

Energía de activación

Los combustibles son sustancias que producen gran cantidad de energía cuando se queman. Lo fue el coque en el caso del horno. Lo son los gases domésticos utilizados tanto para calentar como para cocinar en tu casa. Sin embargo, no basta que el gas y el oxígeno del aire se pongan en contacto para que empiece el calentamiento de la olla sobre la cocina, es necesaria una chispa para que se inicie la reacción. Una vez comenzada la reacción exotérmica, ésta producirá tanta energía que la combustión continuará hasta que se interrumpa el suministro de combustible o de oxígeno. A la energía que hace falta para que se inicie una reacción se la llama energía de activación.

Este término fue introducido en 1888 por el químico sueco Svante Arrhenius. Las energías de activación generalmente tienen valores menores que 400 kJ. Mientras menor sea la energía de activación, más fácilmente ocurrirá la reacción.



Parados de izquierda a derecha: Heydweiller, Rasch, Svante Arrhenius y Walther Nernst; (sentados) Palazzo, Friedrich Kohlrausch y Sheldon. Instituto de Física, Universidad de Würzburg, semestre invernal 1886/1887.
Fuente: Ernst H. Riesenfeld. Svante Arrhenius. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1931. <http://www.nernst.de/kohlrausch1887.htm>



El mundo de la química

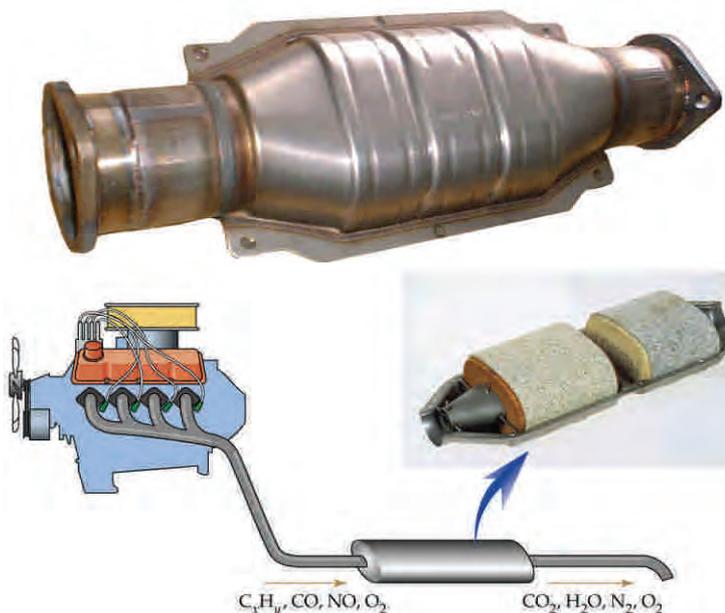
Capítulo VI: Las transformaciones químicas

Los valiosos catalizