pesada de la muestra, la cual se quema en una atmósfera de oxígeno puro empleando una resistencia eléctrica para calentar. El recipiente está cerrado e inmerso en un baño de agua. Se mide la elevación de la temperatura que se genera, de la cual se calcula el calor de combustión. La energía disponible depende de lo que suceda al agua producida durante la oxidación del hidrógeno. Si permanece en estado gaseoso, no puede liberar el calor de vaporización, por lo tanto produce el valor calorífico neto.

Por ejemplo, para quemar heptano se da la siguiente reacción:

$$\mathbf{C_7H_{16} + 11O_2 = 7CO_2 + 8H_2O}$$

1 volumen de heptano requiere de 11 de oxígeno o bien de 52.5 volúmenes de aire y en el proceso se generan 11489.9 Kcal/kg. Si consideramos los datos sobre la base de masa, lo anterior equivale a una relación aire-carburante de 1.5:1. Una parte de la gasolina, dado que difiere del heptano en su relación carbonohidrógeno, requiere aproximadamente 14.5 partes en peso de aire para realizar la combustión completa, aunque la estequiometría exacta dependerá de la composición del carburante. Hablando en términos generales podemos decir que para una gasolina constituida puramente por hidrocarburos, si la relación aire-carburante es menor, de 7:1, la mezcla será demasiado rica para hacer combustión, y si es más de 20:1 no podrá hacerlo. Volviendo al calor de combustión, en el caso de los automóviles el poder calorífico neto es el que debe emplearse dado que el agua es emitida en forma de vapor. La máquina no puede utilizar la energía adicional disponible cuando el vapor se condensa nuevamente en agua líquida. El poder calorífico es entonces la máxima energía que puede obtenerse del combustible cuando se le quema, pero tomen aliento y asimilen el siguiente dato: en un automóvil moderno que emplea bujías para la ignición de la gasolina, la eficiencia mecánica fluctúa entre 20 y 40%, el resto se pierde en forma de calor.

Los motores Diesel tienen mayor eficiencia en un amplio rango de condiciones de operación. En el valle de México, la quema de combustibles en motores de combustión interna es todavía menos eficiente debido a la baja presión atmosférica y la deficiencia en la concentración de oxígeno en el aire. Recuérdese que el aire está compuesto por 78% de nitrógeno, 21 % de oxígeno y 1 % de otros gases. En sitios elevados el aire contiene menos oxígeno por unidad de volumen que a nivel del mar por su menor densidad al ser más baja la presión atmosférica.

Cuando la gasolina se mezcla con el oxígeno se producen reacciones aún antes de que la mezcla llegue a la cámara de combustión y persisten cuando se ha llevado a cabo y el frente de la llama avanza. Lógicamente esto determinará que el carburante se queme "normalmente" o dé pie a combustiones "anormales" como el cascabeleo o la preignición. La combustión normal ocurre cuando el frente de la llama se mueve suavemente pero en cierta manera lo hace de forma irregular al cruzar la cámara de combustión una vez encendida por la chispa.

El movimiento irregular se debe a la turbulencia y a la falta de mezcla perfecta. Aun cuando la combustión se lleve a cabo normalmente, todas las máquinas tienden a mostrar variaciones en la presión máxima que puede alcanzar el cilindro y la velocidad de aumento de dicha presión de un ciclo a otro, dispersión que ocurre a pesar de los controles estrictos que se tienen durante las condiciones de movimiento. Se cree que lo anterior se debe a variaciones en la turbulencia durante los ciclos que influyen sobre la velocidad de la llama en la cámara de combustión. Si estas dispersiones se minimizan será posible aumentar la eficiencia del uso del combustible.

EL CASCABELEO DE LOS AUTOS

El cascabeleo o golpeteo es una de las formas más importantes de la combustión anormal y determina en cierto grado la eficiencia térmica que se puede obtener de un motor. Entre mayor es la relación de compresión, mejor la eficiencia térmica, pero aumenta también la tendencia al cascabeleo, razón por la cual se requiere de un carburante de un octano apropiado. Al retardarse el tiempo de ignición, la tendencia del cascabeleo es a disminuir (y viceversa) pero más allá de cierto límite la potencia del automóvil se afecta notablemente. El cascabeleo continúa siendo uno de los aspectos más importantes que se toman en cuenta para el diseño de los autos y poder escoger la gasolina apropiada, pero muchos fenómenos son aún entendidos parcialmente.

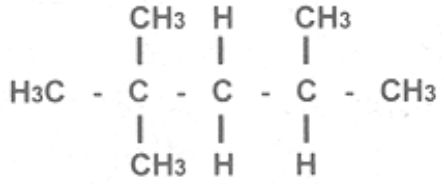
LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA GASOLINA

Veamos algunas de las características que se exige a una gasolina a fin de satisfacer las necesidades de millones de automóviles de cientos de marcas, modelos y años.

El índice de anticascabeleo. Antes de 1929, los carburantes se clasificaban en una máquina monocilíndrica, en la que el cociente de compresión podía variarse entre 2.7:1 hasta 8:1. Cada carburante se experimentaba empleando diferentes relaciones aire/combustible y tiempos de ignición variados, buscándose determinar el máximo de potencia y la relación de compresión más elevada. El valor obtenido se llamaba algo así como "cociente de compresión útil" que se refería al valor obtenido con el tolueno.

La gasolina se clasifica en primera instancia de acuerdo con el índice de anticascabeleo, que es una medida del octano. El cascabeleo (golpeteo) se origina por la dirección opuesta de dos frentes de llama: el debido a la explosión anticipada del combustible por encontrarse a elevada temperatura y el que produce la bujía. Como resultado de la dirección opuesta de ambos frentes se producen las vibraciones.

La medida de habilidad de un combustible para resistir la autoignición bajo un incremento de presión es el octano. La eficiencia de un automóvil encendido por una chispa se relaciona con la relación de compresión. Cualquier "detonación" causada por el carburante destruirá rápidamente los elementos mecánicos del motor. Desde 1912 los automóviles cuya ignición del combustible se inicia mediante la chispa de una bujía siempre se han visto limitados por los "cascabeleos" indeseables, es este sonido una descripción justa cuando el automóvil emplea gasolina de bajo octano. Thomas Midgley descubrió que las detonaciones se debían al aumento brusco de la presión una vez que se llevaba a cabo la ignición. En 1926 Graham Edgar sugirió que dos hidrocarburos que podían producirse en cantidad suficiente y de alta pureza fueran utilizados para desarrollar una escala, que en aquel tiempo iba de 0 a 100. Los primeros resultados se publicaron en 1929 y la industria sigue usando este método y los mismos patrones para las comparaciones. Dos parafinas de propiedades físicas similares fueron escogidas, una es el heptano normal, es decir el hidrocarburo lineal de siete átomos de carbono con sus correspondientes hidrógenos que, además, provoca muchas detonaciones. El cien de la escala es el llamado isooctano que químicamente hablando tiene el solemne nombre de 2,4,4, trimetil-pentano, es decir, un hidrocarburo de ocho carbones ramificado y cuya fórmula ilustramos a continuación y que resultaba ser una sustancia de muy baja resistencia al cascabeleo:



ISOOCTANO

Fórmula del isooctano

El número de octano de un carburante RON o MON, iniciales de *Research Octane Number* (número de octano de investigación), y *Motor Octane Number* (número de octano de motor), es el porcentaje en volumen de isooctano que está mezclado con el heptano lineal y que muestra las mismas propiedades antidetonantes que un carburante de prueba medidas en la máquina bajo las condiciones controladas.

En los años treinta se observó que no era posible correlacionar los resultados que se obtenían en el laboratorio con los del automóvil en la carretera o los que resultaban del manejo en la ciudad en donde las condiciones varían mucho. En general el RON, *grosso modo*, correlaciona la habilidad antidetonante del motor conducido a baja velocidad en un coche de poco peso debido a la carga que transporta. Si el RON es muy bajo, se darán cascabeleos y detonaciones al apagar el motor. Mientras que el MON relaciona la capacidad antidetonante del auto cuando está sujeto a las altas velocidades y en condiciones severas de manejo, como al subir por caminos empinados o adelantar a un coche en donde se requiere rápidamente de potencia. Entre los años treinta y sesenta predominó el método RON por ser el más cercano al octano necesario para el tipo de vehículos y carreteras disponibles. Una de las propiedades de una gasolina actual se especifica por el "índice de anticascabeleo" que se extrae de la siguiente fórmula:

Índice anticascabeleo=1/2 (RON+MON)

El RON es de ocho a diez números mayor que el MON, así la gasolina de 87 octanos tiene un MON de 82 y un RON de 92. Cada automóvil está construido para trabajar a un cierto número de octano, número que se ve afectado por factores de diseño y condiciones propias del uso, veamos:

Algunos factores de diseño/operación	*Factores externos*
Relación decompresión	Presión barométrica/ altitud
Tiempo de ignición	Temperatura
Relación aire/ carburante	Humedad
Temperatura de combustión	Depósitos en la cámara de combustión
Diseño de la cámara de combustión	
Recirculación de gases de escape	

2) Sensibilidad. El valor resultante de restar el RON del MON se llama *sensibilidad*. Para dos carburantes del mismo RON, una gasolina con mayor sensibilidad tendrá un MON menor. Lo que representa este valor es la capacidad que tiene la gasolina para soportar cambios en la severidad de las condiciones de operación de la máquina en términos de su capacidad antidetonante. Esto lo ilustramos para su mejor comprensión en la figura 23 en donde se muestra el número de octano en función de la severidad a la que se somete la máquina. Como se observa, describimos el comportamiento de tres carburantes, el A que tiene un alto RON y baja sensibilidad, el B con un RON de 96 pero alta sensibilidad y el C con bajo RON de 84 pero muy baja sensibilidad. Se puede observar que si la máquina funciona a la severidad marcada con X, el carburante B funciona mejor que el A si bien tiene menores RON y MON. De manera semejante, si el vehículo opera en la severidad marcada B, el carburante C es mejor que el B si bien tiene, como en el otro caso, menor RON y MON. Por supuesto que en los niveles de severidad que ocurren en la mayoría de los vehículos, el carburante A es mejor que el B y éste mejor que el C.

La estructura química de los hidrocarburos tiene gran influencia en la calidad del octano. En la figura 24 podemos apreciar más claramente este efecto. La introducción de una doble ligadura en un hidrocarburo de cadena lineal, para generar una olefina, tiene un efecto importante ya que incrementa el RON si bien el MON no lo hace tanto (compárese en dicha figura los valores del pentano lineal y del 1-penteno). Como sabemos, los procesos de desintegración catalítica producen muchos compuestos olefínicos, por lo tanto el proceso genera productos de alta sensibilidad. De manera similar, los compuestos ramificados tienen mayor calidad de octano respecto a los lineales, datos que se pueden comparar entre el hexano lineal con el 2 metil pentano y el 2,2 dimetilbutano, todos tienen el mismo número de carbones y de átomos de hidrógeno, pero tanto el RON como el MON aumentan conforme se incrementa el grado de ramificación, siendo la sensibilidad de todos ellos muy baja. Como se ve en la figura, los compuestos cíclicos saturados, los naftenos como el ciclohexano, pueden tener mayor nivel de octano que el compuesto lineal, en este caso el hexano, pero la sensibilidad es intermedia. Los compuestos aromáticos como el benceno tienen elevados valores de octano pero una relativa alta sensibilidad.

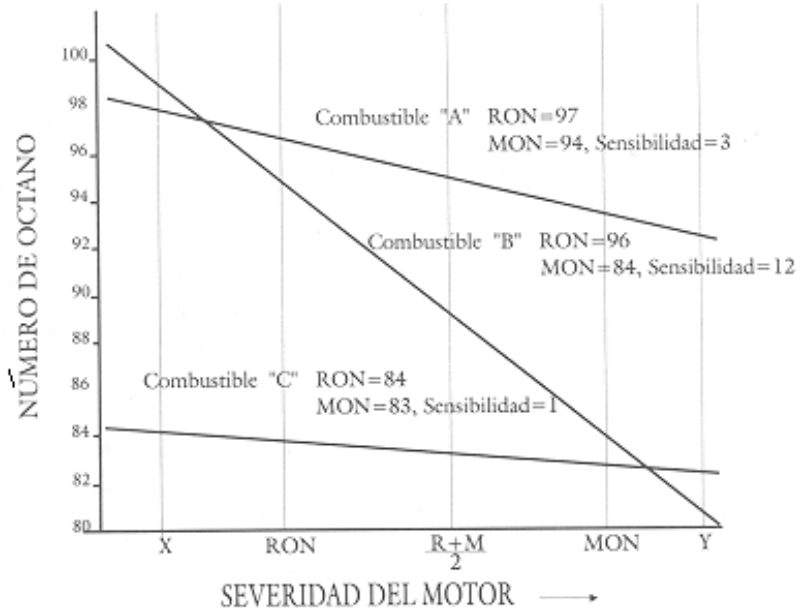


Figura 23. Calidad de octano en función de la severidad de la máquina.

Con estos valores podemos relacionar los procesos de transformación de hidrocarburos con las sensibilidades obtenidas de ellos, comenzando por la que proviene directamente del crudo, veamos:

tipo de corte de gasolina	RON + MON/2
gasolina atmosférica	70
gasolina catalítica	86.2
producto de reformación de naftas	89.9
producto de alquilación	92.5

En la refinería se cuenta con diversas corrientes para hacer las mezclas apropiadas y dar las especificaciones de octanaje. Los números de octano de mezclado son reales, ajustados para ganancias adicionales en el mezclado y se pueden ponderar linealmente. Y he aquí un ejemplo en el que utilizamos los datos anteriores. Imagine que se desea hacer gasolina de 87 octanos y llegan 5 millones de barriles por día de gasolina atmosférica, 17 de catalítica, 3 de alquilado y nos preguntan: ¿cuánto le añadimos de gasolina de reformación? Simple:

gasolina total de 87 octanos = 5(70) + 17(86.2) + X(89.9) + 3(92.5)

Si resolvemos la ecuación veremos que necesitaremos 28.3 millones de barriles por día.

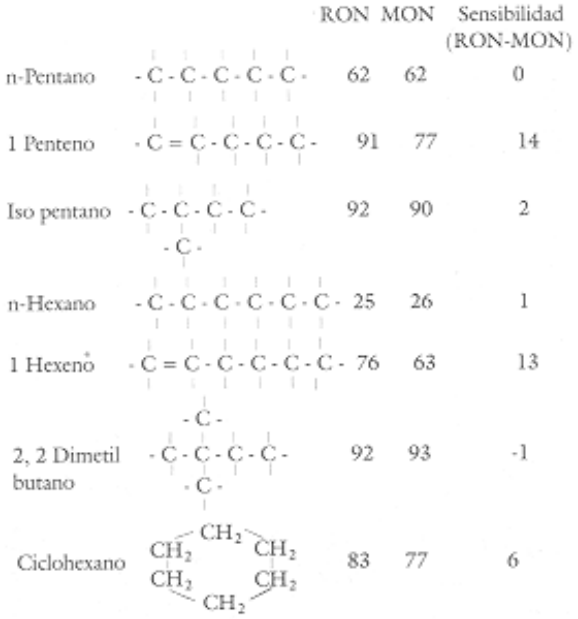


Figura 24. La estructura química influencia la calidad del octano.

Y a fin de cuentas, ¿cómo se miden los octanos?

La determinación del número de octano se realiza en una máquina que posee un solo cilindro y la relación de compresión se puede variar. El pistón se encuentra en la parte superior introduciéndose en el cilindro. Durante la carrera descendente se añade el combustible, permaneciendo abierta la válvula de admisión y cerrada la de escape. La razón de compresión representa al cociente de los volúmenes máximo y mínimo que ocupa el aire en el cilindro. Para evaluar un combustible se ajusta la razón de compresión de manera que el número de golpeteos, señal que es amplificada y medida en una escala de 0 a 100, sea de un valor aproximado de 50. Se preparan mezclas variables de n-heptano/isooctano. La válvula de admisión se cierra y al elevarse el pistón genera la compresión de la mezcla. En el extremo de esta carrera, una chispa inflama la mezcla. El pistón es empujado hacia abajo al expandirse los gases resultantes de la combustión. Ésta es la carrera de trabajo que al terminar abre la válvula de escape. La presión dentro del cilindro disminuye y al levantarse durante su carrera de escape, obliga a salir a los gases que quedan. Con los valores obtenidos se realiza la prueba con la muestra en estudio y su número de octano en función del total de golpeteos se obtiene de una gráfica de interpolación.

Desperdicio de octanos

Las necesidades de octano de una marca y hasta de un modelo de auto en particular reaccionan en forma diferente a los octanos necesarios para estar exentos de cascabeleos y detonaciones indeseables. Tanto los refinadores como los productores de automóviles deben estar en permanente comunicación y experimentación conjunta para conocer cuáles son las necesidades de octanaje de los vehículos, tanto en condiciones normales de manejo como las malas. Nada se gana si se producen autos que requieren un alto octanaje que no está en el mercado. Un automóvil nuevo debe experimentarse por lo menos con diez muestras diferentes de gasolina de octano variable. Para estimar las necesidades de octano de un auto nuevo las pruebas se realizan entre varios países, empleándose un carburante de referencia al cual se le incrementa el número de RON a partir del valor más bajo disponible en el mercado, por ejemplo de 80 hasta 100 octanos. Muchos autos modernos están equipados con un sensor al golpeteo, generalmente colocado en la cabeza del cilindro y al detectar frecuencias de sonido que están en el rango del golpeteo, activan un mecanismo por el cual se reduce el requerimento de octano del vehículo. Se preguntará el lector, ¿cómo se puede reducir esta necesidad de octanaje? Pues retardando el tiempo de ignición y como el refinamiento de algunos autos es cada día mayor se podrá obtener mayor rendimiento del octanaje que se recibe. Una creencia popular dice que con un mayor octanaje obtengo un coche que funciona mejor: ¡falso! Es necesario añadir que una gasolina de mayor octanaje no mejora nada. Otra, es que con mayor octanaje se obtiene ganancia en la economía de combustible (más kilómetros por litro de gasolina): ¡falso!, la economía la determinan otras variables como la energía que provee el combustible. Hay que notar que dos gasolinas de idéntico octanaje pueden tener contenidos energéticos diferentes debido a que su composición es diferente.

Los aditivos del octanaje

Desde el invento del automóvil, uno de los problemas principales que enfrentaron los fabricantes fue el cascabeleo. Este problema se centró en buscar aditivos que pudieran añadirse a la gasolina o la querosina y previnierán la destrucción mecánica del auto. A principios de siglo las baterías de la investigación se centraron en resolver el problema de los autos, si bien se necesitaba también una gasolina de alto octanaje urgentemente una vez que los estadunidenses entraron en la primera Guerra Mundial. Todo fue evaluado, incluso la mantequilla derretida. Originalmente, el yodo fue el mejor antidetonante disponible, pero desde el punto de vista operativo no era práctica su adición y por lo tanto se dejó en el olvido. En 1919 la anilina mostró mayores propiedades antidetonantes y ya era componente fundamental en la industria textil. La anilina se extrae del alquitrán de hulla pero se fabrica haciendo reaccionar el benceno con ácido nítrico. Thomas Midgley Jr., quien descubrió la causa que producía las detonaciones en los motores, encabezó un grupo de científicos que en 1922 descubrieron el principal componente para aumentar el octanaje de la gasolina y evitar el cascabeleo. Midgley encontró que el platino, la plata y el plomo evitaban las reacciones que generaban el cascabeleo. Entre una serie de compuestos halló el óptimo: el tetraetilo de plomo (TEL), sustancia que tiene una parte orgánica, cuatro grupos etilo y una inorgánica, el plomo. El tetraetilo de plomo al quemarse deja una capa de plomo metálico que es necesario eliminar, pues de acumularse ocluiría el escape. Se desarrollaron compuestos orgánicos que en su molécula contenían grupos cloro, como el dicloro-etileno. Los átomos de cloro reaccionan con el plomo formando un compuesto volátil que escapa con los gases de escape. El TEL cumplía además con otros requisitos: es soluble en la gasolina, se vaporiza con ésta y se descompone a las temperaturas de operación dentro del cilindro produciendo átomos de plomo que se adhieren formando plomo y oxígeno con lo cual hacen más lentas las reacciones que generan el cascabeleo. La cantidad que se añade de estos compuestos está en función del contenido de plomo de la gasolina. El TEL se convirtió rápidamente en el método más efectivo de elevar el octanaje de la gasolina; sin embargo, desde un principio hubo voces de eminentes científicos que hicieron campaña contra su uso aduciendo su toxicidad y la peligrosidad en su manufactura que causó varios accidentes en las fábricas donde se producía. En 1925 el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos inició una campaña de investigación para saber si el uso del aditivo era nocivo. Durante la investigación se suspendió la adición del tetraetilo pero, al no encontrarse aparentemente nada nocivo, se reinició en 1926 bajo duras protestas de la prensa.

El TEL ha sido uno de los primeros componentes cuya concentración se ha reducido y en muchos casos se ha eliminado de la gasolina. El TEL aumentaba notablemente la eficiencia de las máquinas y disminuía el precio de la gasolina. Veamos un par de ejemplos de su influencia sobre el octanaje (expresado en RON), el primero para una corriente proveniente de la reformación de nafta y el segundo la que tiene sobre una gasolina extraída con el crudo.

Cantidad de TEL en productos de la gasolina natural

gramos por litro	*reformación de nafta*	
0	96	72
0.2	98	79
0.3	100	85
0.7	102.5	89.5
0.8	102.75	90

De los datos se puede llegar a la conclusión, primero de que el mayor beneficio se obtiene con las corrientes de refinería de bajo índice de octano, pero en segundo término se llega a un punto en el cual la adición de TEL ya no lo provoca. Esto es una demostración del concepto de sensibilidad de que hablamos anteriormente.

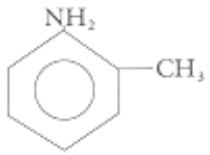
También se puede apreciar que por ejemplo la adición de 0.7g/1 de TEL da un RON de 102.5, es decir que es mayor al que provee el isooctano puro al que por definición le hemos dado un valor de 100. Una consideración importante que debemos anotar es que los automóviles anteriores a 1971, así como ciertos equipos de agricultura y marinos no tienen los asientos de las válvulas endurecidos. En estos vehículos el contacto metálico entre la válvula y el asiento se previene creando una capa protectora de óxido de plomo como ya se mencionó. Los usuarios de estos vehículos deben buscar aditivos que sustituyan al plomo si no quieren tener problemas con su máquina.

¿Qué hacer con la gasolina sin plomo? Es claro que al irse eliminando el plomo de la gasolina debido a su

toxicidad, el refinador requiere de mayor energía para obtener el mismo volumen de gasolina con la misma calidad de octanaje. Si bien mantener un alto índice de octanaje permite a los fabricantes de autos emplear altas relaciones de compresión y por ende obtener mayor eficiencia, lo anterior no tiene sentido si en la refinería existen pérdidas. El costo de mejorar el octanaje tiene que ser absorbido por la refinadora o ser pagado por el usuario. Muchos estudios se han realizado en los países donde todavía se añade TEL para mejorar la economía del vehículo al incrementar la relación de compresión con la cantidad de petróleo crudo que se consume para producir un volumen dado de gasolina con diferentes calidades de octanaje y niveles de plomo. La combinación de estos factores arrojan que 0.4 gramos por litro de TEL son suficientes para una gasolina de RON 96, 0.15g/1 para un RON de 95.5 y por último para una gasolina sin plomo, el óptimo era de 94.5 de RON.

¿Qué otros aditivos para octano existen? Cuando los científicos llegaron a la conclusión de que el TEL era dañino para la salud, se investigaron otros compuestos organometálicos que aumentaran el octano. El más famoso es el MMT, siglas del metilciclopentadienil tricarbonil manganeso, desarrollado entre 1953 y 1958; compuesto que tiene una parte orgánica y otra inorgánica, el manganeso. Ha sido empleado en varios países del mundo e inicialmente en mezcla con el plomo. Su uso tiene dos funciones: como antidetonante y para aumentar el octanaje. Sólo se puede emplear en bajas concentraciones (0.016 gramos de manganeso por litro de gasolina) debido a que, supuestamente, el carburante presenta problemas de estabilidad, se dice que crea depósitos en la máquina y su respuesta al incremento de concentración llega a un límite. Por otra parte, el MMT muestra el efecto de aumentar el octanaje en presencia de plomo en muchos carburantes, particularmente cuando son parafínicos. Otros aditivos se fabrican a base de hierro y níquel asociados con una molécula orgánica, pero su uso ha sido limitado. El de hierro se empleó por 1930, y más recientemente en concentraciones mucho más bajas, del orden de 30 partes por millón, pero persisten los problemas de daños en los autos aún no resueltos.

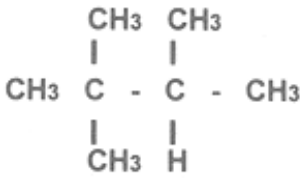
Los aditivos orgánicos. Muchas de las características indeseables de los aditivos de octanaje las genera la tendencia a dejar depósitos en la máquina después de la combustión. Por el contrario, los aditivos orgánicos no dejan cenizas y siempre se han considerado de interés para la industria; de hecho los primeros que se emplearon fueron las aminas aromáticas. Una de las más empleadas es la n-metilanilina, cuya fórmula mostramos en la página siguiente. El 1 % en volumen de esta molécula orgánica produce una actividad similar a la de 0.1 gramos de plomo por litro de gasolina, lo que significa que su relación costo/eficiencia es menor que la del plomo. A pesar de que muchos de estos compuestos se han descartado, existen otros que no dejan cenizas y que han probado ser muy valiosos en términos de su capacidad para disminuir el cascabeleo. Son los compuestos oxigenados, los alcoholes y éteres, de los que se hablará más adelante.



Fórmula de la n-metilanilina

Si quieres octano, ve al ropero de la abuelita. Durante la segunda Guerra Mundial se dijo que las bolas de naftalina aumentaban el octanaje, cuando el naftaleno se usó como ingrediente activo. Éste sí incrementa el octanaje cuando se añaden a la gasolina cantidades importantes de él, pero tiene efectos adversos. El primero es su punto de fusión (80°C) que hace que cuando el carburante se evapora, el naftaleno se precipita bloqueando los filtros. Un problema adicional es que las bolitas modernas no se elaboran de naftaleno sino de una variedad del benceno que contiene cloro, cuya combustión puede generar productos muy nocivos.

Otras historias del octanaje. Durante la segunda Guerra Mundial, aumentar la potencia de los aviones era materia de permanente estudio. Se había medido que un avión DC-3 al usar una gasolina de octano 100 en lugar de una de 87, incrementaba 12% su velocidad de crucero, 40% la de elevación, podía volar 20% más alto y con 40% más de carga. Hemos dicho que entre más ramificada es la cadena de hidrocarburo, mayor es el octanaje. En 1926 los laboratorios de la General Motors demostraron que el triptano, tenía un alto índice de octanaje. En 1943 se construyó una planta química para su producción y el hidrocarburo se evaluó encontrándose que cuando se le añadía tetraetilo de plomo, la sensibilidad era muy elevada y la potencia de las máquinas se multiplicaba por cuatro mientras que había 25% de mejora en la economía de combustible al compararse al isooctano. ¿Por qué se dejó de producir? Dos razones, su síntesis era muy cara y pronto aparecieron los aviones a turbina que hubieran requerido cambios considerables de diseño para que funcionaran.



TRIPTANO

Fórmula del triptano

¿ Y los aviones? Durante la segunda Guerra se creó una enorme demanda de gasolina para los aviones de combate que necesitaban 100 índices de octano para alcanzar la potencia necesaria. Esto se resolvió empleando gasolina proveniente del proceso de alquilación y añadiendo altas concentraciones de TEL. Para esta gasolina se emplean los mismos métodos analíticos utilizados en los automóviles salvo que el número de RON obtenido no corresponde exactamente al de los autos. Los números van de 80 a 115 empleando tablas de equivalencias. Entre 80 y 100 los valores de *número de aviación* son generalmente uno o dos números de octano diferente al de los autos, pero de 100 en adelante si hay cambios importantes en la numeración que refleja ahora lo que se llama *número de actuación* que se determina en una versión especial de máquina en la que se mantiene constante la relación de compresión.

• *Volatilidad de la gasolina*. La capacidad de vaporización de la gasolina se llama volatilidad. Este parámetro es muy importante ya que pueden darse dos tipos de fenómenos dependiendo si la volatilidad es baja o muy alta. Si la gasolina no es lo suficientemente volátil (algo común en los años sesenta), el encendido del motor se dificulta, la temperatura de operación del motor es baja lo que trae como consecuencia que la distribución del carburante en el cilindro no sea homogénea y se incrementen los depósitos nocivos por todos lados. Si por el contrario es muy volátil (típico de los años ochenta) se vaporiza muy rápidamente y ebulle en las bombas que la transportan al carburador, y dentro de él las temperaturas son elevadas. Tanto vapor formado trae como consecuencia que se pierda poder, el coche se "ahogue" y de plano se pare, sin mencionar que el bolsillo del usuario se ve afectado por las pérdidas debidas a la evaporación. En los países donde las condiciones atmosféricas difieren mucho en el curso del año, la gasolina se formula de manera que en el invierno la velocidad de vaporización sea rápida y lenta en el verano. Existen tres parámetros para establecer los límites de volatilidad: relación vapor-líquido, presión de vapor y destilación. La relación vapor-líquido es una prueba que determina la temperatura requerida para crear una relación vapor-líquido de 20. Los carburantes más volátiles requieren de menor temperatura para llegar a este cociente, mientras que los carburantes de componentes más pesados requieren, obviamente, mayor temperatura. La prueba de presión de vapor se puede llevar a cabo con varios equipos de laboratorio, uno de los métodos más comunes es el *método Reid*. El equipo en el que se mide este parámetro, que dependerá de la temperatura a la cual se encuentra la gasolina, comprende un recipiente en el que se coloca la muestra, una cámara de aire de más o menos cuatro veces el volumen del recipiente, un baño a temperatura constante y un medidor de presión o manómetro. Se llena la cámara con la muestra y se conecta a la cámara de aire. El conjunto se agita periódicamente y el manómetro es colocado en la parte superior de la cámara de aire dando la lectura de una presión que se estabiliza cuando el equilibrio se alcanza, figura 25.

El valor que se obtiene es el de la tensión del vapor Reid de la gasolina que se expone en gramos por centímetro cuadrado o libras por pulgada cuadrada. Así una gasolina de 10 PVR tiene una presión de vapor Reid de 10 libras/pulgada cuadrada o sea 703 g/cm². La prueba de presión de vapor es muy importante ya que de manera indirecta indica el contenido de productos muy volátiles que condicionan la seguridad en el transporte, pérdidas en almacenamiento y volatilidad de la gasolina. Veamos un ejemplo que se lleva a cabo en una refinería. Recordemos el proceso de alquilación en el cual reaccionan las olefinas con isoparafinas, con lo cual se hace crecer y ramificar la cadena de hidrocarburos. Generalmente el tipo de producto que se obtiene está en el rango de las gasolinas y contribuye en forma importante a su volumen. En la figura 26 se analizan valores de octano obtenidos mediante el proceso y la presión de vapor Reid generada.

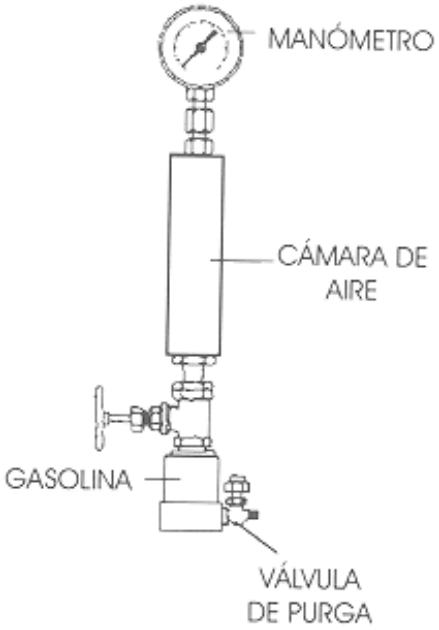


Figura 25. Aparato para medir la presión de vapor.

Aunque muchos refinadores consideran la alquilación como un proceso generador de octano, es en realidad un proceso que reduce la presión de vapor. Contrario al octano, la presión de vapor Reid no es una función lineal. Debe usarse un índice de mezclado para corregir la no linearidad: la presión de vapor de mezclado (PVM) equivale a la presión de vapor elevada a la potencia 1.25, dato que proviene de la experimentación. Hay que tomar en consideración que el control final de la presión de vapor se logra principalmente al reducir la concentración de butanos y pentanos que se deja en la gasolina. Para calcular la cantidad de n-butano que necesita para dar una presión de vapor Reid de 11.5:

EL OCTANAJE Y LA PRESIÓN DEL VAPOR

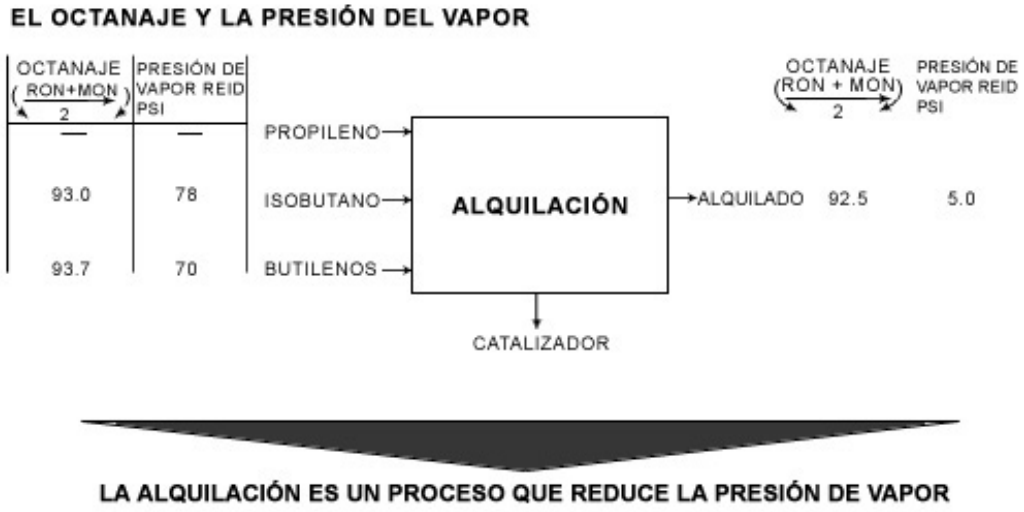


Figura 26. Objetivo del proceso de alquilación.

Producto	*Volumen (miles de barriles por día)*	*Presión de vapor Reid*	*Presión de vapor de mezclado*
n-butano	X	51.6	138.3
gasolina atmosférica	5.0	11.1	20.3
reformado	28.3	2.8	3.62
alquilado	3.0	4.6	6.74
gasolina catalítica	<17.0	4.4	6.37

La fórmula mágica nos dice que el volumen de la mezcla multiplicado por el PVM de la misma es igual al volumen en barriles multiplicado por el PVM

(48.3 + X) (PVM) = 138.3X + 20.3 (5) + 3.62 (28.3) + 3 (6.74) + 17(3.67) X= 5.9 millones de barriles diarios.

• *La curva de destilación*. La prueba de destilación se emplea para determinar la volatilidad de la gasolina en todo su rango de ebullición. La gasolina está compuesta de diferentes ingredientes que se evaporan a diferentes temperaturas. Los más volátiles se evaporarán a temperaturas menores. Hay que recordar que la destilación es un proceso muy viejo del cual el hombre sigue sacando provecho. El uso de ciertos objetos es permanente y, conceptualmente, siguen siendo semejantes a los que usaban los alquimistas. Especial importancia tenía para ellos el *huevo filosofal*, recipiente de vidrio de forma ovalada en el cual se verificaban las transformaciones más interesantes, el horno que suministraba el calor necesario y los alambiques. Su forma debía ser esférica y ovoide para imitar el "cosmos esférico" cuya influencia astral contribuiría al éxito de la *Obra.* El horno o atanor (del árabe *al-tannur*) era uno especial de calcinación, con tres niveles: el horno propiamente dicho, una cámara calórica con mirilla, el huevo filosofal iba en un lecho de cenizas calientes que lo cubría, como un nido. El nivel superior remataba en cúpula reverberante que concentraba el calor. María la Judía, alquimista alejandrina, sustituyó la ceniza del atanor por una cazoleta con agua caliente, de ahí procede calentar al "baño María". El proceso alquímico de *cohobación* (destilar, condensar y volver a destilar, reiteradamente) obligó a modificar los primitivos alambiques, que se hicieron voluminosos y con formas extrañas.

Conforme la gasolina se calienta, la temperatura a la cual varias fracciones se evaporan se calculan pesándolas. Existen especificaciones que definen los porcentajes de carburante que deben evaporarse. Los límites de destilación incluyen temperaturas máximas a las cuales se debe evaporar el 10% (50-70°C), 50% (110-120°C), 90% (185-190°C) y el punto máximo, que no debe exceder de 225 grados centígrados. El 10% de la gasolina evaporada debe ser suficiente para proveer un arranque rápido del motor; la que se evapora al 50% debe ser lo suficientemente baja para que no produzca problemas de calentamiento del motor en climas fríos pero no lo suficiente como para producir el calentamiento de la máquina. Esta porción de la gasolina afecta la economía en viajes cortos. Las temperaturas de 90% y final de evaporación deben ser bajas para minimizar los golpeteos y la formación de depósitos en la cámara de combustión. Nótese que dos gasolinas con los mismos puntos de evaporación a 10, 50 y 90% pueden variar en la economía de combustible debido a que existan diferencias de evaporación en otros puntos de la curva de destilación. En México, la gasolina con plomo tiene valores de 10, 50 y 90% en grados centígrados 70° 77°-121° y 190° con una temperatura final de ebullición de 225°C.

El aparato para realizar el experimento de destilación está compuesto de un balón de destilación que se calienta y destila a una velocidad determinada. Los vapores formados son condensados por medio de un tubo de cobre cubierto por una mezcla de agua y hielo, y son recolectados en una probeta graduada. El operador anota la temperatura de aparición de la primera gota de condensado a la salida del tubo y ese es el punto inicial de la destilación. Luego la temperatura se va elevando a medida que se destila el 5, 10, 20, 90, 95% del producto. Al final la temperatura llega a un máximo y luego disminuye por la alteración térmica de las últimas trazas del líquido en el balón. El máximo de la temperatura es el punto final de la destilación. En la figura 27 se esquematiza el aparato y el tipo de curva de destilación que se genera, la temperatura está expresada en grados centígrados y el porcentaje recolectado en peso.

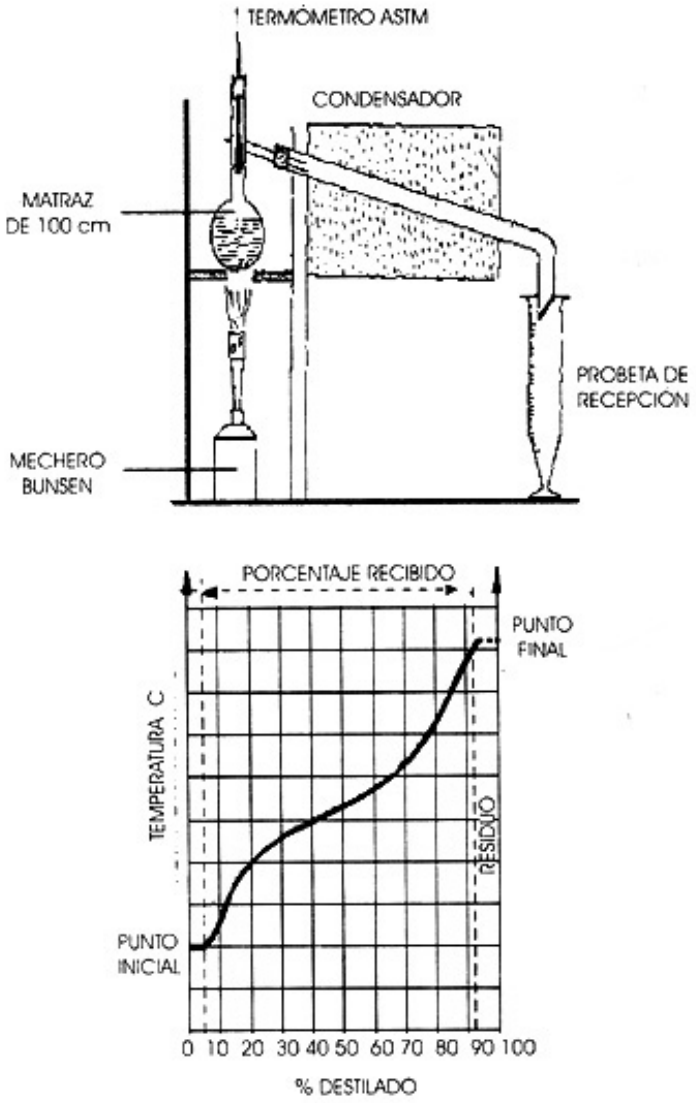


Figura 27. Aparato para realizar la destilación del petróleo y curva generada.

• *Contenido máximo de plomo*. Este contenido máximo permisible es variable en cada país, el promedio que generalmente se ha empleado para la gasolina con plomo es de 0.03 kg/m³. En los países donde ya no se añade plomo a la gasolina, se observan en la práctica valores mucho menores a 0.0026 kg/cm³.

• *Contenido máximo de azufre*. El contenido excesivo de azufre puede incrementar las emisiones nocivas así como los depósitos en la máquina; también puede generar compuestos ácidos que reducen la eficiencia del aceite lubricante y sus aditivos, con lo cual se disminuye la vida del motor. El azufre afecta gravemente los dispositivos catalíticos que se incorporan a los vehículos para disminuir las emisiones de gases parcialmente oxidados. Los compuestos de azufre se emiten como óxidos de azufre, también sumamente nocivos al medio ambiente. Cuando se deja de introducir azufre, el convertidor catalítico recupera su eficiencia. En la gasolina con plomo en México el nivel de porcentaje de azufre en peso máximo es de 0.15, mientras que en la gasolina sin plomo no debe rebasar 0.05% en peso para la zona metropolitana del país.

• *Propiedades anticorrosivas*. Si la gasolina se pone en contacto con una pequeña tira de cobre, no debe ennegrecerla. Así se demuestra la inexistencia de sustancias corrosivas, sobre todo las que se derivan de los compuestos de azufre. Recuérdese que el azufre al ser quemado genera gases que atacan la máquina y el medio ambiente.

• *Tolerancia al agua*. El valor está dado por la máxima temperatura que causa una separación de fases de la gasolina oxigenada. Los límites varían de acuerdo a la localidad y la época del año. En Alaska cambia de -41°C

en diciembre y enero a 9°C en julio, mientras que en Hawai todo el año alcanza 10 grados.

• *Estabilidad*. Debe tenerse en cuenta que la gasolina puede ser almacenada por mucho tiempo. En consecuencia no debe formar gomas que se precipiten. Hemos dicho que los hidrocarburos no saturados tienden a producir gomas y con más rapidez en presencia de cobre metálico, que actúa como catalizador de la reacción. Por eso a la gasolina se le añaden antioxidantes y pasivadores de metales que los desactivan.

• *Ingredientes adicionales en la gasolina*. Aunado a que es necesario formular gasolina de diferentes tipos dependiendo del tipo de automóvil, otros ingredientes son necesarios para el funcionamiento del carburante de base y, genéricamente, se les llama aditivos. Los primeros fueron los aditivos antidetonantes, que permitieron a la industria automovilística de los años treinta producir máquinas con mayor compresión y ganar en eficiencia. Los antioxidantes fueron introducidos en los años treinta para combatir la tendencia de los productos desintegrados en las refinerías a formar gomas y oxidarse, hecho que tuvo una importancia mayor al introducirse el proceso catalítico de desintegración que genera olefinas. A la gasolina se le añade un paquete de aditivos que incluye:

— *Anti-oxidantes*: las sustancias que inhiben las reacciones de oxidación de los hidrocarburos antes de que se quemen con el oxígeno en la cámara de combustión. En particular hablamos de los hidrocarburos no saturados.

— *Estabilizadores de la gasolina*: sustancias que impiden la formación de gomas y mejoran la estabilidad de la gasolina. Hay que recordar que la gasolina cuenta entre sus componentes a las olefinas, sustancias muy reactivas que gustan de hacerlo con sus congéneres a la temperatura ambiente formando polímeros, es decir grandes cadenas que tienen un aspecto como de goma y que como se comprenderá son nocivas para el motor.

— *Inhibidores de la corrosión*: sustancias que impiden que la gasolina ataque los tanques de depósito de la gasolina.

— *Colorantes*: se añaden en concentraciones muy pequeñas, del orden de 10 partes por millón de gasolina. Se da a la gasolina coloraciones diferentes a fin de diferenciarla y evitar que se nos dé gato por liebre.

— *Anticongelantes*: en los países de temperaturas frías, estos compuestos impiden la formación de hielo.

— *Aditivos para impedir la formación de depósitos en válvulas o bujías*: los depósitos a los que nos referimos los forman gomas o productos de la degradación de la gasolina que se depositan en los sistemas de admisión de combustible y cámara de combustión de los automotores. Estos depósitos interfieren con el proceso normal de combustión y el buen funcionamiento del motor; se comprenderá que la combustión deficiente genera contaminantes. Los aditivos detergentes dispersantes permiten mantener limpios los sistemas de admisión. Los depósitos se generan por la presencia de olefinas y de alcoholes y los fabricantes de gasolina ya los incluyen en forma rutinaria.

— *Aditivos que ayudan a impedir la obstrucción de las válvulas en los autos de mucho uso*: el taponamiento de las válvulas es uno de los problemas mayores en los autos con mucho kilómetraje recorrido. Generalmente se debe a que el auto se somete a altas velocidades y a carga excesiva, lo que hace que la válvula no asiente generando puntos calientes muy elevados y que la máquina sufra daños severos. El mecanismo se tiene identificado: el primero es la formación de óxido de hierro procedente de la cámara de combustión que se adhiere a la cara de la válvula, partículas que actúan como un filoso cuchillo que arranca pedazos del asiento de la válvula. Pueden o no ser adicionados en la fórmula de la gasolina al ser vendida por lo que en las gasolinerías suele haber aditivos de este tipo generalmente a base de compuestos de potasio y sodio.

La pregunta es si comprar o no los productos en venta para resucitar nuestro viejo automóvil, dejar de contaminar, gastar menos gasolina y alcanzar en la autopista velocidades cercanas a la de la luz. Algunos de ellos suelen tener un principio de operación que suene coherente aunque desafortunadamente la relación costo-beneficio no es muy ventajosa sobre todo al calcular el efecto que tendrá el producto a largo plazo. Otros productos son obra de charlatanes. En el caso de los motores diesel, los aditivos tienden a mejorar la fluidez del material, sobre todo en épocas frías, ya que los hidrocarburos son más pesados y tienden a cristalizarse a bajas temperaturas. Además hay aditivos que aumentan la capacidad del diesel para inflamarse.

Los carburantes para autos de carreras

Todo aquel que maneja un automóvil ha soñado ser piloto de autos de carrera. El objetivo primario de una carrera es obtener el máximo de potencia de un vehículo, que puede ser incrementada por el diseño de la máquina, pero la potencia alcanzará su máximo usando un carburante apropiado. Repasemos los factores para escoger el carburante:

• Poder calorífico: entre mayor sea el contenido energético del carburante, mayor será la potencia que rinda el automóvil.

• Estequiometría: entre menor sea la relación estequiométrica aire/carburante (o la relación oxígeno/ carburante si es otro oxidante el que se emplea en lugar del aire), mayor será la cantidad de gasolina que se puede introducir en la cámara de combustión.

• Cociente de productos a reactivos: cuanto mayor sea esta relación, mayor será la presión de combustión en el cilindro y, por tanto, mayor será la potencia liberada por el auto.

A fin de que esto quede claro tomemos como ejemplo el nitrometano, compuesto que al quemarse con el oxígeno o el aire genera la siguiente reacción:

$$4CH_3NO_2 + 3\ O_2 \Rightarrow 4\ CO_2 + 6\ H_2O + 2\ N_2$$

Como se puede observar, siete moles de reactivos generan 12 moles de productos.

• Resistencia al cascabeleo: éste lleva a que la máquina se destruya durante la carrera. Como las condiciones de manejo son severas, el número de octano de motor (MON) es generalmente más importante que el RON como guía general para evitar el cascabeleo y las detonaciones indeseables.

• Los límites de inflamabilidad deberán ser tales que se pueda usar una cantidad elevada de aire para llevar la potencia al máximo.

• Volatilidad: el carburante debe tener un punto de ebullición tal que permita ser transportado en forma líquida pero que se volatilice rápidamente al entrar en la máquina.

Por supuesto no existe un carburante con todas las características deseables y deberá escogerse las que se consideren importantes. Como las características de un carburante varían de una a otra marca, las máquinas deberán ser diseñadas para una gasolina en especial. Un parámetro importante que provee un método de comparación del calor liberado por diferentes gasolinas en una máquina es la *Energía específica* (EE), en inglés *specific energy*. El valor teórico de la EE se calcula dividiendo la capacidad calorífica entre la relación aire/carburante lo que da como resultado la energía del carburante enviada a la cámara de combustión por unidad de masa de aire introducida. Veamos algunas propiedades de tres carburantes para carreras empleados usualmente:

Propiedad	*Nitrometano*	*Metanol*	*Isooctano*
Fórmula	CH_3O_2	CH_3ON	C_8H_{18}
Contenido de oxígeno (%peso)	52.5	49.9	0
EE	2.3	1.06	1.00
Estequiometría aire/ carburante	1.7:1	6.45:1	15.1:1
Capacidad calorífica Mjoules/ kg	11.3	19.9	44.3

De los datos de la tabla se ve que el nitrometano tiene una EE 2.3 mayor que el isooctano y que el metanol es ligeramente mejor que el isooctano ya que, en ambos casos, la relación estequiométrica aire/carburante es mucho menor que la del isooctano a pesar del hecho de que este último tenga el poder calorífico más elevado. También notamos que el metanol es un buen carburante para los autos de carreras, tiene buenas propiedades antidetonantes por lo que se pueden emplear relaciones de compresión de 16:1, se vaporiza fácilmente, es barato y está a la mano. Su principal problema es que su consumo es muy elevado, particularmente si se requiere una máxima potencia, de ahí que sea necesario utilizar un tanque de gran volumen.

¿Y SI NO CONSEGUIMOS CARBURANTES PUROS?

Siempre queda el consuelo de emplear gasolina, al fin de cuentas hay siempre disponibilidad de ella y tiene bajo costo. Su limitación mayor es que relativamente tiene baja EE y tendencia a cascabelear el auto cuando las relaciones de compresión son elevadas y necesarias para obtener el máximo de potencia. En el periodo entre guerras se empleaba la gasolina de bajo octano mezclada con benceno y otros compuestos aromáticos pesados. La General Motors patentó una gasolina de aviación llamada "Hector" que consistía de una mezcla de 80% de ciclohexano y 20% de benceno, excelente por cierto en cuanto a su calidad de octanaje pero no aceptable debido a la toxicidad del benceno. Puede emplearse el tetraetilo de plomo y parafinas muy ramificadas como el isooctano, el triptano de buenas propiedades antidetonantes. Existen otras moléculas cíclicas como el ciclohexano que si bien tiene un bajo índice de octano se mezcla bien con otros componentes presentes y el número de octano resultante es satisfactorio. Para que haga sus mezclas apropiadas en la siguiente tabla le proporcionamos algunos valores de octano para hidrocarburos puros:

Compuesto	*Fórmula*	*RON*	*MON*
Isooctano	C_8H_{18}	100	100
Triptano	C_7H_{16}	112	101
Isodecano	$C_{10}H_{22}$	113	92
Ciclohexano	C_6H_{12}	83	77
Tolueno	C_7H_8	120	109
Xileno	C_8H_{10}	118	115

En resumen, para obtener gasolina para los autos de carrera es necesario emplear corrientes de refinería consistentes en grandes cantidades de productos generados en la alquilación, sumados a corrientes aromáticas provenientes de la reformación catalítica y tratadas con la máxima cantidad de aditivos antídetonantes posible.

LOS CARBURANTES OXIGENADOS

Si los hidrocarburos de una gasolina por sí solos tienen dificultad en quemarse del todo y convertirse en bióxido de carbono y agua, queda emplear carburantes con alto contenido de oxígeno o añadir a la gasolina proporciones importantes de estos carburantes como aditivos. Dos alcoholes son útiles, el metanol y el etanol que pueden ser carburantes alternos para el uso en motores que inicialmente empleaban la gasolina, y presentan dos ventajas generales: que se pueden fabricar a partir de fuentes distribuidas en muchas partes del planeta, lo que no sucede con el petróleo, y son materiales renovables, lo que hace posible emitir menor cantidad de emisiones nocivas a la atmósfera. Su desventaja principal es que su contenido energético es menor al de la gasolina o el diesel. Este inconveniente se puede reducir en cierto grado si se mejora el diseño de los autos. Otro problema es que los alcoholes no son lo suficientemente volátiles para el encendido en frío de autos que utilizan bujías a menos de que se emplee un poco de gasolina.

En lo que se refiere a su empleo en máquinas encendidas por bujías podemos resumir sus cualidades de la siguiente manera: tanto el metanol como el etanol tienen excelentes cualidades de octano, se queman muy limpiamente y se emplean como carburantes en los autos de carreras ya que su octanaje permite operar las máquinas con altos niveles de compresión y su capacidad para quemarse en mezclas ricas con aire, aunado a su alto calor de vaporización, les permite producir más potencia que la que se obtiene con la gasolina.

El *metanol* es incoloro, inodoro y casi sin sabor. Además es el más simple de todos los alcoholes. Probablemente la primera gota la produjo la naturaleza cuando un rayo cayó sobre un árbol que contenía lignina y que había emergido de la sopa prebiótica. La pirólisis de la lignina seguramente generó los primeros grupos metilos que, al combinarse con radicales hidroxilo, generaron el metanol. Se le emplea como materia prima para muchos procesos químicos, como solvente y como aditivo y sustituto de la gasolina. Se le empleó como carburante a principios de siglo hasta que se produjo la gasolina que era más barata. Antes de que aparecieran los métodos sintéticos de obtención, desarrollados en los años veinte, se extraía de la madera como un subproducto del carbón, de ahí que se le conociera como alcohol de madera pero los rendimientos eran muy bajos, una tonelada de madera daba unos 25 litros del alcohol. En la segunda Guerra Mundial los alemanes lo producían sintéticamente para emplearlo en sus aviones, pasado el conflicto volvió a dormir el sueño de los justos hasta que con la crisis petrolera de los años setenta despertó de nuevo el interés por su disponibilidad y bajo costo. El interés volvió a decaer cuando surgieron problemas en el mezclado del metanol y la gasolina. Se informaba que no se mezclaban homogéneamente y los productos se separaban creando dos fases. En el futuro, el metanol puede ser una fuente adicional de carburantes, ahora su fuente será el gas natural. Los precios de obtención actuales son prohibitivos si

se los compara con la gasolina. Otra fuente que puede emplearse es la biomasa, constituida de residuos forestales, de la industria del maíz y los componentes celulósicos de los desechos municipales.

El *etanol* tiene también una añeja historia. El original modelo T de la Ford había sido diseñado para trabajar con él en lugar de la gasolina. Luego se le empleó para aumentar el octano añadiéndolo en concentraciones del orden del 10% en volumen, con lo que se podía alcanzar de dos a tres números de octano suplementarios. En algunos países se emplea como sustituto de la gasolina aunque también es importante materia prima para producir éteres. Algunas de las objeciones que se hacen al etanol es que no es un producto que se genera en las refinerías, de ahí que su transporte hasta ellas a fin de mezclarlo con la gasolina aumenta los costos. Además la mezcla de etanol con los hidrocarburos requiere que los tanques de las refinerías no contengan agua para que no haya problemas en la homogeneidad de la mezcla. ¿Cuál es la ventaja adicional del etanol? Una tendencia mundial a largo plazo será sustituir los hidrocarburos del petróleo por sustancias que se generen a partir de la fotosíntesis. Esto queda claramente expresado en la figura 28.

Resumamos las ventajas de los alcoholes comparadas con la gasolina. Una cosa es evidente: para aprovechar al máximo las propiedades de los alcoholes, las máquinas deben diseñarse específicamente con ese fin. Debido a que los alcoholes tienen menor contenido energético, en el caso del metanol es menos de la mitad que el de la gasolina, la economía volumétrica del carburante será siempre menor que la conseguida con la gasolina. Sin embargo se pueden obtener mejoras en la eficiencia térmica con los alcoholes debido a que presentan las siguientes diferencias en las características de la combustión, cuando se les compara con la gasolina:

• Los alcoholes se queman con una temperatura menor de flama, así, se pierde menos calor por conducción o radiación hacia el sistema de enfriamiento del auto.

• Los alcoholes se queman más rápidamente y generan un mayor volumen de productos de combustión por lo que aumenta la presión en los cilindros.

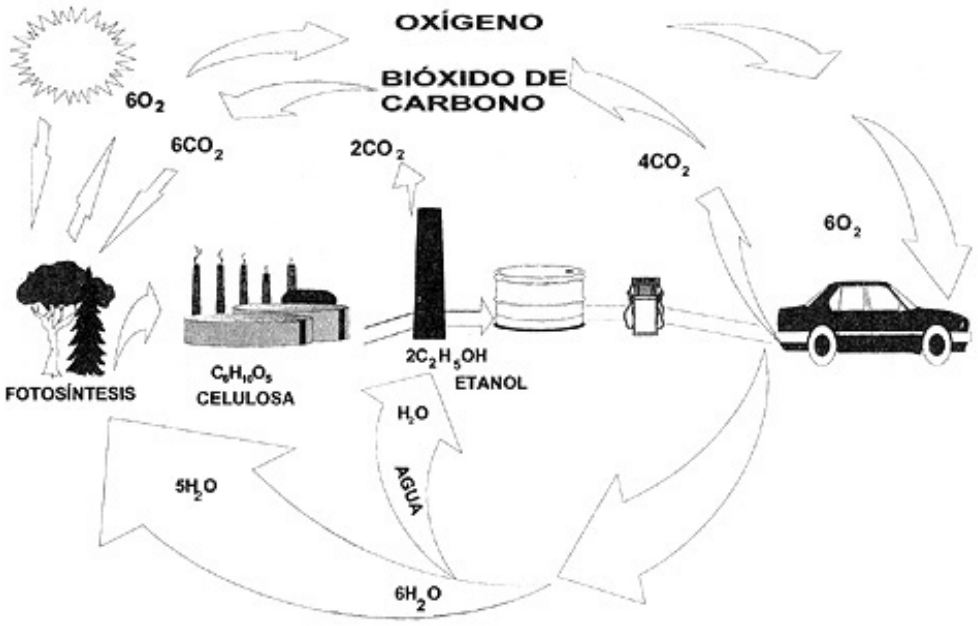


Figura 28. Ciclo del carbono y del etanol.

En la siguiente tabla se hace un sumario de algunas de las propiedades físicas y químicas de los alcoholes cuando se les compara con una gasolina.

Propiedad	*Metanol*	*Etanol*	*Gasolina*
Punto de ebullición	65°C	78	35-210
Calor de Vaporización Mjoules /kg	1.17	0.93	aprox. 0.18
RON	109	109	90-100
MON	89	90	80-90
Contenido de oxígeno (% peso)	50	34.8	0
Relación aire/ carburante	6.45:1	9.0:1	aprox. 14.6:1

EL DIESEL, LA HISTORIA DE UN CENTÉSIMO DE SEGUNDO

El motor Diesel tiene la misma apariencia que el de gasolina. La gran diferencia estriba en que el de diesel no tiene bujías. En los años posteriores a la explotación del petróleo mediante la perforación (1859), el queroseno, empleado en el alumbrado con lámparas, era el producto más valioso que se obtenía. La gasolina se quemaba por inservible, el residuo pesado iba al basurero y el "destilado intermedio" se enviaba a la ciudad. Con el invento del motor diesel, el destilado encontró aplicación. Las necesidades de los primeros motores que emplearon diesel no eran tan específicas como ahora y ha habido necesidad de mejorarlo a fin de que los diseños de las máquinas cumplan con una relación potencia/peso más elevada. Lo primero fue eliminar los carburantes con alta viscosidad y residuos difíciles de quemar. Lo segundo, mejorar la combustión. Los carburantes para máquinas que operaban a baja velocidad y pocas revoluciones por minuto, perdían su utilidad cuando se trataba de construir aparatos que se desplazaran a altas velocidades, a más de 2 000 revoluciones por minuto. La calidad de ignición de un diesel inicialmente se expresaba por el llamado *Índice Diesel* que era una función de la densidad multiplicada por el punto de anilina y dividido entre cien. Fácil, pero, ¿qué es el punto de anilina? Los crudos y sus destilados están constituidos por muchas variedades de hidrocarburos: parafinas, naftenos y aromáticos. Los aromáticos tienden a mantenerse líquidos y no formar sólidos cuando la temperatura disminuye. La anilina es un compuesto químico aromático, y se denomina punto de anilina de un carburante a la temperatura más baja a la cual cantidades iguales de anilina y carburante permanecen en solución. Un carburante con alto contenido de aromáticos tendrá un punto de anilina menor que uno de alto contenido en parafinas. El *Índice Diesel* se ha dejado de usar por su falta de precisión y hoy en día los diesel se caracterizan por el *Índice de cetano.* El cetano es un hidrocarburo parafínico de fórmula $C_{16}H_{34}$. Para juzgar el índice de cetano se usa el que no está ramificado y se le da un valor en la escala de 100, la otra molécula de referencia es el 2,2,4,4,6,8,8, heptametil nonano, que tiene un número de cetano de 15. ¿Asusta al lector la descripción de este último compuesto y no se lo puede imaginar? Regalado, pinte nueve carbones seguidos, numérelos del uno al nueve y en el segundo carbono ponga dos grupos metilo, CH_3 , igual en el carbono cuatro, uno en el seis y dos metilos en el carbono ocho. Decíamos entonces, antes de desviarnos a la nomenclatura química, que el índice de cetano calcula el número de cetano de un diesel a partir de una relación empírica con parámetros de densidad y volatilidad. El número de cetano en sí es una medida de la calidad de ignición de un diesel y está basado en el tiempo de encendido de la máquina. Cuanto mayor es el número de cetano, menor es el tiempo que tarda en encender y por ende mejor la calidad de la ignición.

Hemos dicho que el mecanismo de funcionamiento depende de que el carburante se inflame, lo que se trata precisamente de evitar en los motores de gasolina. Contrario al de gasolina, el aire no se mezcla con el carburante antes de ser inyectado en el cilindro. Sólo se inyecta aire y, conforme el pistón se mueve hacia el tope del primer tiempo de compresión, se va calentando y justamente cuando el pistón llega a su tope el diesel se inyecta al cilindro. Al contacto del aire sobrecalentado, el carburante se quema y causa el movimiento del pistón. Varias fases se suceden cuando el carburante se inyecta en el cilindro. Primero, entra en forma de líquido, se vaporiza al contacto del aire caliente y llega a la temperatura de ignición. La segunda fase se da cuando la combustión ocurre y comienza a inflamar al líquido y al vapor que la rodean. El movimiento comienza a dar fruto y finalmente, conforme el resto del líquido es bombeado al cilindro, también se inflama, manteniendo o incrementando la presión sobre el pistón. Ha pasado una centésima de segundo. En la figura 29 presentamos la demanda esperada de diesel en México como combustible para automotores en miles de barriles diarios, las cifras muestran la evolución del contenido de azufre: en 1991 existía diesel con más de 0.5% de azufre, lo que afortunadamente ha ido disminuyendo con el tiempo y cada vez este carburante contiene cantidades menores de tan nocivo elemento. Actualmente llega a 0.05% en peso.

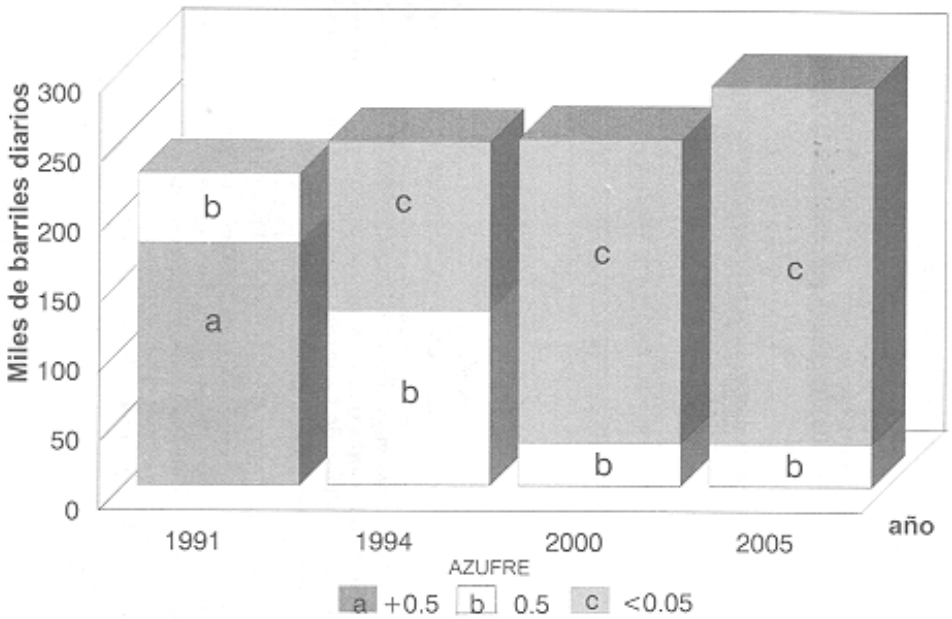


Figura 29. Evolución de la demanda de diesel a) diesel de más de 0.5% en peso de azufre, b) 0.5%, c) 0.05 por ciento.

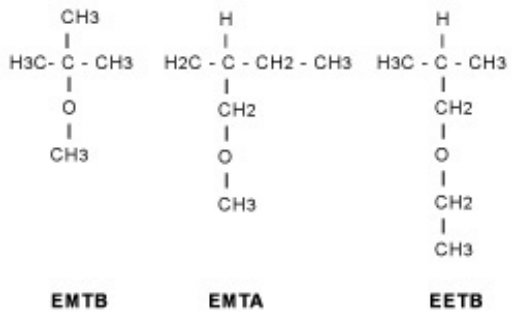
Inicio

III. LOS CARBURANTES ALTERNOS

LAS SUSTANCIAS OXIGENADAS COMO ADITIVOS

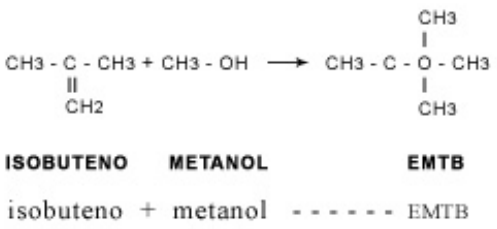
EL USO de aditivos oxigenados en la gasolina, como los alcoholes, comenzó en los años veinte cuando se descubrió su cualidad de elevar el octano de los carburantes entonces disponibles. Fue en los años setenta cuando se volvió a hablar de los alcoholes, caídos en desuso al aumentar el precio del petróleo. Los éteres también empezaron a usarse por el mismo tiempo y el empleo de los dos tipos de moléculas se ha incrementado y extendido en muchos países dado que los refinadores encontraron un producto capaz de aumentar el octano en tiempos en que el crudo era escaso por asuntos políticos: también vieron en ellos una fuente importante para aumentar el octano cuando muchos países, entre ellos México, iniciaron una campaña para desaparecer el tetraetilo de plomo de las gasolinas vendidas. Desde el punto de vista económico, los compuestos oxigenados han tenido un papel importante en estabilizar los precios del mercado del petróleo. Más recientemente los beneficios de los productos oxigenados al reducir las emisiones contaminantes de monóxido de carbono y de hidrocarburos han hecho que en muchos países se haga obligatorio añadir un mínimo de ellos a la gasolina.

La mayoría de los aditivos oxigenados son alcoholes o éteres y contienen de uno a seis átomos de carbono. En particular los alcoholes se han empleado en la gasolina desde los años treinta. De los éteres existe una variedad de la cual hablaremos adelante. Daremos primero la fórmula de los más representativos. De los alcoholes y añadidos en concentraciones superiores a 1 o 2%, los más usados son metanol, etanol, isopropanol, terbutanol y mezclas de alcoholes con uno a cinco carbones. De los éteres, los más empleados son: el éter metil-terbutílico (EMTB), el metil-teramílico (EMTA) y el etil-terbutílico (EETB) de los cuales presentamos sus fórmulas:



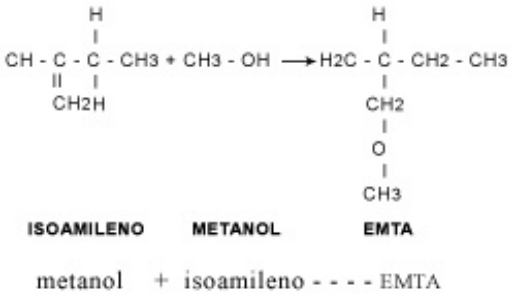
Fórmulas del EMTB, EMTA y EETB

De los éteres más empleados el EMTB es tal vez el número uno, pues se mezcla muy bien con los hidrocarburos de la gasolina; la demanda parece crecer sobre todo en los países en los cuales se ha ido sustituyendo paulatinamente el plomo en la gasolina. Su manufactura comercial se inició en Europa, específicamente en Alemania e Italia, alcanzando gran popularidad en los años setenta a raíz del conflicto petrolero. La síntesis del éter se realiza catalíticamente en las refinerías, mezclando el isobuteno (producto gaseoso que se obtiene del proceso de la desintegración catalítica y del que ya hablamos) con el metanol:

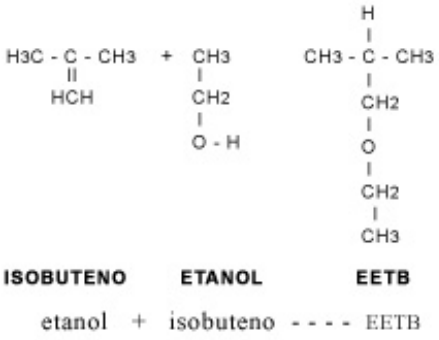


Aunque en algunos países se permite adicionar EMTB hasta un 15% en volumen, por lo general, se añade entre 6 y 10% aunque el valor puede elevarse en los lugares que requieren oxígeno para mejorar la combustión. El EMTB empleado en altas concentraciones puede aumentar el octano hasta en tres números. No es tan sensible al agua

como los alcoholes, y la volatilidad de la gasolina, punto que hay que cuidar con mucho cuidado, no se ve incrementada. El EMTA, químicamente conocido como el éter etil-teramílico, se obtiene por reacción entre el metanol con el isoamileno:



Como su predecesor, los fabricantes de gasolina lo han empezado a experimentar con el fin de aumentar el octano y proveer oxígeno. Se considera que tiene propiedades parecidas al EMTB y se añade a la gasolina hasta en 17% en volumen aunque en la realidad se le adiciona en menor cantidad. En su máxima concentración eleva el octano en tres números y una gasolina que lo contiene posee 2.7 % en peso de oxígeno. El EETB o éter etil-terbutílico, también se puede añadir hasta en 17% en volumen con incrementos de octano en esas condiciones de tres números de octano, según la gasolina en cuestión. Como el EMTA, su adición provoca que la presión de vapor de la gasolina se vea disminuida. Su obtención se hace a partir de etanol con isobuteno



De lo que hemos visto podemos concluir que los oxigenados tienen altos valores de octano. De hecho antes de que se introdujeran a la gasolina para mejorar la combustión, el etanol y el EMTB se añadían para aumentar el octano y no el contenido de oxígeno. Hay que hacer notar que la adición de oxigenados a la gasolina se hace con el propósito de reducir las emisiones tóxicas aunque no las reduce todas. Sólo son eficientes si se modifica cuidadosamente la fórmula, de lo contrario su efecto puede incrementar las emisiones nocivas. Añadir oxigenados a los automóviles sin un buen control de la relación carburante/aire, hace que se muevan hacia la región de mezcla "pobre", en la cual se produce menos monóxido de carbono, CO, un producto tóxico como veremos.

La adición de compuestos oxigenados ha creado, según nuestro criterio, gran confusión y se manipulan mitos y leyendas de todo tipo que trataremos de aclarar. Queda claro que los oxigenados mejoran el octano en la gasolina a la que no se le añade plomo y aumentan la capacidad de combustión, pero muchos técnicos tienen aún dudas sobre tantas bondades. En primer término no pueden darse valores absolutos de octano obtenido al mezclar los oxigenados ya que la calidad que se obtenga dependerá de los otros componentes presentes.

LA ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE

Suponga que tiene un automóvil moderno y de pronto al encenderlo observa que el marcador de gasolina está bajísimo. Como Sherlock Holmes empieza a conjeturar: *1)* fui a la gasolinería y me vieron la cara, *2)* el tanque tiene fugas, *3)* alguien usó el automóvil.

La explicación más probable es la siguiente: una gasolina común contiene en promedio 1.5 veces más calorías por litro que el etanol. Si compara esa relación concluye que si se le añadió 10% en volumen de etanol tendrá una reducción del 3.4 % de energía por litro. En los vehículos con controles de combustión refinados, añadir gasolina que contiene compuestos oxigenados produce menos calor ya que el oxígeno no contribuye con energía. Así, para

obtener la misma eficiencia se deberá consumir mayor cantidad de combustible.

VOLATILIDAD

Cuando se empezó a experimentar con los compuestos oxigenados se observó que la volatilidad de los carburantes se incrementaba en demasía. Esto hizo que mucha gente atribuyera a los oxigenados, especialmente al etanol, el problema del calentamiento de los autos. Diremos que la presión de vapor de la gasolina al adicionarse los compuestos oxigenados no se incrementa y hay casos, ya lo dijimos para el EMTA y EETB, en que disminuye. En resumen, la presencia o ausencia de oxigenados no es necesariamente una indicación de la capacidad del carburante para vaporizar bien o no, esto dependerá del conjunto de componentes de la gasolina.

¿SE VA A DISOLVER MI AUTOMÓVIL?

Mucha gente piensa que los automóviles se corroen a causa de los oxigenados. Debe recordarse que la corrosión de los autos se debe a la presencia de agua o de compuestos ácidos. La gasolina es corrosiva y por ello en la refinería se le adicionan sustancias que evitan la corrosión. El EMTB es ligeramente soluble en agua y puede aumentar la capacidad de la gasolina de atraparla pero el incremento es pequeño. En el caso de los alcoholes la situación es diferente pues son más solubles en agua, pero en general las concentraciones de anticorrosivos neutralizan este efecto. En lo que concierne a los elastómeros presentes en partes del auto no se puede generalizar su compatibilidad con los oxigenados. Al iniciarse la oxigenación de las gasolinas se informó que muchos materiales sufrían deformaciones, especialmente con los alcoholes, pero esto se ha ido corrigiendo. Hay que recordar que en Brasil más de 5 000 000 de autos emplean etanol puro y a la gasolina se añade hasta 22% de etanol, por lo que la incompatibilidad de los materiales puede deberse a su uso en modelos muy antiguos.

¿Y EL CONTENIDO DE OXÍGENO?

El contenido de oxígeno de la gasolina puede llegar hasta 3.5% en peso, todo depende del tipo y concentración empleados. Aquellos con espíritu de mecánicos se preguntarán si no habrá que modificar la relación aire/carburante. La respuesta es negativa para esos rangos de concentraciones; en los modelos recientes esta relación se regula mediante sensores de oxígeno computarizados instalados a la salida del múltiple del auto, que compensan los posibles cambios debidos al contenido de carburante y a la densidad del aire. Si tiene un automóvil que carece de estas maravillas puede notarlo al observar los síntomas característicos de funcionar con una mezcla pobre de aire: el auto se para y no camina ni rogándole. Pero para que se entere le damos unos datos típicos de la relación aire/carburante:

- Metanol = 6.4
- Etanol = 9.0
- EMTB = 11.7
- EETB, EMTA = 12.1
- Gasolina sin oxigenados = 14.6

En la figura 30 resumimos los diferentes tipos de oxigenantes y el contenido de oxígeno expresado en el porcentaje en peso que proveen para los alcoholes y los éteres.

OTROS CARBURANTES ALTERNOS A LA GASOLINA

¿Cuál es el mejor sustituto para el motor de pistón? La mayoría de los especialistas consideran que éste prevalecerá por muchos años, tanto por consideraciones técnicas como económicas. El principio de siglo estuvo marcado por una revolución en el transporte, cuando la máquina térmica reemplazó a la bestia. El inmenso éxito del automóvil, debido a su bajo costo y múltiples usos, creó una inmensa industria que satisface dicha demanda: vehículos, carreteras, equipamiento y carburantes. En tal situación es necesario empezar a adelantar las futuras estrategias de evolución. Queda mucho por lograr en el campo de la tecnología de los autos. No debe olvidarse la necesidad de revolucionar el campo de los carburantes. En el futuro cercano será necesario pensar en transportes que no generen emisiones de ningún tipo a la atmósfera, pero esos cambios no se pueden dar de la noche a la

mañana. Revisemos qué alternativas de carburantes tenemos a mano o en el horizonte. La búsqueda de nuevos combustibles ha sido materia de estudio y se tienen identificados, con sus pros y contras. Se considera que es tiempo de impulsar el uso de otras fuentes de energía debido al deterioro del ambiente y por el uso de combustibles fósiles. En Estados Unidos se gasta mucho dinero por asuntos de salud relacionados con la contaminación del aire. En muchos países se hacen cuentas del costo de importar el petróleo y se buscan alternativas, veamos cuáles son éstas.

CONTENIDO DE OXÍGENO (% EN PESO)

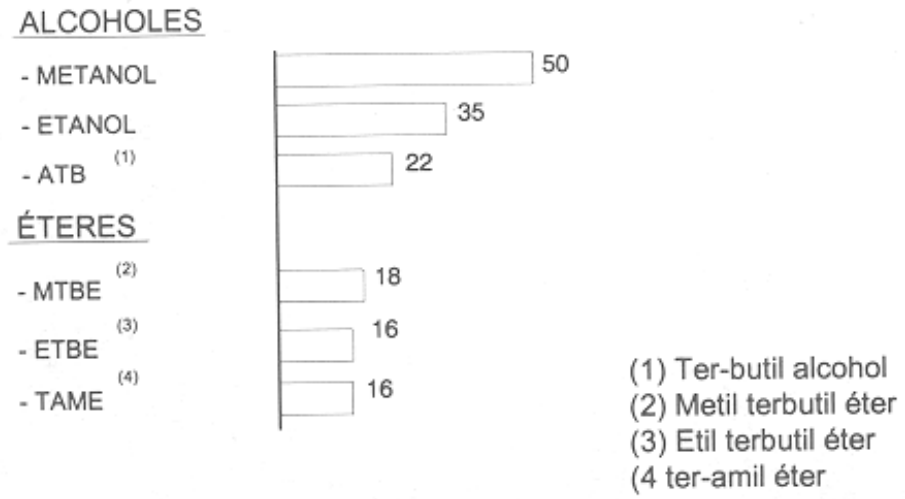


Figura 30. Contenido de oxígeno para varios alcoholes y éteres que se mezclan con gasolina.

• *Gas natural*. El gas natural, después de la hulla, es el carburante fósil más abundante; lo constituye una mezcla de hidrocarburos y pequeñas cantidades de no hidrocarburos. Existe en estado gaseoso o mezclado con petróleo crudo en los depósitos subterráneos y es recuperable como gas en condiciones atmosféricas de presión y temperatura. El gas natural comprimido contiene entre 70 y 90% de metano, 10 a 20% de etano, 2 a 8% de propano y cantidades menores de hidrocarburos más pesados que llegan hasta el butano. En el mundo hay reservas importantes, y se le clasifica según se encuentre en el yacimiento como gas no asociado si no está en contacto con el petróleo crudo y como gas asociado si está en contacto con aquél, ya sea como gas natural libre o como disuelto en petróleo.

Como carburante tiene un alto índice de octano además de que al ser quemado sus emisiones nocivas son menores. Comparado con la gasolina, el índice de octano es de unos 130; es decir que no existen desventajas técnicas siempre y cuando la instalación del tanque que lo contiene sea correcta. ¿Cuál es el "pero", entonces? Pues la capacidad de un auto de cargar grandes cantidades: los vehículos necesitarían de 1 a 3 cilindros de 90 a 120 litros de capacidad y aun así esto representaría 50% del trabajo que provee la gasolina. En resumen podríamos decir que transformar un automóvil diseñado para usar gasolina, para emplear gas es muy costoso. En México no se cuenta con una red de gaseras lo suficientemente amplia para recargar los tanques. Este carburante se ha empleado extensamente en Italia y Nueva Zelanda, en este último país existían en 1987 130 000 autos que podían usar gas o gasolina y 380 estaciones de servicio; se estima que hoy en día a nivel mundial operan aproximadamente un millón de vehículos a gas y para 2010 sólo en Estados Unidos se considera que circularán 11 millones. La economía tiene un papel importante en su uso si se le compara con la gasolina. Al convertir un auto que usa gas, se generará una pérdida de alrededor de 15% en la potencia, lo que repercutirá en el bolsillo del consumidor, sobre todo si el precio de la gasolina se mantiene bajo. Su ventaja principal respecto a la gasolina es la emisión menor de contaminantes y tóxicos si el vehículo cuenta con convertidor catalítico, aparato del que hablaremos más adelante.

• *Gas de petróleo licuado*. El gas licuado es esencialmente propano en mayor proporción que butano e isobutano. En muchos países el gas grado para autos está constituido por entre 90 y 95% de propano y el resto de butano. A principios de siglo existían ya máquinas movidas a propano y el interés de emplearlo como carburante se ha incrementado en los últimos años sobre todo para el transporte masivo. Circulan actualmente unos 3.5 millones de vehículos con este carburante y podemos decir que ocupa el tercer lugar después de la gasolina y el diesel. Una ventaja sobre el gas natural comprimido es que los tanques no tienen que resistir presiones tan altas y el carburante se guarda en forma líquida. Desde el punto de vista del medio ambiente es uno de los carburantes más

limpios y se usa extensamente en las flotillas de taxis de varios países asiáticos. Lo anterior lo da el hecho de que al ser un gas en lugar de un líquido, no tiene que pasar la etapa de vaporización lo que permite que el automóvil no emita muchos contaminantes al estar frío. También es un producto de alto octanaje. Comparado con los automóviles convencionales se requiere aproximadamente entre 20 a 25% más carburante de no ser que la máquina sea especialmente modificada para emplearlo, con lo cual no disminuye la potencia o se incrementa el consumo. Veamos algunos datos comparativos entre los dos carburantes que hemos mencionado hasta el momento comparados con el isooctano.

Para usarlo directamente, el automóvil debe sufrir modificaciones. El propano comparado volumen a volumen con la gasolina, genera 20% menos energía así que para tener un radio de manejo equivalente al de los autos a gasolina se requiere que la cantidad guardada en el tanque sea mayor.

	metano	*propano*	*isooctano*
RON	120	112	100
MON	120	97	100
Capacidad calorífica en Mega Joules/ kg	50.0	46.2	44.2
Temperatura de flama °C	1950	1925	1980
Temperatura de autoignición, °C	540-630	450	415

• *El hidrógeno*. Se ha hablado mucho de este gas que sigue siendo un tema a futuro y altamente explosivo. En los próximos diez años su peor aplicación sería en las máquinas de combustión, ya que es mejor emplearlo como reactivo en varios procesos de refinación que generan carburantes más limpios. Sin embargo los estudios para desarrollar una tecnología que funcione con máquinas de combustión interna no ha cesado desde principios de siglo. El hidrógeno tiene alta velocidad de flama (3.24 a 4.4 m/s), inflamabilidad en amplios rangos (desde 4 a 75% en volumen), alta temperatura de autoignición (520°C) y temperaturas de flama de 2 050°C. Todo apunta a que es un gran carburante para el transporte, pero el problema fundamental reside en generar un sistema de almacenaje que satisfaga todos los requisitos de seguridad. Para oxidar el hidrógeno, el oxígeno es obviamente el candidato adecuado, sin embargo la mayoría se inclina por el aire. Desafortunadamente esa temperatura de flama es lo suficientemente elevada para disociar el nitrógeno atmosférico y generar óxidos de nitrógeno indeseables. Además, al ser la velocidad de la flama tan rápida hay que considerar la posibilidad de que la flama pase rápidamente por los inyectores sin ser detenida causando una ignición previa, no deseada. Se podría pensar que lo anterior se mitigaría si se inyecta un chorro de agua, que tiene el beneficio adicional de aumentar la eficiencia térmica, aunque sin duda hará disminuir la temperatura de combustión. En resumen, el asunto tiene sus ventajas y desventajas que sin duda serán resueltas en el futuro.

• *La electricidad*. La mayoría de la energía que empleamos se obtiene de procesos de conversión como el siguiente :

energía química → calor → energía eléctrica → trabajo mecánico

o bien

energía química → calor → trabajo mecánico

Estas rutas proveen las bases para la operación de turbinas de vapor, plantas eléctricas y máquinas de combustión interna. Sin embargo, hay otros métodos de obtener energía útil que no incluyen como intermediario al calor. Hasta finales del siglo XVIII se conocía un solo tipo de electricidad, la estática que se obtenía por frotamiento. Se había demostrado que había cuerpos que conducían electricidad y otros no, pero existía un particular interés en estudiar los pescados que daban "toques" porque los investigadores habían llegado a la conclusión de que la naturaleza de esos toques era eléctrica. En 1780, Luigi Galvani (1737-1798) en Boloña, Italia realizó una observación fortuita que publicó en sus memorias once años después: "teníamos una rana disecada en una mesa en la que había cerca una máquina eléctrica. Uno de mis asistentes, por casualidad, tocó uno de los nervios de la pata con un bisturí. El músculo se agitó en convulsiones violentas, otro de mis asistentes creyó haber visto salir al mismo tiempo una chispa de la máquina." Galvani realizó muchos experimentos más para descubrir cuál era el

principio escondido en todo esto, también demostró lo contrario, la contracción del músculo producía el fenómeno eléctrico. Galvani siempre creyó que esta "electricidad animal" era de carácter único, inclusive se le llamó a este efecto "galvanismo", pero estaba equivocado. Alessandro Volta (1745-1827) profesor de la Universidad de Pavia, atraído por los resultados de Galvani siguió profundizando en los experimentos. Encontró que la descarga eléctrica no sólo produce la contracción muscular sino también que hay sensación. ¿Cómo demostró esto? La forma es simple: si uno coloca la lengua entre dos placas metálicas de naturaleza diferente que están conectadas por un alambre, hay sensación o no de cosquilleo según el tipo de metal y por tanto hay metales conductores y aislantes. El siguiente paso fue más simple, a principios de 1800 inventó un aparato que producía un flujo de corriente eléctrica para lo cual utilizó recipientes con una solución conteniendo una sal y conectados por arcos metálicos, una junta se metía en un recipiente y la otra en el siguiente. El aparato, conocido ahora como *pila de Volta*, fue la primera batería de la historia. El 20 de noviembre de 1801, Volta presentó su aparato a Napoleón Bonaparte quien le otorgó una medalla de oro. La historia de Volta tiene antecesores, ya que en 1745 se inventó un aparato en el cual la carga eléctrica podía almacenarse. Hoy en día un aparato de ese tipo se llama *capacitor*, pero el vaso de Leyden, inventado por Petrus van Musschenbroek, fue objeto de curiosidad en toda Europa y la gente viajaba de lugares muy alejados para observar cómo producía electricidad. Consistía en un vaso de cristal forrado de metal en su interior, donde se encontraba una varilla clavada a un corcho. Esto podía almacenar grandes cantidades de carga eléctrica estática que se le suministraba de una máquina en que la carga se producía por frotamiento. Si el vaso se acercaba a algún metal, cruzaba el aire una chispa minúscula.

A principios de siglo existían tres sistemas de tracción: a vapor, a electricidad mediante acumuladores y a petróleo. No obstante, en Francia, en 1881, un autobús eléctrico equipado con 9 toneladas de acumuladores circulaba por las calles parisinas. En 1899 el belga Jenatzy levantó 105 km/h y batió el récord de velocidad. En 1901, en Francia, Krieger recorrió la distancia París-Chatellerault (307 km) a 19 km/h sin recargar la batería. Del modelo Krieger de 1905 fueron vendidas 2 400 unidades. Los automóviles de baterías hasta el momento, no superan a los de motor de combustión interna en su capacidad de carga, radio de acción y otras ventajas. Este modelo de auto que hemos presentado podrá en un futuro vencer dichas desventajas aunque ahora no es económicamente competitivo. En Estados Unidos el primer vehículo eléctrico de cuatro neumáticos fue construido en 1892. Podía funcionar 13 horas antes de ser recargado y viajaba a la fabulosa velocidad de 23 kilómetros por hora. A finales del siglo los vehículos eléctricos dominaban el mercado automovilístico con autonomía promedio de 80 km. En 1900, 38% de los nuevos autos estadunidenses usaban baterías y por 1912 unos 6 000 autos eléctricos y camiones eran producidos por 20 compañías diferentes. En muchos países hay la convicción de que para finales de siglo los vehículos deberán emitir cero contaminantes. La solución sin duda son los automóviles eléctricos: en el plano técnico el principal obstáculo para comercializar vehículos confiables es la insuficiencia de la fuente de energía que porta el auto. Las baterías disponibles de níquel/cadmio y de plomo son las primeras muy costosas y las segundas tienen poca capacidad para almacenar energía. Otro reto a vencer es que las baterías no adicionen peso muerto al coche y mantengan la potencia de aceleración suficiente. Para dar una idea, el equivalente de 48 litros de gasolina sería una batería de plomo de 2 800 kilos. La General Electric considera que una batería puede alcanzar una vida de unos 35 000 km. Las compañías de electricidad han sido, claro, las promotoras del auto eléctrico, las razones son evidentes y la estrategia empleada ha sido construir vehículos con las técnicas disponibles y ponerlos a funcionar a fin de crear una disposición favorable de la sociedad, pero no todo es color de rosa y hay problemas aún no resueltos, en particular en lo que concierne a la generación de la energía eléctrica. Si en el futuro se produce a partir de hulla, se emitirán contaminantes a la atmósfera. Lo importante es que la tecnología de los automóviles eléctricos mejora cada día. Se encuentran autos de dos asientos que pueden desplazarse de 0 a 90 km/h en 8.5 segundos y mantener una velocidad crucero de 120 km/h. La industria deberá incrementar la vida de la batería a dos o tres años y su periodo de trabajo sin recarga a 160 kilómetros.

• *Las celdas de combustible*. El principal inconveniente de los acumuladores es su poca capacidad de almacenamiento pero también cuenta mucho el tiempo de recarga que suele ser de varias horas para las baterías de plomo y las de níquel-hierro. El problema se encuentra en el nivel de poder eléctrico instalado en el punto de recarga. Expliquemos esto con un ejemplo: un contador de 30 amperes bajo 220 voltios envía 6.6 kilovatios por hora. Se necesitan de 12 a 15 kilovatios por hora para asegurar a un coche de una tonelada de peso una autonomía de 100 km. Tal vez la solución práctica sean las celdas de combustible recargables manualmente. Las pilas de combustible transforman directamente la energía química en electricidad. Sin embargo, a diferencia del acumulador que necesita ser recargado, la pila es alimentada continuamente con combustible guardado fuera de la celda, hidrógeno o compuestos ricos en hidrógeno. El principio de la pila descansa en la reacción inversa de la electrólisis: una corriente eléctrica descompone el agua en hidrógeno y oxígeno, una nueva combinación del

hidrógeno y del oxígeno bajo ciertas condiciones produce electricidad y agua. El principio es conocido desde 1839 y en 1951 un investigador inglés (Bacon) produjo la primera pila de un kilovatio que fue seguida por otras de mayor potencia, la investigación la llevaba Estados Unidos que buscaba generadores de corriente para sus naves espaciales. Para que la reacción suceda, un material reacciona en el electrodo positivo mientras que el otro lo hace en el negativo. Más aún, hay que impedir que lo hagan directamente ya que esto provoca un tipo de cortocircuito químico del cual no resulta la generación de energía eléctrica y sólo aparece energía térmica. Existen muchos tipos de reacciones químicas útiles para este tipo de celdas, sin embargo las que han tenido mayor atención son las reacciones de combustión. El oxidante generalmente es el oxígeno del aire y el carburante preferido el hidrógeno pero ha habido poco éxito cuando se emplean celdas con otros carburantes a baja temperatura que permitan la oxidación directa de los hidrocarburos. Tienen la ventaja de no producir emisiones contaminantes y son tal vez los candidatos más serios para remplazar a las máquinas de combustión interna convencionales, debido a que tienen gran eficiencia de transformación de carburante en electricidad, del orden de 40 a 60%. Su costo es alto, pues requieren de carburantes muy limpios exentos de cloro, azufre o amoniaco que las inhabilita y tienen también corta vida de operación, pero el tiempo lo dirá todo.

• *Vehículos con un poquito de todo*. No es descabellado por tanto pensar en un sistema de vehículo tipo Frankenstein en el que se unan:

1) Una fuente primaria de poder, que puede ser el generador proveniente de una máquina de combustión interna la cual opera solamente en la mejor sección de su eficiencia, es decir el cociente de energía útil producida dividido por la energía aplicada; una alternativa puede ser las celdas de potencia que acabamos de ver o una turbina.

2) Una unidad capaz de acumular energía, como una batería que funciona de la siguiente manera desde el punto de vista químico

$$\mathbf{2PbSO_4 + 2\ H_2O \Rightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4}$$

al cargarse la batería se produce plomo (Pb) y óxido de plomo (PbO_2) los cuales reaccionan en presencia del ácido sulfúrico (H_2SO_4) para generar electricidad en la etapa de "descarga" de la batería. Las baterías químicas fabricadas cuando Volta las inventó sólo servían una vez. El físico francés Gastón Planté construyó la primera batería recargable en 1859 y, esencialmente, sigue empleándose hoy en día.

3) Una unidad de manejo casi siempre se piensa en un motor eléctrico que pueda usarse como generador.

Los autos de batería hasta el momento no superan al motor de combustión interna en su capacidad de carga, radio de acción y otras ventajas. El modelo de automóvil que hemos presentado podrá en un futuro vencer dichas desventajas aunque ahora no es competitivo.

OTROS CARBURANTES ALTERNOS

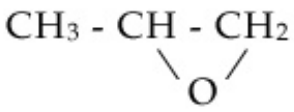
• *El amoniaco*. El amoniaco (NH_3) se obtiene de la reacción entre el nitrógeno y el hidrógeno. La mezcla de ambos gases se hace pasar a través de un material catalítico especialmente preparado a base de hierro a temperaturas de entre 450 y 520°C. Hay que hacer notar que la reacción requiere teóricamente de tres moléculas de hidrógeno por cada molécula de nitrógeno, Además, ya que este material no tiene átomos de carbono no producirá bióxido de carbono como producto de la combustión. El amoniaco, al ser oxidado, produce la siguiente reacción:

$$\mathbf{4\ NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O}$$

generándose energía en el proceso, sin embargo su uso como carburante no convence mucho aún debido al alto calor de vaporización que requiere entonces de una etapa de vaporización previa, además de que son necesarias temperaturas relativamente elevadas para provocar su descomposición.

• *El agua*. Hay quien afirma que una parte de gasolina con dos de agua produce en una máquina de combustión interna el mismo poder que si emplease sólo gasolina. La energía proviene de la disociación del agua mediante un catalizador introducido en la cámara de combustión con lo que, si lo meditamos, volvemos al principio de tener disponible hidrógeno.

• *El óxido de propileno*. Veamos antes su fórmula:



Aparentemente ha sido empleado como carburante en las carreras de automóviles y algunos osados pilotos hablan de él. Es un carburante de buenas propiedades en lo que concierne a volatilidad, inflamabilidad y autoignición. Cuando se usa en las máquinas modificadas para obtener gran potencia siempre que se hallen en una zona ligeramente rica en lo que compete a la relación aire:combustible. Así, la mezcla alcanza alta volatilidad, alta temperatura de autoignición y alto octanaje, además de que la velocidad de la flama se incrementa, con lo que aumenta la eficiencia de la quema de hidrocarburos. El incremento en poder —sin grandes modificaciones en la máquina—, hay que apuntar, se debe a que aumenta la eficiencia volumétrica y se requiere menos oxígeno. El óxido de propileno debe manejarse con extremo cuidado pues se sospecha que es cancerígeno.

• *El óxido nitroso*. El óxido nitroso se obtiene calentando el nitrato de amonio:

$$2\ NH_4\ NO_3 \rightarrow 2N_2O + 4\ H_2O$$

Es un gas incoloro e inodoro. Cuando se le respira por corto tiempo provoca una especie de risa histérica; de él se dice que condujo a que se le llamase gas hilarante. Estuvo de moda en las fiestas de sociedad hacer uso de este gas cuando no había nada mejor que hacer. Una inhalación más prolongada motiva un estado de inconsciencia, por eso este gas, mezclado con aire u oxígeno, se emplea como anestésico general. El óxido contiene 33% en volumen de oxígeno, en consecuencia se puede pensar que la cámara de combustión estará ocupada con menos cantidad de nitrógeno inútil y más carburante se puede inyectar a la cámara de combustión. Su ventaja es que su velocidad de flama puede ser manejada por los motores de combustión interna cuando se emplean hidrocarburos o alcoholes.

MÁS OXÍGENO POR FAVOR

Durante muchos años se han dedicado grandes recursos a la investigación y desarrollo de métodos para enriquecer el contenido de oxígeno del aire, con el propósito fundamental de hacer más eficiente la combustión ya que la temperatura de la flama sería más elevada y habría menos nitrógeno presente. La concentración óptima de oxígeno para los automóviles oscila entre 30-40%. Una manera de alcanzar el enriquecimiento necesario es utilizar una membrana. Para dar una idea acerca de las membranas y sus funciones hay que pensar en las membranas semipermeables de los sistemas biológicos; de hecho, son barreras capaces de redistribuir los componentes de un sistema. La fuerza que impulsa este proceso puede ser la diferencia de presión, de concentración o una diferencia de potencial eléctrico. El problema de instalar un equipo con membrana en un automóvil no está resuelto, se requiere una superficie muy grande para producir la cantidad necesaria de aire enriquecido en oxígeno de la máquina de combustión interna. Entonces, la membrana deberá enrollarse dentro de la máquina con lo cual se requiere cierta cantidad de poder para forzar al aire a cruzar toda la membrana.

• *Póngale un coco a su automóvil*. En Manila, Filipinas; Toronto, Canadá y Dakota, EUA, es común que los agricultores extraigan del girasol un aceite para consumo de sus tractores. Pruebas semejantes se han hecho con aceite de soya, coco, algodón, etc. Ya en 1912 Diesel propuso emplear aceite de girasol. En la segunda Guerra Mundial los alemanes, aislados en África, empezaron a sustituirlo por aceites filtrados de palma. Terminada la guerra, el interés por buscar sustitutos decayó. Pero los aceites tienen futuro. El biodiesel, por ejemplo, tiene entre sus características ser renovable, no ser tóxico, y no causar daños al medio ambiente. En un principio se emplearon aceites vegetales, sin modificación, desafortunadamente presentaban problemas porque suelen descomponerse, además de ser sumamente viscosos lo que dificulta la atomización del carburante que trae como consecuencia una combustión incompleta y la formación de depósitos carbonosos en varias partes de la máquina. Una primera solución en lo que concierne a la viscosidad fue disminuirla diluyendo el aceite en gasóleo, pero esto era sacarle el bulto al problema. La solución reside en desarrollar un derivado de un aceite vegetal, o de la grasa animal, con las propiedades del diesel. Recientemente la ruta del biodiesel se ha reactivado por las siguientes razones: *1)* una modificación química del material de partida genera un mejor producto, y *2)* existe amplia

variedad de aceites vegetales utilizables. Presentamos cálculos de 1990 acerca de la producción mundial de varios aceites vegetales.

Fuente de aceite vegetal	*Producción en millones de toneladas*
coco	3.3
girasol	3.8
palma	7.0
sésamo	5.7
soya	17

Esencialmente la reacción que se lleva a cabo consiste en hacer reaccionar el aceite vegetal con metanol lo que genera un éster y glicerina. Si se emplea el metanol como alcohol, el derivado será el éster metílico y, si es el etanol, será el éster etílico. La reacción se lleva a cabo en presencia de un catalizador. En la reacción se parte de un aceite que tiene un peso molecular de unos 700 a 900 y se fabrican tres moléculas más ligeras de pesos moleculares entre 230 a 300

aceite vegetal	+	metanol	→	ésteres	+	glicerina
1 tonelada		0.1 t.		1 t.		0.1 t.

donde los ésteres producidos presentan cadenas de hidrocarburos que oscilan entre 13 y 19 átomos de carbono si se emplea metanol y de 14 a 20 átomos en los ésteres de etanol. El producto tiene propiedades muy parecidas al diesel. Otras fuentes pueden ser la grasa animal y el aceite vegetal gastado. Las ventajas del biodiesel son que no tiene azufre, o aromáticos, y que su molécula contiene oxígeno. Además es un producto renovable. Las pruebas aún no son concluyentes y es necesaria más investigación. Una estrategia inicial ha sido añadir al diesel entre 10 y 40% de biodiesel y seguir su comportamiento.

• *Si no hay diesel, use anestésicos*. Si bien aún está en etapa de experimentación, se podrá optar en el futuro por el dimetil-éter (DME)

$$\mathbf{CH_3 - O - CH_3}$$

el mismo que empleó el dentista William Morton para extraer muelas. La idea fue de Charles Jackson quien se autoanestesió e instruyó a Morton en el mejor método de administrarlo. El éter ha sido propuesto como sustituto del diesel. Comparemos algunas de sus propiedades con las del diesel, en la siguiente tabla.

Propiedad	*dimetil-éter*	*diesel*
número de cetano	55	40-55
punto ebullición, °C	-25	180-370
% de oxígeno en peso	34.8	0

El carburante tiene sus pros y contras. A favor está que no genera humo. También disminuye el ruido. Las emisiones de sustancias tóxicas quedarán dentro de los límites de los criterios internacionales. Los problemas aún no resueltos surgen de la necesidad de diseñar nuevos sistemas de inyectores pues con los actuales se dan fugas, aunque el DME puede ser transportado y guardado como líquido igual que el gas licuado. Además, el DME como otros carburantes alternos tiene un contenido energético en volumen menor al diesel o la gasolina. De lo anterior se desprende que se necesitan mayores volúmenes para dar al consumidor el mismo rango de operación. Comparado con la gasolina el volumen de DME requerido para viajar una cierta distancia es muy similar.

• *La combustión perpetua*. Hemos llegado al punto en el cual la obsesión consiste en realizar la combustión perfecta, que de todas maneras genera bióxido de carbono y provoca daños a nuestro planeta que serán motivo de las reflexiones del próximo capítulo. Antes de seguir el inflamable tema de la gasolina, contaremos el cuento de las lámparas de combustión perpetuas como lo narra A. Ord-Hume en su libro acerca del movimiento perpetuo:

Como sabemos el proceso de combustión es una forma de consumir energía y una lámpara perpetua tendría la capacidad de crear más combustible que el que consume, a menos que tuviera una fuente prodigiosa. Las lámparas y la combustión que generan han creado tanta mística, magia y mito que no es sorprendente encontrarlas en los ritos sepulcrales de los antiguos, donde vemos en muchos monumentos lámparas que permanentemente están encendidas. Una primera referencia a las lámparas se encuentra en Éxodo, 27, donde se dan detalles de lo que los israelitas debían hacer para construir el tabernáculo: "Y comandarás a los hijos de Israel que traigan el aceite puro de oliva para alumbrar, para provocar que la lámpara se queme permanentemente". Son numerosos los relatos de lámparas encontradas en tumbas que ardían al penetrar en ellas. En la Tumba de Pallas asesinado por Turnus en la guerra de Troya (1184 a.C.) se encontró una lámpara ardiente en el año de Nuestro Señor 1401. Si hacemos números, se trata de una lámpara que ardió 2 600 años. Una explicación es que resulta bien conocido que las sustancias fosforescentes son producto de la descomposición de los animales y vegetales y su existencia pudo dar la impresión, al abrir la tumba, de que la lámpara ardía. Nadie explica, aceptando la existencia de un carburante inextinguible, de dónde salía el aire necesario para la combustión. Aunque pudiéramos pensar el fósforo y sus sales como una explicación (elemento descubierto en 1669 por Brandt en Hamburgo) de la luminosidad de algunos materiales, no se puede uno tragar la píldora de que hayan estado encendidas por cientos o miles de años, sobre todo si su explicación es tan absurda como las dadas para las máquinas de movimiento perpetuo inexistentes, que violan los principios fundamentales de las leyes de la termodinámica. A falta de una tecnología disponible que incluyera la refracción de la luz por lentes o fibras ópticas o la degradación radiactiva, debemos concluir a nuestro pesar de que están basadas en observaciones erróneas. Otra explicación proviene del informe acerca de una lámpara eterna encontrada en la isla de Nesis, en la bahía de Nápoles, que según Luciano, el aire de la isla olía horrible y era peligroso. ¿Era este gas de origen volcánico y por ende sulfuroso o bien podría ser también metano y la fisura del gas natural mantenía encendida la lámpara? Si uno considera las enormes reservas de gas natural del Mar del Norte, una pequeña fisura que alimentara el reservorio de la lámpara podría mantenerla viva durante más de un millón de años.

Recapitulemos lo hasta aquí dicho. En los próximos 40 años la energía será uno de los problemas calientes de la sociedad a medida que los carburantes fósiles disminuyan. Nuevas oportunidades de investigación y desarrollo tecnológico se vislumbran para aplicar la química a la recuperación mejorada del crudo, a su más eficiente explotación, a desarrollar otros carburantes fósiles y crear tecnologías que promuevan la conservación o el incremento de la eficiencia de los combustibles. Pero a largo plazo, la única tecnología capaz de sustituir a los carburantes fósiles es la energía nuclear. Si ésta vuelve a ser aceptada como fuente de poder, el reemplazo de hidrocarburos líquidos por la electricidad como fuente energética creará miles de oportunidades para desarrollar mejores baterías y materiales eléctricamente funcionales. La fabricación de pequeños reactores nucleares seguros puede hacer a la electroquímica y la química de altas temperaturas atractiva para nuevos procesos.

LA REFORMULACIÓN DE LAS GASOLINAS

Para ser sinceros, en las últimas tres décadas los esfuerzos por controlar el daño ambiental que causan los automóviles y la gasolina se han convertido en algo sumamente complejo y no todo lo exitoso que se desea. Entre 1982 y 1991 sólo disminuyeron 8% las concentraciones de ozono —un contaminante peligroso que no es emitido directamente por los autos— a pesar de los programas de control. La reformulación a gran escala para disminuir las emisiones tóxicas de los automóviles fue propuesta por la General Motors en 1972, sin embargo la crisis del petróleo de 1973 detuvo todo intento de modificar la composición de la gasolina. Curiosamente la combinación de la falta de gasolina por el embargo, aunada a la disminución paulatina del contenido de plomo, hizo que se olvidara el problema del medio ambiente que creaba la gasolina y creó más problemas ambientales de los que se pretendía superar.

Así, con el fin de aumentar la cantidad de gasolina se construyeron más plantas de desintegración catalítica que generaron mayor cantidad de olefinas ligeras, extremadamente dañinas a la atmósfera. Esto trajo como consecuencia mayor producción de butanos lo que permitió a los productores incrementar su rendimiento en gasolina pero la presión de vapor se elevó, lo que también es nocivo.

La producción de aromáticos a partir del proceso de reformación de nafta generó mayor contenido de productos aromáticos que compensaban el octanaje perdido por la eliminación de plomo. Sabemos hoy que los aromáticos son más difíciles de quemar.

Esfuerzos adicionales se hicieron en los automóviles para controlar sus emisiones mediante dispositivos simples, como la ventilación de las válvulas, los convertidores catalíticos, la recirculación de los gases del escape y aparatos que impiden la evaporación de la gasolina. Siguió el empleo de sistemas de control computarizado para mantener relaciones aire/gasolina constantes, reducir el tamaño de los autos, disminuir su cilindraje. Se han logrado reducciones importantes de emisiones nocivas, pero el lector se dará cuenta que las enumeradas se centran en mejorar la tecnología de los vehículos más que en producir gasolinas que contaminen menos. Diremos que las baterías se han encaminado a la adición de aditivos, disminución de la volatilidad, disminución del contenido de azufre, de aromáticos y de olefinas en la fórmula, que se iniciaron con la eliminación de plomo en la gasolina.

Este programa es producto de la presión de los gobiernos y grupos ambientalistas, aunado a que las grandes empresas petroleras se han visto "amenazadas" por la competencia de carburantes alternativos como los que vimos en este capítulo, Esto ha impulsado el desarrollo de una nueva generación de gasolina, mejor conocido como programa de "reformulación de gasolina".

Las metas fundamentales son disminuir los contaminantes nocivos, la evaporación de la gasolina y no generar compuestos que reaccionan en la atmósfera creando productos nocivos. Los componentes hidrocarburos de la gasolina reformulada son muy diferentes de la fracción de hidrocarburos presente en las gasolinas oxigenadas.

En primer término, se ha librado una batalla en favor de los carburantes "renovables" aquellos cuyo carbón proviene de biomasa reciente y por tanto no aumenta las emisiones de bióxido de carbono. La batalla se ha dado entre los que apoyan el etanol y el EETB de origen vegetal contra los que producen el metanol y el EMTB, petroquímicos provenientes de la transformación de componentes del petróleo.

El programa de reformulación de gasolina en EUA fue delineado en 1990 con el "Acta del Aire Limpio" cuyas metas eran disminuir el ozono mediante el empleo de gasolina menos contaminante. El programa que entraría en vigor en 1995, insistía en que en las áreas más contaminadas se debía usar por fuerza gasolina que abatiera los contaminantes sobre todo el ozono y el monóxido de carbono. También a partir de 1990 se prohibió en EUA la fabricación y venta de gasolina con plomo, se estableció un mínimo de oxígeno de 2% en peso, un contenido de benceno no mayor de 1 % en volumen y un máximo de 25% en volumen de compuestos aromáticos.

Un punto importante es que la presión de vapor, es decir, lo que mide la volatilidad de la gasolina, resulta también menor, lo que significa que se adicionan menos componentes volátiles ligeros introduciéndose un programa de dos fases: en verano y en invierno.

En 1990 el valor mínimo era de 8.7 libras/pulgada^2 y el máximo de 11.5. En 1995 entra en vigor un mínimo de 7.2 y un máximo de 8.1, pero en California son más estrictos y para 1996 el valor aceptado es de 7, valor del cual los fabricantes de automóviles se quejan pues dicen que puede causar problemas de arranque y de manejo del auto en donde el invierno es frío.

En 1992 se delimitaron 39 zonas que excedían los límites del monóxido de carbono y que debían utilizar gasolina con 2.7% en peso de oxígeno. En 1993 se vuelve a bajar el contenido de oxígeno en algunas ciudades a 2% en peso de oxígeno a partir de 1995. Este año entró en vigor un modelo de mezcla de gasolina en refinería y se determinaron límites al contenido de oxígeno, benceno y aromáticos en la gasolina. Tomando como año de referencia 1990, se exigió que en 1995 debería reducirse en 15% la emisión de compuestos volátiles y en 17% las emisiones tóxicas. En 1998 las refinerías utilizarán un modelo provisto por la Agencia de Protección Ambiental para formular la gasolina. El modelo matemático incluye datos como contenido de azufre, tipo de oxigenante y contenido de olefinas y con él se puede predecir las emisiones a partir de la formulación mediante una serie de ecuaciones que definen la relación entre varias características físicas y químicas de la gasolina y el efecto en la emisión que tendrá el vehículo. Para el año 2000 la fase segunda del programa exige reducciones de hasta 29% para los compuestos volátiles, 22% en las emisiones tóxicas y 5 a 7% en los compuestos de nitrógeno tóxicos.

En México la norma *Nom-086* fue publicada por el Instituto Nacional de Ecología en diciembre de 1994 y establece la calidad de los combustibles fósiles líquidos y gaseosos. Hay en el mercado dos tipos de gasolina oxigenada que contienen un mínimo de 1 % en peso de oxígeno y un máximo de 2%. Se obliga asimismo al consumo de gasolinas oxigenadas en la zona metropolitana de la ciudad de México, lo que se extenderá en 1998 a las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey. El gobierno ha puesto en marcha un programa para mejorar la calidad del aire en el valle de México que se extiende hasta el año 2000, y dos de las estrategias ahí marcadas

atañen a los energéticos. En primer término se dice que se revisará progresivamente la legislación de gasolina y diesel en forma permanente hasta finales del siglo pero de inmediato —segundo semestre de 1996— se deberán reducir los componentes tóxicos y reactivos de la gasolina para lo cual:

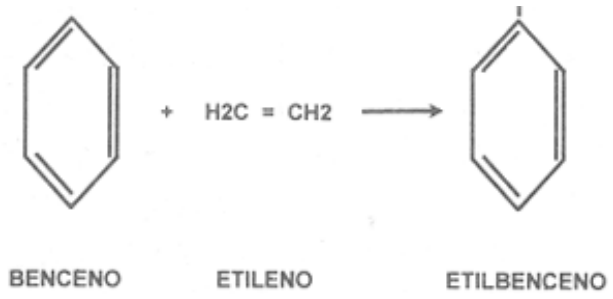
• los aromáticos pasan de 30 % en volumen del total de la gasolina a 25 %

• las olefinas bajan de 15 a 10 %

• el benceno de 2 % disminuye a 1 %

• la presión de vapor baja de 8.5 a 7.8

Hay que hacer notar que como en los países que tienen programas de reformulación, los aromáticos disminuyen y también el benceno aromático que se obtiene de las mismas fracciones del petróleo. Se preguntará cómo eliminar el benceno del resto de los aromáticos en una corriente de refinería que contiene miles de ellos. Todo es asunto de ciencia y dinero para realizarlo. Hemos dicho que la principal fuente de aromáticos es el proceso de reformación, que toma una parafina lineal y la cierra como anillo. Quedan dos opciones, eliminar la corriente de parafinas lineales de seis carbonos (por destilación) para impedir que se forme benceno, o transformar el benceno formado después de la reformación, por ejemplo realizando reacciones de alquilación, con lo cual sucede lo siguiente, en el caso del etileno:



benceno + etileno --->etilbenceno.

Existen por tanto dos fuentes principales de emisiones de un vehículo de motor, las que salen por el escape y las evaporativas. Veamos primero las segundas.

¿CÓMO DISMINUIR LA EVAPORACIÓN DE LA GASOLINA?

Se da un creciente interés en disminuir las emisiones y entre ellas cuentan mucho las generadas por la evaporación durante la distribución, llenado de vehículos en las gasolinerías, las que se evaporan y las que se fugan del automóvil. La manera de impedirlo es reduciendo la presión de vapor Reid de la gasolina. Estudiosos europeos han calculado recientemente que 40% de los compuestos volátiles orgánicos que produce el hombre provienen de los autos: las emisiones evaporativas ocupan el tercer lugar después de la evaporación de los diferentes solventes y de las emisiones del escape de los automóviles. Son motivo de preocupación la gran cantidad de vapores de gasolina a que continuamente quedan expuestos los trabajadores de las estaciones de servicio, y en muchas partes del mundo, incluyendo México, se legisla para que cuenten con sistemas de recuperación de vapores. Ésta debe contemplar las terminales de almacenamiento y distribución de combustibles durante la transferencia del combustible del autotanque al tanque de almacenamiento de la estación de servicio y durante el despacho cuando los vapores que emite el dispensario son aspirados por bombas y reinyectados nuevamente a los tanques de almacenamiento o, en su defecto, son incinerados lo más eficientemente posible. En lo que concierne al automóvil se le han instalado recipientes con carbón que absorbe los puestos orgánicos, subsecuentemente los arroja para ser inyectados al resto del carburante. Allí se quemarán durante la operación normal cuando el auto alcanza cierta temperatura. Deben tomarse en consideración dos tipos de evaporación en los automóviles: la estática cuando se halla estacionado y que depende de la temperatura ambiente y las pérdidas del tanque cuando el auto está en marcha. En este caso se ha determinado que la temperatura del tanque puede aumentar hasta 14°C sobre la temperatura ambiente. En el caso del diesel, constituido por moléculas menos volátiles, el problema de evaporación es muy limitado. En la figura 31 se esquematiza el sistema de control de la evaporación de carburante mediante carbón activado.

¿Y A TODO ESTO, CÓMO SE MIDE EL DESEMPEÑO DE LA GASOLINA ?

Con el fin de evaluar en forma cuantitativa las emisiones producidas por los vehículos automotores, se han desarrollado procedimientos que tratan de reproducir las condiciones reales de operación en el laboratorio. Las emisiones gaseosas reglamentadas en los automotores son: hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. La prueba DGN-AA-II-1980 es un procedimiento federal de prueba empleado para certificar los automóviles nuevos a partir de los modelos de 1975. Así, los fabricantes de automóviles deben entregar al Gobierno Federal una prueba certificada de la cantidad de contaminantes que emiten sus autos. Esto no quiere decir que todos los automóviles nuevos pasan la prueba, sino que cada año deben hacerlo sobre todo si se trata de modelos nuevos o modificaciones a los existentes. La prueba proporciona la caracterización más representativa disponible de emisiones de escape y economía urbana de combustible. Se realiza en una celda de ambiente controlado donde la temperatura y otras condiciones pueden mantenerse dentro de límites específicos. Durante este proceso el vehículo se conduce en un dinamómetro de chasís con un programa de manejo de paro y marcha a una velocidad de aproximadamente 35 km/h. Mediante el uso de volantes de inercia y un freno de agua, se reproducen las cargas que el vehículo experimentaría en el camino. Los gases de escape del vehículo se recolectan, diluyen y se mezclan completamente con el aire filtrado circundante a un flujo de volumen constante conocido. Las emisiones recolectadas incluyen un arranque en frío del motor y uno en caliente una vez que el auto ha recorrido 12 km y descansado 10 minutos. El dinamómetro de chasís reproduce la inercia del vehículo con volantes, y la carga del camino con un freno de agua. Para cada clase de peso de inercia se especifica una carga de camino que toma en consideración la resistencia aerodinámica promedio del vehículo. Un día antes del arranque en frío programado, el vehículo debe permanecer en reposo cuando menos 12 horas a temperatura entre 20 y 30°C. En el momento de la prueba el auto se empuja sobre el dinamómetro sin arrancar el motor y se conecta el sistema de correlación de emisiones al tubo de escape, un ventilador de enfriamiento funciona de acuerdo con el motor abierto. El sistema de muestreo de emisiones y el vehículo de prueba arrancan simultáneamente, de modo que las emisiones se recolecten durante el arranque del motor, el conductor sigue un programa de manejo controlado, el Programa Urbano de Manejo en Dinamómetro, creado para representar el manejo urbano en promedio. El ciclo de manejo dura 1 374 segundos y cubre una distancia de 12 km. Las emisiones de escape que se miden cubren tres regímenes de operación del motor. Las de escape, en los primeros 505 segundos de la prueba, son las emisiones transitorias frías, cuando el vehículo se calienta gradualmente a medida que se maneja en el ciclo. Las emisiones mostrarán entonces los efectos de operación de arranque en frío y las características del calentamiento del vehículo. Cuando pasan los 869 segundos restantes del ciclo, se considera que ya se ha "calentado" el auto y las emisiones son las llamadas "estabilizadas". El regimen final de la prueba tras la saturación en caliente es la sección "no transitoria" y muestra los efectos del arranque en caliente. Las emisiones de cada una de las pruebas se recogen en bolsas separadas, para analizar cuantitativamente su composición. Finalmente se cuenta la masa emitida de cada contaminante en gramos por kilómetro recorrido. La economía del combustible se mide en un dinamómetro de chasís que reproduce las velocidades y cargas típicas del manejo urbano y en carretera. La economía de combustible se calcula a partir de los datos de las emisiones de descarga, en el caso de carretera la velocidad promedio es de 78 km/h.

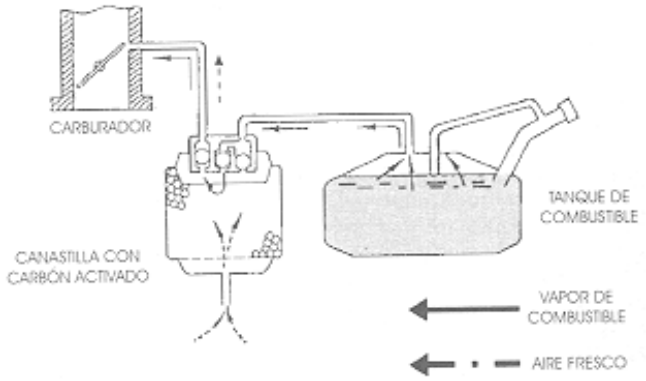


Figura 31. Esquema de un sistema a base de carbón para evitar la emisión de los hidrocarburos que se evaporan de la gasolina.

En la figura 32 mostramos un esquema general del equipo de prueba de emisiones en automóviles.

¿CUÁL ES EL FUTURO DEL CRUDO Y LOS CARBURANTES ALTERNOS?

Hacer diagnósticos de lo que va a acontecer, es arriesgado, pero debemos actuar antes que el futuro nos alcance.

Lo que acontezca con los crudos repercutirá en las gasolinas y los carburantes alternos. Existe un límite a la cantidad de crudo que podemos extraer de la tierra, las reservas disminuyen y los descubrimientos de yacimientos gigantescos se hacen cada vez menos frecuentes. Podría ocurrir que el metanol aumentara su cobertura mundial como carburante alterno por las ventajas que ofrece de no afectar la calidad del aire. Se avizora que nos veremos forzados, México en particular, a emplear crudos más pesados, más baratos que los ligeros pero que requieren de procesos de desintegración catalítica más profunda para obtener gasolina y diesel que desde luego no tendrán la misma composición química que los actuales. Habrá que adaptar estos productos a que cumplan las especificaciones precisas, por ejemplo al desintegrar más las moléculas la estabilidad hacia la oxidación se ve reducida por la presencia de más olefinas y será necesario añadir nuevos aditivos antioxidantes. Si los precios del crudo suben, la economía del combustible pasará a primer plano y es probable el uso de vehículos a diesel, aunque en los autos de gasolina que emplean bujías todavía queda mucho por hacer: incrementar el cociente de compresión, esto requerirá mayor octanaje y dispositivos que protejan la máquina para que no se dañe por la ignición.

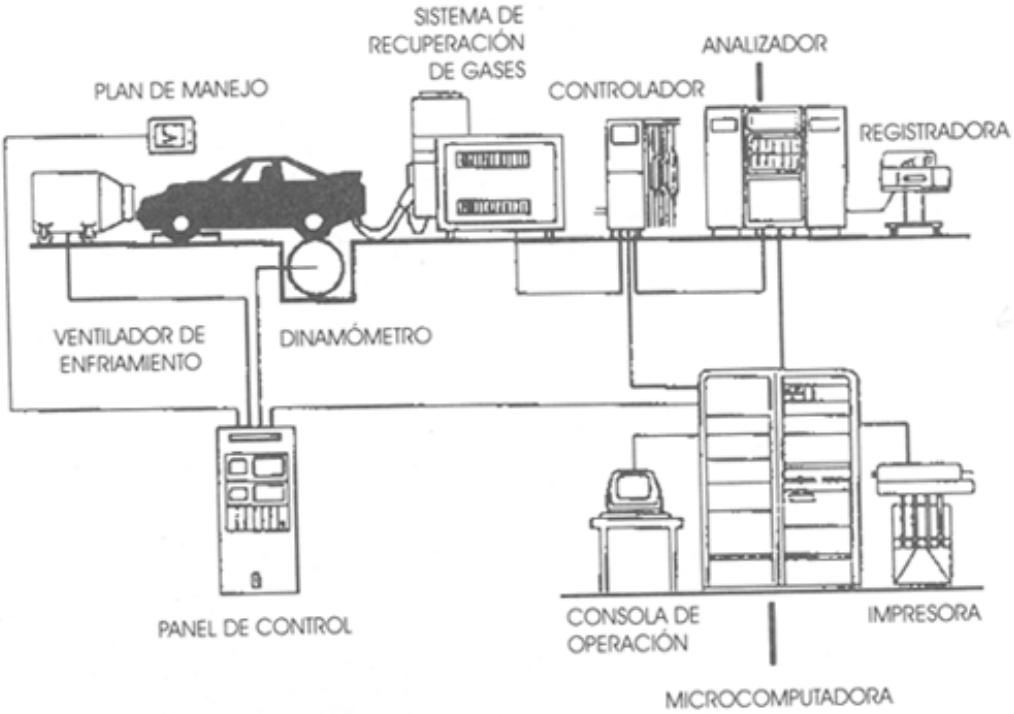


Figura 32. Esquema de un sistema de evaluación de las emisiones de automóviles.

El uso de carburantes alternos sin embargo se irá incrementando. En términos generales podemos afirmar que se desea que la transición a los nuevos carburantes se realice sin contratiempos. Además, la calidad del aire cuenta mucho ya que varios carburantes alternos no generan tantos productos nocivos.

Una alternativa, conocida desde 1925, es fabricar hidrocarburos que sirvan sintéticamente corno carburantes. ¿Cómo? Empleando el proceso de síntesis de Fischer-Tropsch que parte del monóxido de carbono, CO, y el hidrógeno. La mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno se suele llamar "gas de síntesis" y se puede obtener de diversas fuentes que incluyen el carbono y el gas natural. La reacción se realiza en presencia de un catalizador y los productos de reacción son hidrocarburos que varían en función de las condiciones de reacción, destilados intermedios, querosinas, gasóleos, que pueden ser posteriormente procesados por los métodos disponibles en una refinería.

IV. LOS CARBURANTES Y LA CONTAMINACIÓN

COMO al hombre son los pulmones, las plantas son a nuestro sofocado planeta Tierra. Desde hace millones de años se han encargado de transformar el bióxido de carbono que generan todas las especies animales que se alimentan de carbohidratos, su carburante principal. En la escuela escuchamos el estribillo del maestro de ciencias naturales: "la fotosíntesis es el proceso químico que tiene lugar en las plantas mediante el cual se transforma el bióxido de carbono del medio ambiente circundante, con ayuda de la energía solar, en carbohidratos y oxígeno". La NASA, estudió cuáles son las plantas de interior capaces de neutralizar los contaminantes comúnes dentro de las casas, como el temido benceno y el monóxido de carbono. La conclusión fue que plantas como: las Dracaenas (D. "*Janet Craig*", D. *Marginata*, D. *Massangeana*, D. "*Warneckii*"), la hiedra inglesa (*Hedera helix*) y algunos crisantemos (*Chrysantheium morifolium*) son poderosos absorbentes. No sólo piense en el aspecto decorativo de sus plantas de interior sino en su poder anticontaminante.

¿QUÉ COSAS NOCIVAS EMITEN LOS AUTOS A GASOLINA?

Antes veamos los gases emitidos anualmente a partir de datos obtenidos en EUA sobre la emisión de contaminantes por los autos de pasajeros y camiones ligeros.

Estas cifras dan una idea de la gravedad del problema a nivel mundial. Antes de seguir, vale la pena afinar los criterios que se utilizan para calificar de contaminante una sustancia.

Contaminante	*% del total en la atmósfera*	*Millones toneladas métricas*
Bióxido de carbono	19	260
Monóxido de carbono	58	16
Metano	1	0.20
Otros orgánicos	23	3.20
Óxido nitroso	35	0.15
Óxidos de nitrógeno	27	5.40

Se la considera así si al quedar expuesto a ella se incrementan las posibilidades de experimentar problemas de salud. Los compuestos tóxicos en el aire también causan problemas ecológicos. ¿Cómo se les jerarquiza? Hay tres criterios oficiales para clasificarlos:

• causan serios problemas de salud, como cáncer, defectos en los recién nacidos, muerte inmediata.

• son emitidos a la atmósfera en cantidades lo suficientemente grandes como para ser tóxicas. Esto se calcula con mediciones directas de las sustancias en muestras de aire recolectadas o bien empleando modelos de emisión.

• afectan a gran cantidad de personas.

Buena parte de los estudios sobre la contaminación por vehículos se inició en California, EUA, a principios de los años 40. La combinación de un rápido incremento en la población y por consiguiente en el número de automóviles en la zona geográfica enfocó la atención de los políticos y de los científicos para conocer qué reacciones se llevan a cabo en la atmósfera entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. Las voces aumentaron de tono y se crearon comités que recabaron datos de la calidad del aire. En 1952, el profesor A. J. Haagen-Smit del Instituto de Tecnología de California publicó estudios que mostraban que algunos hidrocarburos, en combinación con los óxidos de nitrógeno de los automóviles reaccionaban con la luz solar para producir sustancias oxidantes, entre ellas el ozono y otros productos que causan irritación de los ojos y la desintegración del hule de los neumáticos. Se puede decir que este trabajo y otro paralelo llevado por el Control de la Contaminación Aérea de Los Ángeles, en que se veía que los aerosoles se generaban por la polimerización de sustancias provenientes de hidrocarburos detectados en los autos, marcan las bases para que la comunidad científica examinara más a fondo el efecto de los gases de escape sobre la salud.

Antes de sentar en el banquillo de los acusados a la gasolina y achacarle responsabilidades contaminantes, describamos algunas características de los villanos que intervienen en la película de la contaminación, tan

mencionados y de los que sabemos poco.

EL OZONO BUENO Y EL OZONO MALO

El ozono (O_2) es una forma distinta de oxígeno (O_2), el gas indispensable para mantener la vida de los seres vivos. Bajo intenso bombardeo de luz ultravioleta desde el Sol en las inmediaciones superiores de la atmósfera, las moléculas "normales" de oxígeno, con dos átomos de oxígeno, se dividen en átomos separados (O, en vez de O_2, en términos químicos). Algunos de ellos reaccionan con el oxígeno molecular (O_2) para formar ozono (O_3). La cantidad natural de ozono en la estratósfera es tan reducida (menos de 10 partes por millón) que al nivel del mar su grosor sería similar al cristal de una ventana, pero esta capa es suficiente para impedir que la mayor parte de la dañina radiación ultravioleta del Sol llegue a la superficie de la Tierra, 6 a 18 km abajo, éste es el ozono bueno. En realidad el bueno y el malo son lo mismo, sólo que el malo se genera muy cerca del suelo de las grandes ciudades, o sea en la tropósfera, y el bueno a 18 km en la estratósfera. El ozono malo ambiental, se forma en altas concentraciones en la atmósfera de las grandes ciudades a través de reacciones fotoquímicas complejas; es el contaminante más persistente y el principal componente del esmog fotoquímico. De hecho no se produce directamente en la combustión de la gasolina, sino que algunos gases de emisión se encargan de generarlo en la atmósfera con ayuda de la luz solar.

El ozono es un irritante dañino a la salud. Muchas personas expuestas al ozono sufren irritación de los ojos, tos y molestias en el pecho, dolores de cabeza, enfermedades respiratorias, incremento en los ataques de asma y reducción en el funcionamiento respiratorio.

La OMS ha estipulado que: los datos existentes sobre los efectos del ozono en la salud nos llevan a recomendar 1 hora de exposición para concentraciones de ozono de 150-200 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$), o 0.076-0.1 partes por millón (ppm). Para disminuir el potencial de efectos adversos y crónicos y proporcionar un margen adicional de protección, se recomiendan no más de 8 horas de exposición ante concentraciones de ozono de 100-120 ($\mu g/m^3$ (0.05-0.06 ppm)). Los compuestos gaseosos principales que directamente contribuyen a la formación del ozono ambiental son los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV), dentro de los cuales se encuentran los hidrocarburos y los hidrocarburos oxigenados, ambos emitidos por el escape de los automóviles o, en el caso de los cov, por la misma evaporación de la gasolina. Por fin algunas pistas nos llevan a incluir a la gasolina, pero no nos adelantemos, las reacciones químicas que controlan el ozono atmosférico son muy complejas.

El NOx es una mezcla de NO y NO_2 (óxido nitroso y óxido nítrico) que se producen en todos los procesos de combustión por la oxidación del nitrógeno del aire o de un hidrocarburo nitrogenado que tenga la gasolina. Los automotores pueden llegar a ser tan "eficientes" que hasta el nitrógeno del aire, gas poco reactivo, con que oxidamos la gasolina resulta oxidado. El NO_2 causa posiblemente bronquitis, pneumonía, suceptibilidad a infecciones virales (vgr. gripe) y alteraciones del sistema inmunológico. También contribuye a la lluvia ácida, al esmog urbano y al ozono ambiental. En la figura 33 se ilustran las transformaciones químicas del NO en la atmósfera que conllevan a los problemas de contaminación del aire. Nótese que el NO es el compuesto inicial de todos los demás óxidos de nitrógeno. El NO no sólo se produce por la combustión de carburantes fósiles, sino también por la acción de los relámpagos sobre el nitrógeno del aire, por descomposición microbiana de las proteínas en el suelo y por la actividad volcánica.

Entre los componentes de la gasolina, al menos dos grupos de compuestos son culpables directamente de producir ozono: Los cov y los NOx. Los primeros contienen los mismos hidrocarburos de la gasolina y de los compuestos oxigenados, como los éteres y alcoholes que se agregan a la gasolina como aditivos. No se puede eliminar a los hidrocarburos para desaparecer el ozono ambiental, pero los hidrocarburos de la gasolina están compuestos por gran cantidad de sustancias y no todas contribuyen por igual a la formación de ozono. Como diferentes hidrocarburos reaccionan con el aire para generar diferentes cantidades de ozono, se necesita de una especificación completa de las emisiones de hidrocarburos. Así, un mismo volumen de hidrocarburos formará diferentes cantidades de ozono dependiendo de la reactividad de sus componentes. Como los jugadores de un equipo de futbol, anotar goles depende de la habilidad individual. Para descubrirlos se hizo un estudio con muestras de los gases del escape de los automóviles, estableciéndose su naturaleza química y las cantidades presentes. Una segunda etapa, más compleja aún fue definir la *reactividad* de esas sustancias. La reactividad se refiere al potencial de que un compuesto forme ozono al reaccionar con los NOx. Para precisar diremos que el potencial se define como el número de moléculas de ozono que se forman por cada átomo de carbono presente en

una molécula. El potencial depende de si las reacciones que se llevan a cabo en la atmósfera son controladas por los hidrocarburos presentes o por los óxidos de nitrógeno. Por ejemplo en la ciudad de México el que predomina es el último caso.

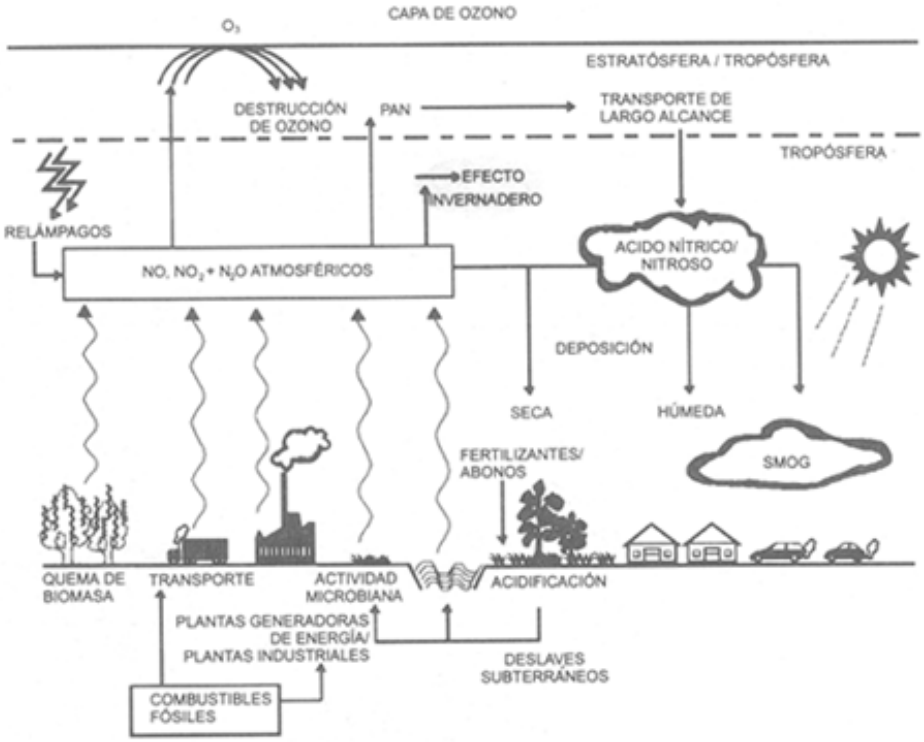


Figura 33. Ciclo del nitrógeno en el medio ambiente.

En la siguiente tabla se enlistan las reactividades relativas en gramos de ozono (potencial) por gramo de hidrocarburo de los nueve hidrocarburos más importantes en los gases de escape.

Sustancia	*g O_3 / g hidrocarburo **
Metano	0.0148
Etano	0.25
Benceno	0.42
propano	0.48
Metanol	0.56
Tolueno	2.73
formaldehido	7.15
Etileno	7.29
m-Xileno	8.16
1-3-Butadieno	10.89

* Gramos de ozono producidos por cada gramo de hidrocarburo

La importancia de identificar los componentes individuales de las emisiones radica en el hecho de la diferencia en reactividad que puede existir entre un hidrocarburo y otro de estructura diferente. Por ejemplo, el 1.3-butadieno es 700 veces más reactivo que el metano, lo que nos da un indicio de contra qué compuestos se deben de dirigir los esfuerzos para controlar las emisiones y limitar la formación de ozono.

Los compuestos o grupos de compuestos más tóxicos y que requieren control son cinco: benceno, 1.3-butadieno, formaldehído, acetaldehído y aromáticos polinucleares. Las estrategias mundiales demandan reducir entre 15 y 25% estos contaminantes por medio de las gasolinas reformuladas entre 1995 y 2000. Los porcentajes relativos de

casos de cáncer (potencial) que pueden causar seis de los contaminantes más peligrosos antes mencionados, comparados con el total de todas las sustancias de un automotor, se muestran en la figura 34.

EL EFECTO INVERNADERO

En 1822 el físico francés Joseph Fourier (1786-1830) publicó sus *Comentarios generales sobre la temperatura del globo terrestre y de los espacios planetarios*. Refiriéndose a la temperatura del planeta declaraba que el asunto era sumamente importante y uno de los más difíciles de evaluar. Distinguía los fenómenos debidos a causas naturales de los causados por circunstancias locales, "como los movimientos de aire y agua, la extensión del mar, la elevación y la forma del suelo, así como los efectos de la *industria humana*". Situaba su reflexión en el contexto de la revolución termo-industrial de su tiempo y percibía los cambios climáticos potenciales que conllevaba: "El establecimiento y progreso de las sociedades humanas y la acción de fuerzas naturales pueden cambiar notablemente el estado de la superficie del suelo, la distribución de aguas y los grandes movimientos del aire." Comparaba la atmósfera de la Tierra con los páneles de vidrio de un invernadero, ambos dejan que la luz visible del Sol entre y caliente tierra, agua, plantas y aire, pero también retardan el escape del calor hacia el espacio. Sin su atmósfera, el planeta estaría tan muerto y helado como Marte, en vez de tener una temperatura promedio de 15°C y mantener con vida a millones de especies. Al irlandés John Tyndall (1820-1893) se le reconoce haber asociado, en 1861, la transmisión del calor solar y terrestre a través de la atmósfera de la Tierra con el análisis y propiedades de los gases y vapores presentes. En un estudio de ese año se sientan las bases teóricas del efecto invernadero que él atribuye básicamente al vapor del agua, indicando que cualquier variación de la temperatura del vapor en la atmósfera debía producir un cambio en el clima, pero añadía que todo cambio en la composición química de la atmósfera tendría efectos considerables sobre el clima. El clima se enseña en las clases de geografía percibiéndose como un estado permanentemente estable. La palabra *clima* significa en griego *inclinación* y se refería a la de la vertical de un lugar respecto al ecuador. Los antiguos viajeros y navegantes no estaban muy conscientes del aspecto dinámico del clima en lo que respecta a la existencia de regímenes de vientos específicos para diversas regiones. Recuérdese que en el Renacimiento los vientos alisios empujaron a los navegantes alrededor del mundo. Fue en el siglo pasado, al interpretarse las huellas de las grandes glaciaciones, que los hombres tomaron conciencia de las variaciones naturales que se dan a lo largo del tiempo en el clima. Propiamente el efecto del calentamiento atmosférico y la teoría del efecto invernadero fueron definidos científicamente por el sueco Svante August Arrhénius (1859-1927), premio Nobel de Química en 1903, quien los relacionó con los grandes ciclos geoquímicos. Arrhénius no da al efecto invernadero connotación catastrófica sino que lo consideraba benéfico. Creía que el efecto invernadero debido a la actividad económica sería una solución técnica para impedir la próxima era glacial. Sin embargo, asocia la modificación del clima con los efectos del uso de combustibles fósiles por las naciones industrializadas.

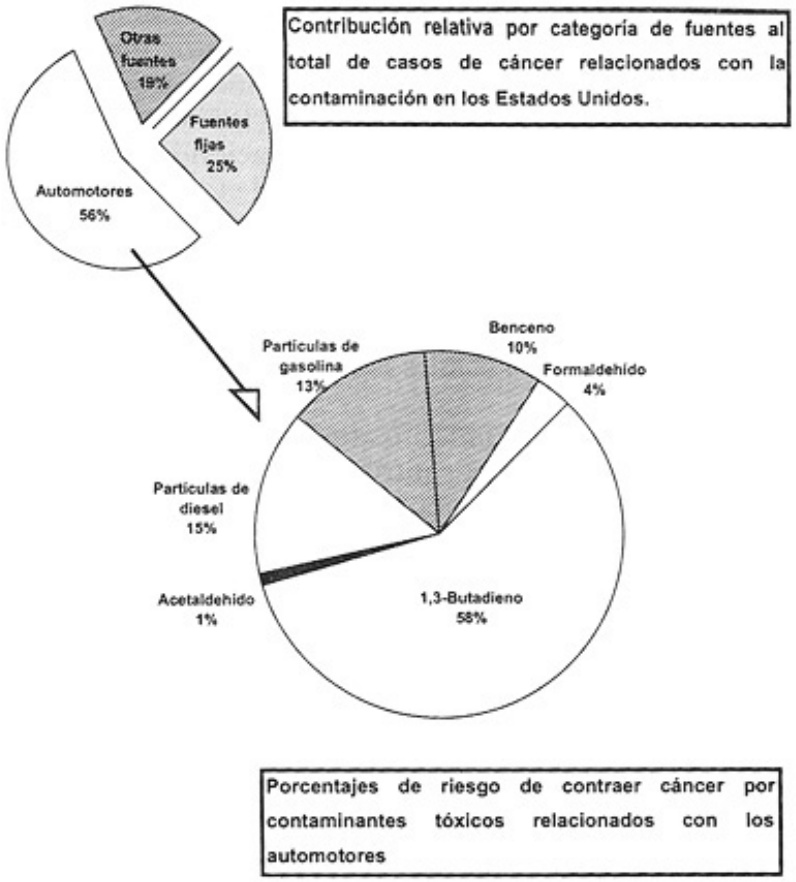


Figura 34. Contribución al riesgo de contraer cáncer debido a contaminantes tóxicos generados en la combustión de gasolinas.

¿Y qué causa el calentamiento atmosférico, si 99 % de la atmósfera está constituida por nitrógeno y oxígeno, que no absorben mucho calor? Los científicos han descubierto que el bióxido de carbono, el vapor de agua, y otros gases (aunque existan como meras trazas), absorben mucho calor. Por 32 años consecutivos (y hasta la fecha) la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera terrestre ha sido analizada continuamente y registrada en el observatorio de Mauna Loa, Hawai, por científicos de la Institución Oceanográfica Scripps y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) de EUA. Y durante este tiempo el nivel de concentración ha aumentado de manera zigzagueante por las variaciones de primavera y otoño, desde 315 partes por millón (ppm) en 1958 hasta más de 355 a mediados de 1990. En la figura 35 se muestra la tendencia alcista del CO_2 en el futuro y el papel importante que desempeñan las plantas en su control.

La forma ondulante de la curva se debe a que en primavera los árboles se llenan de hojas, retoños y flores con lo cual absorben más CO_2 (el punto mínimo del zigzag), y en el otoño los pierden (sobre todo en las latitudes septentrionales) con el consecuente abatimiento en la cantidad de CO_2 que pueden absorber. Este ciclo natural se repite cada año y, además, cada año sobreviven menos árboles por la tala indiscriminada y la lluvia ácida, que causan nuestros imaginativos métodos de ecocidio, y por nuestra enfermiza automanía.

La concentración ascendente del bióxido de carbono atmosférico (el aire atrapado en el hielo de los témpanos glaciares de hace aproximadamente 100 años contenía cerca de 280 ppm, o sea 25% menos que en 1990) es una medida irrefutable de lo que el hombre y sus máquinas han hecho a la atmósfera terrestre. Muchos científicos, estudiosos de la atmósfera, predicen que nuestro planeta se tornará cada vez más caliente, pues al quemar más y más combustibles fósiles, pondremos en el aire más gases que actúan como el vidrio envolvente de un invernadero, atrapando el calor. Aunque se responsabiliza al CO_2 de cerca de 50% del efecto invernadero, existen otros villanos gaseosos.

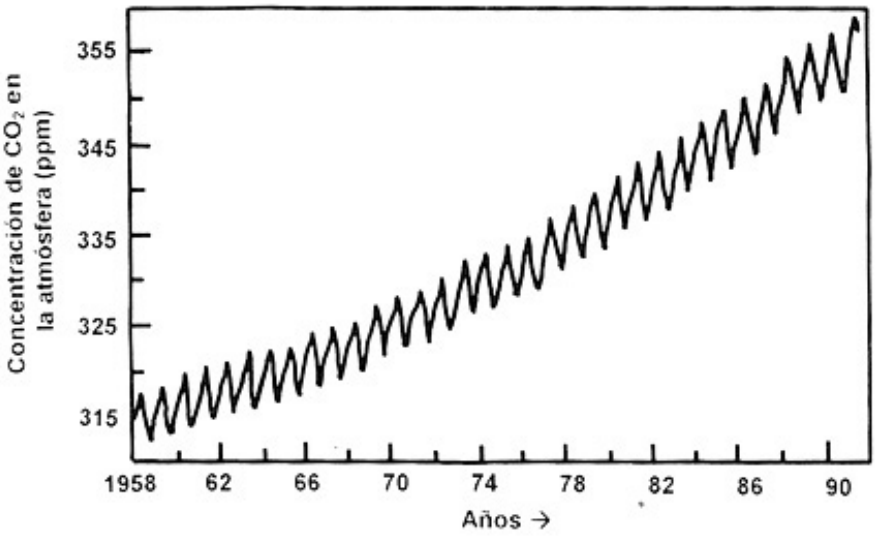


Figura 35. Concentración de bióxido de carbono en la. atmósfera.

Por ejemplo el metano (CH_4), que contribuye de 10 a 20%, al calentamiento atmosférico, absorbe 20 a 30 veces más calor que el CO_2 aunque sólo dura en la atmósfera 10 años, mientras que el CO_2 permanece 100 años. El metano ha ido creciendo en su concentración en la atmósfera, debemos recordar que lo produce la descomposición de materia orgánica por bacterias en medios anaeróbicos, o sea exentos de oxígeno y otras fuentes. La mitad de las fuentes de generación de metano son imputables a la actividad humana. En la atmósfera, el metano es oxidado sucesivamente en monóxido de carbono y en bióxido.

Los clorofluorocarbonos (CFC), son otros villanos de la contaminación. Son gases poderosos que contribuyen al efecto invernadero y reducen la capa de ozono estratosférica que protege la Tierra. Si esto continúa, la radiación ultravioleta se incrementa y también el ozono a nivel de suelo. Han sido usados en los "spray", como gases de refrigeración, y en la fabricación de transistores y espumas plásticas. Las fuentes mayores de CFC en la atmósfera son los sistemas de aire acondicionado de los vehículos. No hace diez años, 48% de los automotores nuevos contaban con aire acondicionado, y empleaban anualmente 120 000 toneladas métricas de CFC. Su uso ha sido prohibido en los vehículos nuevos, después de una trascendente reunión internacional realizada en Montreal, por su comprobada destrucción de la capa estratosférica de ozono (el ozono bueno, por supuesto). A esto contribuyen en 20% pero son 16 000 veces más termoabsorbentes que el CO_2 y permanecerán en la atmósfera causando daño al planeta durante 400 años.

LA LLUVIA ÁCIDA

La lluvia ácida es el proceso por el cual sustancias ácidas, producidas por el hombre, son depositadas desde la atmósfera hacia los ecosistemas en forma de lluvia o como partículas sólidas muy finas. La acidez se mide en una escala logarítmica (pH) de 1 a 7, donde un valor de 7 significa neutro (ni ácido, ni alcalino). La acidez se incrementa al disminuir los valores de pH.

Como se ve en la figura 36, todas las formas de precipitación con valor de pH igual o menor de 5.6, se clasifican como lluvia ácida, la cual se debe a la absorción del bióxido de carbono por el agua. Una revisión de los datos acerca de las precipitaciones pluviales en regiones diversas, dan un valor promedio global de 5.0 de pH el cual puede ser el valor límite mínimo de referencia para una lluvia "limpia". El valor "natural" del pH de la lluvia varía de región en región dependiendo del clima, el ecosistema y otros factores. Aunque la simplicidad del término *lluvia ácida* hace pensar en un fenómeno de fácil comprensión, en la figura 37 muestra que incluye complejas y variadas interacciones químicas, físicas y meteorológicas. En los primeros años de la década de 1970, fue que surgió un interés serio por la investigación científica de la lluvia ácida, la que subrayó la contribución de los compuestos de azufre en la acidificación.

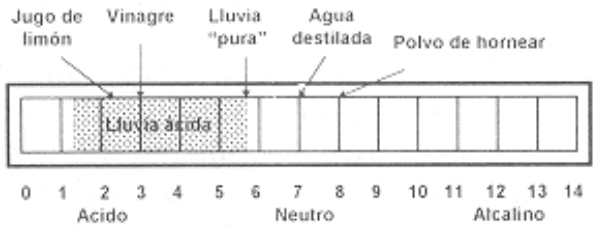


Figura 36. Escala de pH para la medición de acidez y basicidad.

Un estudio sueco expuesto en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano (1972, Estocolmo) aseguraba que la lluvia ácida se debía a las emisiones de bióxido de azufre (SO_2) de las carboeléctricas y otras industrias. Los estudios de los años setenta se enfocaron en la deposición de sulfato; los de la década siguiente develaron la contribución de otros contaminantes, precursores, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (cov). Actualmente se tiene más o menos bien definida la química global de los compuestos que producen acidez, las fuentes de los contaminantes precursores y la importancia de las emisiones NOx y cov, además del SO_2 Este reacciona con iones hidroxilo (OH^-) y produce ácido sulfúrico (H_2SO_4) . El NO_2 combinado con el agua o con los iones OH^- genera ácido nítrico (HNO_3). Los radicales o iones hidroxilo (OH^-) se forman entre los cov y los NOx. Todas estas reacciones se efectúan con luz solar y por eso se les llama reacciones fotoquímicas. El H_2SO_4 y el HNO_3 son los mayores contribuyentes del carácter ácido en el fenómeno lluvia ácida.

Los efectos de la lluvia ácida pueden ser devastadores: debilitación y muerte de los árboles (véase lo escuálido de las coníferas que rodean la ciudad de México); acidificación de la tierra y arrastre de nutrientes, y corrosión de monumentos y edificios antiguos. La reducción del contenido de azufre en los combustibles es el primer paso obligado de cualquier programa ambiental.

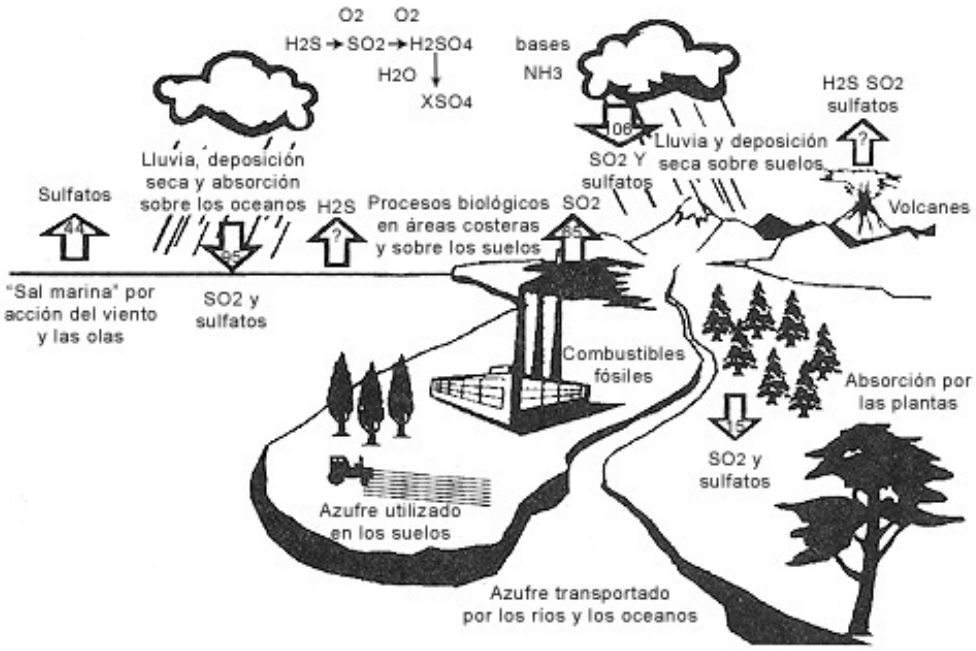


Figura 37. Ciclo del azufre en el medio ambiente.

TIPOS DE CONTAMINACIÓN POR LA GASOLINA

Los vehículos a motor, se acepta, son la fuente de mayor contaminación ambiental. Los generadores principales de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (cov), y gases responsables del efecto invernadero (CO_2 y metano). Para asignar responsabilidades cuantitativas a cada villano

contaminante, en la figura 38 se muestra la participación porcentual de los automotores en 1990.

También, pese a los esfuerzos hechos por reducir los aditivos de plomo en los combustibles, las emisiones de compuestos de plomo aún son un problema de la calidad del aire. Los vehículos a motor contribuyen con otros contaminantes tóxicos como el benceno, 1.3-butadieno y otros carcinógenos asociados a pequeñas partículas sólidas emitidas por el escape. Ya que la flota de vehículos continúa creciendo, las emisiones de los vehículos a motor y los productos de su transformación en la atmósfera se han convertido en parte importante de casi cualquier problema de contaminación.

La Agencia de Protección Ambiental de EUA enlista las 20 sustancias más peligrosas y prioritarias en su abatimiento en orden decreciente de amenaza. De los primeros cinco, dos están asociados con los carburantes: 1) *plomo*, 2) arsénico, 3) mercurio, 4) cloruro de vinilo, 5) *benceno*.

La gasolina genera dos contaminantes: 1) sus vapores, y 2) los productos (generalmente gaseosos) de su combustión.

La evaporación del combustible en algunas partes del sistema motriz contribuyen a la emisión global de hidrocarburos en alrededor de 30% del total de las emisiones de cov de fuentes móviles. Cada vez se imponen regulaciones más estrictas a la emisión de los gases de la combustión vehícular, pero no a la emisión evaporativa, que se hará cada vez más importante. Con las tecnologías disponibles, trampas de carbón activado que absorben cov del tanque del combustible y unidades de recuperación de vapores en las estaciones de gasolina, se podría reducir la emisión evaporativa de 70 a 90%. La volatilidad de las gasolinas es el parámetro a controlar para reducirlas. Las refinerías producen gasolinas para el verano, el invierno y ciertas regiones. La presencia de moléculas de peso ligero en ellas, como el butano, causan que el combustible sea más volátil. Los vapores de la gasolina pueden emanar de la ventilación del ducto de entrada al tanque de la gasolina, o bien del carburador y representan 20% de los contaminantes que arroja un vehículo. Otro 20% proviene del cárter y lo constituyen hidrocarburos con poco CO y pequeñas cantidades de NOx. En los vehículos nuevos 95% de la contaminación viene del escape, y la formación de hidrocarburos, CO_2 CO y NOx.

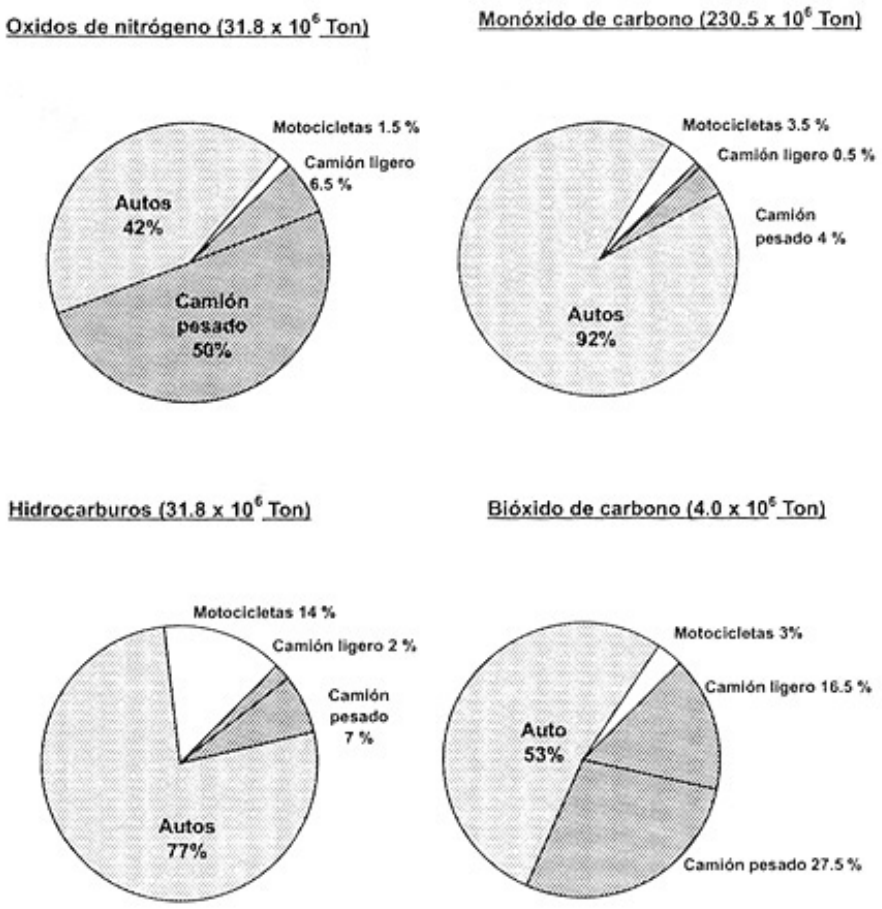


Figura 38. Contribución de los vehículos a la generación de los principales contaminantes.

En el caso ideal de una gasolina 100% de hidrocarburos que fuera totalmente oxidada (la combustión es una reacción de oxidación) durante la combustión en el motor, se producirían sólo dos compuestos: CO_2 y vapor de agua. Aunque el primero no es nocivo (de hecho generamos CO_2 al quemar nuestra "gasolina" interna: carbohidratos y grasas), cuando se acumula en la atmósfera es el mayor responsable del efecto invernadero. De aquí que, en el mejor de los casos, los gases de la combustión de la gasolina alteren el equilibrio atmosférico. Por cada litro de gasolina consumido por un automotor, unos 2.4 kg de CO_2, se van a la atmósfera.

Los óxidos de nitrógeno, NOx, no son producto de la combustión; se forman cuando la presión y la temperatura son muy altos. Controlar las emisiones de NOx es difícil y el único método es reducir la compresión y temperatura de combustión. Pero el motor es un convertidor térmico que libera la energía de la gasolina en forma de calor y la emplea en forma de gases expandidos para empujar el pistón y propulsar el vehículo. Si se disminuyera la presión y la temperatura máxima de combustión no utilizaríamos toda la energía de la gasolina, reduciendo así la eficiencia del motor.

EL CONVERTIDOR CATALÍTICO,

Un accesorio que se ha incorporado al automóvil para abatir la concentración de algunos contaminantes producto de la combustión de la gasolina es el convertidor catalítico que, a diferencia del mofle, sólo un silenciador, incorpora materiales cerámicos de alta tecnología a los cuales se les ha incorporado pequeñas cantidades de metales como platino, paladio y rodio que actúan como catalizadores, éstos son sustancias que aceleran o facilitan una reacción química, lo que implica menor consumo de energía. Muchos procesos químicos en los que se convierten moléculas de un tipo a otro emplean catalizadores, mas es la primera vez que el automovilista se beneficia de éstos, figura 39.

El convertidor catalítico capaz de reducir simultáneamente emisiones de hidrocarburos, CO y NOx, se empleó en México por primera vez en 1991. El platino y el rodio, por medio de reacciones de reducción abastecidas por el calor que portan los gases de combustión eliminan los átomos de oxígeno de las moléculas de NOx para formar nitrógeno y oxígeno; el platino y el paladio, con reacciones de oxidación (al convertidor catalítico se le inyecta aire con este fin) contribuyen a que los hidrocarburos y CO de los gases de escape se transformen en CO_2 y H_2O. Para que los convertidores catalíticos funcionen correctamente deben cumplir requisitos como:

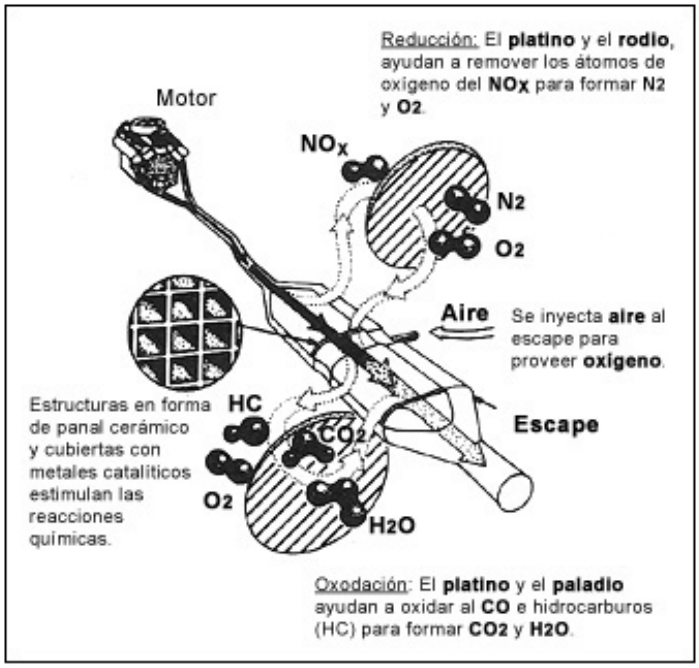


Figura 39. El convertidor catalítico trimodal.

• Un control preciso de la cantidad de mezcla hidrocarburo/aire que sólo se logra con los nuevos carburadores y sistemas de inyección de combustible. Tener un sensor de oxígeno en los gases de escape.

• Evitar los aditivos con plomo pues causan daños irreversibles al convertidor catalítico.

EL CONVERTIDOR FRÍO Y SUS CONSECUENCIAS

Persiste un problema con los convertidores: al encenderse el motor tardan unos minutos en llegar a la temperatura óptima de operación. El catalizador es un sólido que acelera las reacciones de conversión de los gases nocivos en otros que lo son menos, mas para realizar esta operación debe alcanzar la temperatura en la cual es eficiente. Al poner en marcha un automóvil tras un periodo de un par de horas de no usarlo, los gases de emisión llegarán al catalizador que se encuentra a una temperatura más baja de la que requiere, y se considera que el tiempo que le lleva alcanzar su temperatura óptima hace que se produzcan más hidrocarburos nocivos de los que se generarán ya en marcha normal.

Entre 70 y 80% de hidrocarburos —otros que el metano—escapan a la conversión del catalizador en los dos minutos después de encender el auto. Si se acostumbra hacer viajes frecuentes y cortos en que el motor esté frío, se contaminará como si no tuviera convertidor catalítico. Por eso se piensa fabricar convertidores catalíticos que vayan más cerca del motor y aprovechar el calor generado de la combustión, así como dispositivos que se calientan rápidamente, mediante resistencias eléctricas, capaces de reducir las emisiones de NOx y CO (50% más) y las de hidrocarburos (85% más). En la siguiente tabla se muestran algunos resultados comparativos de los gases de emisión utilizando diferentes tecnologías. El tiempo de vida media de un convertidor catalítico es de unos 150 000 km, pero varía con el mantenimiento y la gasolina utilizada.

Valores de los gases de emisión con varios controles técnicos para vehículos ligeros

	Valores de emisión de gases en el escape (g/km)			
Estándar o control	*CO*	*HC*	*NOx*	*MP**
Control modesto (vgr. Modoficaciones del motor en 1980)	15.9-34.9	1.5-2.3[a]	2.0-3.3	---
Control actual (convertidor catalítico trimodal) EUA	2.10	0.25	0.62	0.12
Europa	3.16	1.13[b]	0.18	---
Japón	2.10	0.62	0.48	---
Control de tecnología de punta (californiana, 1993)	2.11	0.15	0.24	0.08
Tecnología avanzada de control				
1)Vehículo pequeño convencional + catalizador conectado cerca del motor; vehículo a gasolina reformulada M85, E85[c] + catalizador; vehículo a CNG/LPG[d]+ catalizador; calentado.	2.11	0.077	0.024	---
2) Vehículo convencional + catalizador calentado eléctricamente; vehículo a gasolina reformulada M85, E85 o vehículo a CNG/LPG + catalizador conectado cerca del motor	2.11	0.046	0.12	---
3)Vehículo pequeño convencional o vehículo a gasolina refurmulada + catalizador calentado eléctricamente; vehículo a CNG + catlizador acoplado cerca del motor o calentado; vehículo a LPG + catalizador calentado; o vehículo eléctrico / eléctrico híbrido	1.05	0.024	0.12	---

*Materia en forma de partículas

[a] Los motores de 2 cilindros pueden tener emisiones de hidrocarburos hasta 9 veces más altas, del orden de 16 g/km.

[b] Los estándares actuales de la Comunidad Europea registran el valor de la suma de (HC + NOx).

[c] M85=Combustible con 85% metanol; E85=Combustible con 85% etanol.

[d] CNG=Gas natural comprimido; LPG=Gas licuado LPG.

¿SE PUEDE CONTAMINAR IMPUNEMENTE?

Como vimos, muchas cifras y datos se basan en mediciones de laboratorio, que no reflejan las condiciones del mundo real. Pero en la selva de automóviles de una gran ciudad, ¿quién contamina más? Existen sistemas de medición remota, el más famoso es el desarrollado por investigadores de la Universidad de Denver, que mide la relación monóxido de carbono/bióxido de carbono y la de hidrocarburos/bióxido de carbono, directamente de las emisiones de los automóviles que cruzan un rayo infrarrojo situado en una calle, a 25 centímetros sobre la superficie. El sistema incluye un video que graba la placa del auto, día, hora y concentración. El sistema puede funcionar en autopistas de hasta 18 m de amplitud. Sin embargo, la lluvia puede provocar la dispersión del rayo. El aparato puede medir 1000 vehículos por hora. En un experimento, se midió la emisión de 10 000 autos, y se concluyó que la mitad del monóxido de carbono emitido provenía del 10% de los vehículos, más aún, los 47 autos más contaminadores emitían tanto monóxido como 2 500 de los más limpios. La conclusión irónica es que la identificación, reparación o eliminación de los autos más sucios puede tener un costo-beneficio mayor que todo el programa de reformulación de gasolinas y adición de oxigenados, si bien estos últimos, al sustituir a los aromáticos, tienen efecto benéfico. Los autos más viejos son siempre los más contaminantes, pues los coches "afinados" para obtener más potencia se convierten en grandes contaminadores.

TENDENCIAS FUTURAS

Vivimos en un planeta misericordioso, con mecanismos complejos y eficientes que eliminan los contaminantes naturales. El proceso de putrefacción, la neblina marina y las erupciones volcánicas liberan más azufre que todas las plantas generadoras de energía, siderúrgicas e industrias. Los relámpagos crean óxidos de nitrógeno como los automóviles y los hornos industriales, y los árboles emiten hidrocarburos llamados terpenos. Y entonces, ¿para qué preocuparnos si nuestro planeta puede de alguna manera compleja hacer frente a los contaminantes?

Durante millones de años esas sustancias se han reciclado a través del ecosistema, cambiando de forma. Pasan a través de los tejidos de plantas y animales, se hunden en el océano, regresan al seno de la tierra y en una erupción o un terremoto vuelven a la superficie o la atmósfera para reiniciar el interminable ciclo. Un átomo de oxígeno lo completa cada 2 000 años. Una bocanada del aire que usted respira en este momento pudiera contener el mismo oxígeno que inspiró a Newton.

¿Podrá nuestro planeta soportar las 80 millones de toneladas de azufre adicionales que arrojamos cada año? ¿Qué será de las plantas que absorben los óxidos de nitrógeno (NOx) adicionales que generan los relámpagos miniatura dentro de los automotores? ¿Resistirá la atmósfera las cargas extra de bióxido de carbono, metano y clorofluorocarbonos que, dicen los científicos, provocarán el incremento global de la temperatura por el efecto invernadero? Tal vez el planeta pueda adaptarse con el tiempo, siempre lo ha hecho pero... ¿podremos hacer lo mismo? La sobrecarga de contaminantes puede alterar la vida, y esto podría ser para siempre.

Dice el proverbio que "tanto peca el que mata la vaca como el que le agarra la pata". Los consumidores de gasolina son tan culpables como los fabricantes de autos o gasolina. Esta mutua culpabilidad implica la interdependencia que nos hace posible distanciarnos de ella por medio de una concientización respecto al uso del automóvil. Recuerde a las hormigas, que desde una escala apropiada llegan a construir hormigueros del tamaño de una montaña, transportando cada individuo sólo un guijarro a la vez. Así será posible disminuir la cantidad de contaminantes.

Parece que la idea de progreso está ligada a la posesión de un auto y éstos distan mucho de ser máquinas

perfectas. No sólo desde el punto de vista termodinámico (¡muy poca de la energía generada en la combustión del motor mueve el auto!) sino desde el punto de vista ambiental que, como vimos, es una caja que emite un coctel de sustancias tóxicas que pueden envenenarnos y podrían contribuir a cambiar para siempre el equilibrio ecológico del planeta.

Esta concientización pretende cambiar el acto mecánico e irracional de tomar las llaves del automóvil y conducir, por otro acto en el que participen la razón, el sentido común y el respeto ambiental. Sólo existe una recomendación: use su automóvil de manera inteligente.

TECNOLOGÍA AUTOMOTRIZ: DEL DISEÑO CAPRICHOSO AL RESPETO AMBIENTAL

El lector debe estar familiarizado con las películas de los años sesenta y setenta, donde el actor corría en un automóvil con enormes alerones posteriores que típificaban la idea de la belleza en los autos. Pues hay malas noticias, a sólo veinte años ya no encajan en nuestra idea de superhéroes, ni los actores ni sus mastodontes automotrices.

Ahora, el diseño de los automóviles no obedece al capricho de la moda sino a las necesidades de la tecnología y el sentido común (esa lógica oculta que llevamos todos y que pocos podemos definir). La tecnología ha creado materiales que mejoran el automóvil: plásticos, aleaciones metálicas ligeras, motores y gasolinas más eficientes, etc. Pero es el sentido común el que impone las nuevas reglas de diseño que nos lleva a considerar el medio ambiente. No por capricho la carrocería se ha vuelto "redondeada" o en términos técnicos, que se haya vuelto más aerodinámica para oponer menor resistencia al aire, ahorrar combustible y contaminar menos. Note en la figura 40 la evolución de la carrocería de los coches de 1922 a la fecha. La crisis petrolera de 1980 elevó el precio del crudo y marcó el inicio de iniciativas enfocadas a hacer más eficiente la gasolina y a generar la busca de fuentes de energía alterna. La fuerza motriz de estos esfuerzos era económica y no importaban los humores gaseosos de los automóviles. El sentido común vuelve a imperar en los años noventa cuando se puso atención en las consecuencias de generar gran cantidad de tóxicos volátiles.

El medio ambiente y la atmósfera imponen ahora las reglas del juego en el diseño de coches. Los caprichos artísticos y las tecnologías *per se* son menos importantes que la relación automotor-medio ambiente. La tecnología automotriz progresa vigilada por una creciente conciencia ecológica en forma de leyes y reglamentaciones cada vez más estrictas. El propósito de este libro no es, sin embargo, ponerlo en rebelión contra su vehículo o las gasolinas, sino ofrecer una perspectiva realista y más completa de las implicaciones de ser propietario de un auto.

Figura 40. Transformación de la carrocería de los automóviles a través de los años.

LOS VEHÍCULOS DE HOY

En la actualidad son comunes los prototipos de autos con tecnologías diferentes a la sopa de hidrocarburos con que creció el corcel mecánico: la carrocería va forrada por costosas celdas solares, lo impulsan pesadas baterías o celdas de combustible o una combinación de algunas o todas. Seamos realistas, aunque no está lejos el día en que las energías alternativas reemplacen el motor de combustión interna, los automotores de gasolina y diesel dominarán los caminos por varios decenios. El precio del petróleo es menor que otro tipo de energía y existe una enorme infraestructura económica: refinerías, gasolinerías, industria automovilística, talleres mecánicos, etc. Miles de empleos dependen de ella directa o indirectamente y sería imprudente un cambio drástico.

El lector debe enterarse del cambio que experimentará el automóvil en el futuro cercano. Todo indica que lo más viable es incrementar su eficiencia, que rinda más con menos gasolina. Como el automóvil está constituido por cientos de partes, cada una con su función definida, primero localicemos las deficiencias energéticas que aporta cada una. Por ejemplo, el consumo de combustible es mayor en lugares donde el tránsito es pesado, cuando se arranca y se frena con más frecuencia. El término "carga de uso final" define cualquier aspecto de la operación del vehículo que consuma la energía provista por el motor; pueden ser pérdidas en forma de energía calorífica en el frenado, la fricción de las llantas, la fricción y la resistencia aerodinámicas y accesorios como el aire acondicionado. La energía necesaria para enfrentar estas cargas se multiplica por la necesidad de sobreponerse a las pérdidas a través del sistema de transmisión que integran el motor, la transmisión y los componentes asociados que convierten la energía química del combustible en energía mecánica útil que mueve también los accesorios. Tomando en cuenta la termodinámica de la combustión y la fricción, sólo un sexto de la energía de la gasolina se emplea en las "cargas de uso final", los sistemas de transmisión actuales son eficientes en sólo 17 por ciento.

En la figura 41 se ilustra el incremento en el consumo de energía, en términos de litros de gasolina, en los más importantes componentes del auto: la energía perdida en neumáticos, resistencia aerodinámica, frenado y accesorios. Los requerimientos energéticos se multiplican por 1.11 para sobreponerse a la fricción de la transmisión, y después por un factor igual a 2.2 para vencer la fricción del motor. Finalmente, las pérdidas durante la combustión (recuérdese que la energía de la combustión se pierde en forma de calor) incrementan la demanda energética 2.5 veces más. Así, el uso de nuevos materiales, diseños y tecnologías que minimicen las pérdidas en las etapas iniciales incrementará la eficiencia total.

Irónicamente, una de las mayores cargas que soporta el vehículo es su propio peso. Un vehículo liviano requiere menos energía y puede emplear un sistema de transmisión pequeño. Aunque este análisis lleva a reducir el tamaño del coche, nos referimos más bien al empleo de materiales más resistentes y ligeros, sin sacrificar tamaño ni capacidad de carga.

Los diseños más redondeados de la carrocería han reducido la resistencia aerodinámica en 25%, como se ve en la figura 40.

Un refinamiento de más trascendencia en el motor es la inyección de combustible efectuada en los cilindros del motor. La manipulación cuidadosa del flujo de la mezcla comburente y los gases de la combustión a través de los cilindros puede aumentar considerablemente la eficiencia mecánica. En los motores comunes, el cuándo y hasta dónde se abren las válvulas depende de la posición del pistón, pero no de la velocidad del motor o de la carga. Las nuevas capacidades de medición y control electrónicos y métodos de manufactura muy precisos hacen posible el control variable de las válvulas. Esta técnica mejora considerablemente los flujos de entrada y salida en el cilindro en una gama amplia de condiciones. La mayor apertura de las válvulas incrementa la potencia, permitiendo la reducción en el desplazamiento de los pistones. Antes, su alto costo limitaba la instalación de mecanismos de control variable de válvulas. Ahora el diseño avanzado y las técnicas de ensamble permiten su amplia aplicación. Desde finales de los años ochenta, los fabricantes japoneses han aumentado la incorporación del control variable de válvulas en Japón y en EUA.

Sea pesado o ligero el vehículo, las ineficiencias del sistema de transmisión causan daño en la economía del combustible. Para mejorar el sistema de transmisión hay que reducir la fricción del motor, que consume 50% del combustible. Dentro del motor, el movimiento ascendente y descendente de los pistones a través de los cilindros provoca fricción. El volumen combinado de los pistones se llama desplazamiento del motor. Un motor grande proporcionará mayor potencia, pero pagará el precio de mayor fricción. La fricción por rozamiento se da en las autopartes: válvulas, pistones y árbol de levas, entre otros. Hay pérdidas por fricción en el abanico del radiador y la bomba de agua. También hay fricción de bombeo cuando la mezcla de aire y combustible se introduce en los cilindros y es expelida como gases de combustión. Sitio particular de fricción de bombeo es la válvula de

admisión que controla la entrada de aire al motor. Sólo los refinamientos en diseño, manufactura, materiales y lubricación, minimizarán la fricción.

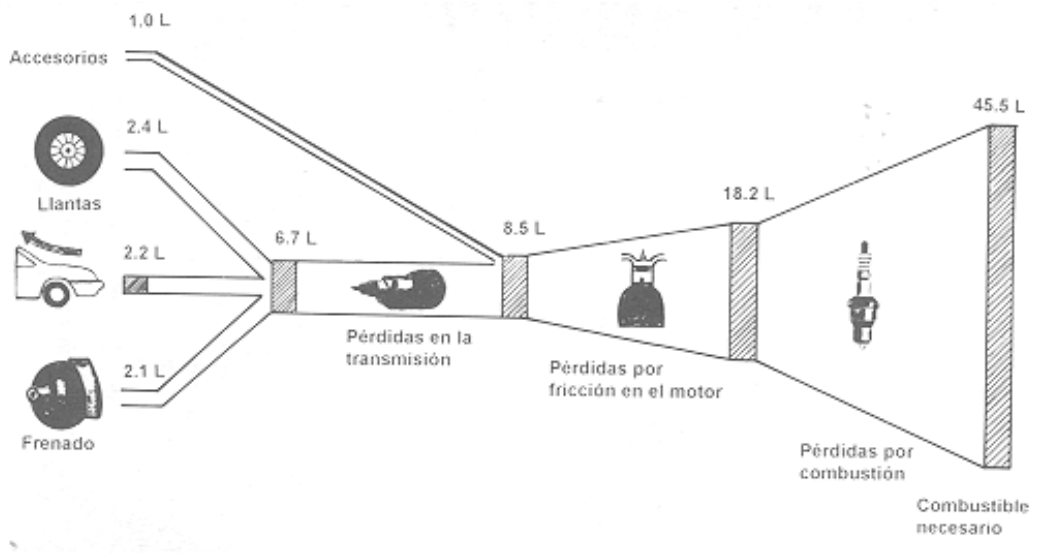


Figura 41. Requerimientos energéticos de los componentes de un automóvil.

Otro refinamiento de la tecnología del motor es la sustitución del motor de cuatro tiempos por el de dos tiempos. Éste sólo contiene dos pistones y menor área interna de rozamiento por fricción, lo que resulta en menos pérdidas friccionales.

La compañía japonesa Kyocera ha dirigido sus esfuerzos a crear un prototipo de motor fabricado de material cerámico de alta tecnología, que sustituiría al hecho de hierro forjado. Sería más ligero y con menos pérdida calorífica. El aumento en temperatura de la combustión hará el proceso más eficiente, pero generará más óxidos de nitrógeno. Se requerirá de un convertidor catalítico más eficiente.

EL PLANETA DE LOS AUTOMÓVILES

En Los Ángeles, EUA, un informe oficial indicó que los automóviles ocupan un espacio bastante mayor que los habitantes, y no se pasó de allí. En Europa sí se toman medidas al respecto. Eduardo Galeano, columnista de *La Jornada* escribe que en 1992, en un plebiscito en Amsterdam, Holanda, los habitantes votaron por reducir el espacio que ocupan los autos, ya bastante limitado, a la mitad. Tres años después en Florencia, Italia, se prohibió el tránsito de coches privados en el centro de la ciudad y se espera que se extienda al resto a medida que se multipliquen las vías de transporte público, las vías peatonales y las ciclovías (caminos exclusivos para las silenciosas, no contaminantes y quema-grasas bicicletas, inventadas hace 500 años por otro vecino de Florencia: Leonardo da Vinci). "La salud no es negociable", declaró el responsable de los transportes de Florencia, en 1996, y añadía que será "la primera ciudad europea libre de automóviles".

Amsterdam y Florencia son excepciones a la regla. El mundo se ha motorizado aceleradamente a medida que crecen las ciudades y con el desgano e indiferencia competitiva del transporte público que ha quedado rezagado. En Alemania, en 1950, trenes, metro y tranvías transportaban 75% de las personas y ahora sólo 20%. El promedio de personas transportadas en Europa por medios públicos es 25%, elevado si se compara con 4% en EUA donde el automóvil ha aniquilado al transporte público.

En México poco se ha hecho por desmotorizar las ciudades y devolvérselas a sus habitantes. En Monterrey y en Mexicali, la remodelación de sus edificios gubernamentales dio lugar a una Macroplaza y un Centro Cívico, donde sólo peatones y bicicletas tienen acceso. Sin embargo, no se ha extendido al resto de Monterrey o Mexicali, ni ha sido imitada por otras ciudades que más lo necesitan. El D. F., Querétaro, Guanajuato, Puebla y San Luis Potosí, bellas ciudades coloniales donde sus centros históricos con magníficas obras arquitectónicas han sido invadidos por las cajas humeantes de cuatro ruedas.

Las estrictas reglamentaciones acerca de las emisiones contaminantes han impuesto grandes cambios a la reformulación de la gasolina, costo que se verá reflejado en incrementos cada vez mayores al precio por litro de la

gasolina. Además, como el petróleo es un recurso no renovable y finito, no está lejos el día en que las reservas mundiales escaseen y el precio de los carburantes sea prohibitivo. Lo que tal vez reduzca el uso del auto. Pero el auto en sí es un material contaminante. ¿Qué se hará con tanta chatarra?

REDUCCIÓN, REUSO Y RECICLADO DE DESECHOS

Los desechos son, generalmente, materiales cuyo destino final será el basurero si se trata de sólidos, su tratamiento y ser vertidos en acuíferos o su emisión a la atmósfera. Las tendencias actuales demandan su reducción, su reutilización o su reciclado y estas opciones constituyen la medida del desempeño ambiental. La protección del ambiente es elemento crítico del funcionamiento de una industria, y el aspecto ambiental se toma cada vez más en cuenta junto con el costo, la calidad y el desempeño, para calificar los beneficios económicos. Por esta nueva conciencia ambiental los materiales de construcción de los autos tienden a reutilizarse o reciclarse. Los huaraches o sandalias con suela de llanta son ejemplo de la reutilización de neumáticos. En algunos hipódromos de Inglaterra se ponen llantas picadas en la pista para amortiguar el golpe de las pezuñas de los caballos contra el suelo. El hierro de la carrocería, el chasís, el motor, el sistema de transmisión, etc., los hace reciclables. Sin embargo, la mayoría de los plásticos y fibras sintéticas del interior del automóvil son difíciles de reciclar.

DISEÑAR PARA EL AMBIENTE

En la actualidad, las preocupaciones por el medio ambiente de una compañía deben de ir más allá de la generación de desechos o el uso de energía. Muchos factores dictan la necesidad de poner atención al diseño de producción y a lo que sucede al producto terminada su vida útil. Que un producto sea ambientalmente compatible se relaciona con la experimentación y el conocimiento del ciclo de vida del producto. Los métodos desarrollados van del análisis cuantitativo riguroso a evaluaciones cualitativas. *El Análisis del Ciclo de Vida* de un producto valora cuantitativamente y de la manera más comprensiva posible las consecuencias ambientales de un producto, empaque, proceso o práctica. Considera la entrada de materias primas y el gasto de energéticos y las salidas relacionadas con la manufactura, uso y eliminación del producto, incluyendo el riesgo ambiental. El análisis del ciclo de vida de un producto no implica análisis cuantitativos o cualitativos rigurosos de todo el impacto ambiental durante el ciclo. El diseño puede ser mejorado al considerar el periodo útil de los productos y los pasos a seguir para desarrollar productos de calidad ambiental superior.

En el primer estadio del análisis, *la adquisición de los materiales* es importante desde el punto de vista del ambiente y de las perspectivas de calidad de las materias primas. En el segundo, *manufactura o producción*, las estrategias son conocidas. Se debe reducir al mínimo la emisión de gases contaminantes, disminuir los desechos sólidos y líquidos, conservar el agua y la energía, reducir la toxicidad (asegurando la salud y seguridad de los trabajadores durante la producción) y no comprometer la salud y seguridad de los compradores recicladores y manejadores de desechos. Las compañías deben buscar también nuevos usos de los desechos o maneras de convertirlos en recursos cambiando los procesos de producción. En el tercer estadio, las empresas deben de considerar también la *venta de funciones* en lugar de la de productos. Por ejemplo vender comunicación en lugar de teléfonos, refrigeración en lugar de refrigeradores, transporte en vez de automóviles.

Esto requiere de sistemas organizacionales y funcionales de estrategias que incluyan ingeniería preventiva, sistemas de diseño flexibles y sistemas de construcción, productos y componentes que requieran un mínimo de mantenimiento. Deberá incluirse el desarrollo de diseños modulares que se adapten a las necesidades tecnológicas y de los usuarios a través del escalamiento. Finalmente, cambiar venta por funciones requerirá el manejo del riesgo y la satisfacción del usuario en todos los niveles del proceso de manufactura, entrega, uso, y disposición dentro del sistema del cual el producto es un componente.

El estado final de un producto es la manera en la que *es desechado* por el usuario. La atención al respecto proporciona otra oportunidad en su mejoramiento. La eliminación de materiales tóxicos de un producto será una medida prudente si al final de su uso éste únicamente se tira. Si puede ser reutilizado o refabricado, se le diseñará para que tenga largo tiempo de vida y que sea fácilmente reciclable. Así, debe disminuir la diversidad de las materias primas que se utilizan en su elaboración.

Los primeros pasos para lograr que una empresa entre al desarrollo sustentable serán la identificación de los problemas técnicos más críticos, investigar o implementar programas experimentales con participación de recursos de la empresa y del gobierno. En un contexto amplio, los esfuerzos de una empresa relacionados con los

aspectos ambientales son el centro de un movimiento hacia una economía que alcance un equilibrio saludable entre los recursos de la Tierra y los ecosistemas.

La industria, en su papel de transformador primario de la energía y los materiales desempeña un papel crítico en los esfuerzos por un desarrollo económico sustentable. Sin embargo, cada vez es más claro que las empresas pueden determinar las consecuencias ambientales de sus acciones. La ecología industrial ilustra cómo el cambio en ciertos factores, como la adquisición de las materias primas, los procesos de producción, el diseño de los productos, la evaluación de los aspectos regulatorios y de mercado, las estrategias de manejo, el comportamiento del consumidor, así como las tecnologías desarrolladas para mitigar los efectos, pueden mejorar o degradar la calidad del ambiente.

En este sentido la evolución de este campo sentará las bases de una visión global de lo que se debe hacer para mantener y mejorar el ambiente natural.

Inicio

GLOSARIO

aditivos. Productos químicos que se añaden a la gasolina o al diesel en pequeñas proporciones para mantener y/o mejorar su calidad. (La definición se limita al tema de este libro).

análisis costo-beneficio. Técnica que intenta destacar y avalar los costos y beneficios sociales de proyectos de inversión para auxiliar a decidir si deben o no ser realizados.

antioxidante. Producto químico usado para evitar la formación de las gomas que se forman al oxidarse la gasolina.

aromáticos. Componentes de alto índice de octano que poseen un anillo de benceno en su estructura molecular. Los aromáticos son hidrocarburos.

bacteria. Organismos vegetales microscópicos, generalmente sin clorofila, esencialmente unicelulares.

biomasa. Cualquier material orgánico que es renovable, como las cosechas agrícolas y sus residuos, la madera, la fauna, los desechos, las plantas acuáticas y que se emplean para producir energía.

benceno. Uno de los componentes básicos del grupo de los aromáticos. Tiene alto valor en la industria química de la transformación.

biodegradables. Sustancias que pueden ser descompuestas por los procesos biológicos naturales.

butano. Hidrocarburo ligero usado para elevar el octano e incrementar la volatilidad de la gasolina.

catalizador. Sustancia que se añade a una reacción química con el fin de facilitarla o llevarla a cabo. Al completarse la reacción el catalizador permanece inalterado.

celulosa. Sustancia orgánica presente en las membranas de las células vegetales.

contaminación ambiental. Presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o cualquiera de sus combinaciones que perjudican o resultan nocivas a la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o que degradan la calidad del aire, agua, suelo o recursos naturales en general.

curva de destilación. Gráfica en la que se unen los puntos a los cuales cierto porcentaje de gasolina se evapora en función de la temperatura. La curva de destilación se emplea como control de los parámetros de la gasolina como la volatilidad.

densidad. Masa de una sustancia por unidad de volumen.

deshidrogenación. Reacción química en la cual un hidrocarburo pierde los hidrógenos de su estructura.

detergente. Aditivo usado para prevenir o limpiar los depósitos que se forman en el carburador o en los sistemas de inyección.

dinamómetro. Aparato que se utiliza para medir la potencia del auto.

electrólisis. Descomposición química de sustancias en solución haciendo pasar a través de ella una corriente eléctrica.

energía. Facultad que posee un sistema de cuerpos de proveer trabajo mecánico o su equivalente.

esmog. Voz inglesa que se emplea para denominar la contaminación del aire, particularmente por oxidantes.

etanol. Alcohol etílico o de grano. Se obtiene por la fermentación de diversos granos. Incrementa el octano en la gasolina. Es un carburante oxigenado y puede emplearse casi puro en los autos especialmente diseñados para su

uso.

fotosíntesis. Proceso por el cual la energía proveniente del Sol se usa para formar ligaduras de energía química que mantienen unidas las moléculas orgánicas. Las materias primas inorgánicas usadas en la fotosíntesis son el bióxido de carbono y el agua.

gas natural. Mezcla de hidrocarburos que existe en estado gaseoso o mezclado con el petróleo crudo. Los hidrocarburos principales tienen entre 1 y 5 átomos de carbono. Se le llama no asociado si no está en contacto con el crudo y asociado si está en contacto con él como gas natural libre o disuelto en el petróleo

gasolina oxigenada. Gasolina que contiene un compuesto oxigenado como el etanol o el MTBE. Con ellos se busca mejorar la combustión y reducir las emisiones de monóxido de carbono en los gases de escape.

gasolina reformulada. Gasolina a la cual se le han alterado su composición o características para reducir la emisión de contaminantes en los vehículos.

inhibidor de corrosión. Aditivo que sirve para impedir la formación de herrumbre.

isobuteno. Producto petroquímico obtenido en las refinerías que si reacciona con metanol forma éter metil terbutílico (MTBE) y con el etanol el éter etil terbutílico (ETBE), ambos son oxigenantes e incrementan el número de octano.

índice de anticascabeleo. Medida de la habilidad de la gasolina de resistir los golpeteos de la máquina. El índice es el promedio de la suma del Octano Motor y de Investigación divido por dos.

lignito. Una de las variedades de carbono orgánico sólido, originado por la descomposición de las plantas.

lluvia ácida. La contaminada por emisiones de óxidos de azufre en la atmósfera provenientes de la contaminación industrial y la que causan los medios de transporte.

medio ambiente. Conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, fisicos, químicos y biológicos, que propician la sobrevivencia, transformación y desarrollo de los organismos vivos.

metanol. Alcohol metílico, de madera. Se obtiene industrialmente en los procesos petroquímicos. Se emplea para incrementar el octano de la gasolina en ciertas proporciones aunque también se puede emplear puro sustituyendo la gasolina.

octano. 1) Término con el que se describe la habilidad de una gasolina para resistir las detonaciones de la máquina generadas por la combustión. 2) *Octano motor*. Prueba a la que se somete la gasolina en condiciones severas de operación. Afecta la velocidad y la capacidad del auto de subir calles empinadas. 3) *Octano de investigación*. Prueba a la que se somete la gasolina en condiciones menos severas de operación empleando un solo cilindro.

olefinas. Componentes de la gasolina generados durante varios procesos de transformación de los hidrocarburos. Ejemplos son el etileno y el propileno. Suelen contribuir a la formación de gomas y depósitos en los sistemas de inyección.

oxigenados. En la industria petrolera este término se emplea para describir compuestos que tienen en su estructura carbono, hidrógeno y oxígeno

oxidante. Sustancia química que combina el oxígeno con otro cuerpo.

óxidos de nitrógeno (NOx). Gases contaminantes a base de nitrógeno y oxígeno; colectivamente se les denomina NOx en donde x representa cualquier proporción de oxígeno o nitrógeno.

ozono. Estado alotrópico del oxígeno (O_3) que se forma cuando el oxígeno (O_2) reacciona con otro compuesto en presencia de luz solar. En la parte superior de la atmósfera, protege la Tierra de los rayos ultravioletas del Sol. A nivel del suelo es un irritante respiratorio y se le considera un contaminante.

petróleo crudo. Mezcla natural formada principalmente por hidrocarburos que existen en estado líquido en reservas subterráneas naturales y que es recuperable en forma líquida en condiciones atmosféricas de presión y temperaturas normales.

pH. En química es la medida cuantitativa de la acidez o basicidad (alcalinidad) de una solución líquida y se representa en una escala que va de 0 a 14 siendo 7 el valor neutro, por ejemplo el valor de 1 es el de una solución muy ácida y el de 14 muy alcalina.

presión de vapor. Es la medida de la presión superficial que es necesario ejercer para que un líquido no pase al estado de vapor.

presión de vapor Reid (PVR). Método para determinar la presión de vapor de la gasolina y otros productos petrolíferos cuyo aparato fue diseñado por Reid. Permite relacionar su valor con las características de volatilidad de la gasolina.

retorta. Vasija de cuello largo encorvado que sirve para realizar diversas operaciones químicas.

relación aire/combustible. Las proporciones en peso de aire y carburante que se alimentan durante la combustión.

tecnología. Aplicación del conocimiento científico u organizado a las tareas prácticas por medio de sistemas ordenados que incluyen las personas, las organizaciones, los organismos vivientes y las máquinas.

toxicidad. Capacidad de una sustancia química de producir daño a un organismo animal.

volatilidad. Término con el que se describe la tendencia de la gasolina a pasar de líquido a vapor.

Inicio

BIBLIOGRAFÍA

L.García Colín y J.R.Varela Ham (compiladores) *Contaminación atmosférica*, El Colegio Nacional, México, 1966.

Anónimo, Consejo Mundial de la Energía, "1992, Estudio de Recursos de Energía", Londres, 1992.

Departamento del Distrito Federal "Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, D. F., octubre de 1990.

A. L. Albert, *Curso básico de toxicología ambiental*, Limusa Noriega, 1a. reimpresión, México 1990.

Anónimo, "Motor Vehicle Pollution. Reduction Strategies Beyond 2010", Organisation for Economic Co-Operation and Development, París, 1995.

Anónimo, "Changes in Gasoline II", Technician Manual Downstream Alternatives Inc., Indiana, EUA, 1992.

Anónimo, "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000" Semarnap, marzo de 1996.

DDF-IMP, "Estudio para la determinación de factores de emisiones evaporativas en vehículos automotores representativos de la ZMCM", noviembre de 1994.

A. W. Ord-Hume, "Perpetual Motion. The History of an Obsession" St. Martin Press, Nueva York, 1977.

A. B. Payson Usher, "A History of Mechanical Inventions", Dover, Nueva York, 1988.

Arnold Pacey, *La cultura de la tecnología*, Fondo de Cultura Económica, México,1990.

J. Arribas, "*La fascinante historia de la alquimia descrita por un científico moderno*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 1991.

M. N. Rodríguez. "Las gasolinas, sus características, su impacto en la operación de los vehículos y en el medio ambiente", en *Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos*, noviembre-diciembre, 1992.

W. D.Pigott, " *Oxygenates and Future Demands for Transport Fuels*, Institute of Petroleum, Londres, 1982.

A. J. Haagen-Smit, "Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog", en *Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 44,1342, 1952.

T. Fleish, "New Clean Diesel Fuel And Engine Technology", colaboración presentada en la 1996 World Conference on Refinery Processing & Reformulated Fuels, Texas, EUA.

G. Basalla, "La evolución de la tecnología", en *De Crítica*, Barcelona, 1991.

A. Douaud, "Tomorrows Engines and Fuels, Hydrocarbon Processing, febrero, 55, 1995.

J. DeCicco y M. Ross, "Improving Automotive Efficiency", en *Scientific American*, diciembre 30 de 1994.

P. Thuillier, "Au Commencement Etait la Machine", en *La Recherche*, vol. 7, 47, 1996

S. P. Beaton, G. Bishop y D. Stedrnam, "Emission Characteristics of Mexico City Vehicles", en *Journal of Air Waste Management Assoc*., vol. 42,1424,1992.

Anónimo, "Energy-related Carbon Dioxide Emissions per Capita for OECD Countries during l990", en *International Energy Agency*, 1993.

Anónimo, "Automotive Gasolines- Recommended Practice", SAE J312, sección 4, *SAE Handbook*, vol. 1, 1993.

G. Quadri y L. Sánchez, *La zona metropolitana y la contaminación atmosférica*, Limusa-Noriega Editores, México, 1992.

W. Leffler, *Petroleum Refining*, PennWell Books Publishing Co., Oklahoma., EUA, 1985.

B. Davis y W. Hettinger, "Heterogeneous Catalysis, Selected American Histories", en ACS *Symposium Series* 222, Washington, 1983.

E. Valadés, *El libro de la imaginación*, Fondo de Cultura Económica, México, 1984.

A. Lightman, *Los sueños de Einstein*, Tusquets Editores, México, 1993.

M. Teach (trad.), *The Various and Ingenious Machines of Agostino Ramelli*, Dover Pub., Nueva York, 1976.

D. H, Lawrence, *Apocalipsis*, Cien del Mundo, México, 1994.

K. Owen y T. Coley, *Automotive Fuels Reference Books*, SAE, EUA, 1995.

Inicio

CONTRAPORTADA

¿Qué nos mueve a escribir sobre carburantes?, se preguntan los autores de este libro y contestan diciendo que, entre muchas cosas, una de sus esperanzas es demostrar que en el pasado se han hecho numerosas especulaciones acerca del futuro de los energéticos que, en menos de 10 años, han demostrado ser tan falsas como una moneda de tres pesos. Otra esperanza, relacionada con la anterior, es mostrar que de los problemas actuales mucha culpa se ha imputado a la gasolina y muy poca a los autos y la manera como los empleamos.

En el presente libro, no es novedad, se habla de las gasolinas y los carburantes en general, de los que existen hoy en día y de aquellos que en el futuro tendrán papel preponderante. Los carburantes automotrices cuentan entre los productos más importantes que se generan. Y, si mira uno sus ventas en todos los países, se llegará a la conclusión de que al ritmo que han aumentado lo seguirán haciendo hasta bien avanzado el siglo XXI.

Vivimos en un planeta misericordioso, dotado de mecanismos eficaces que eliminan los contaminantes naturales. Pero ¿podrá nuestro planeta soportar los 80 millones de tonelas de azufre que arrojamos a la atmósfra anualmente? ¿Y las cargas extra de carbono, metano y clorofluorocarbonos que, se dice, producen el efecto invernadero y el calentamiento de la Tierra? Aparte de los asuntos ecológicos, el presente libro trata, insistimos, esencialmente de la gasolina. Todo lo que el lector quería saber y temía preguntar. La importancia que reviste hoy este comustible hace la lectura de *Usos y abusos de las gasolinas* una necesidad esencial. Sólo basta mirar a la calle para conocer su importanica.

El doctor Isaac Schifter es químico egresado de la UNAM. Se doctoró en la Universidad Claude Bernard de Lyon, Francia. Hace trabajo de investigación en el Instituto Mexicano del Petróleo y su principal campo de trabajo es la transformación de los energéticos. Esteban López Salinas, egresado de la Universidad de Tokio, es un investigador notable en lo que respecta a energéticos.

Inicio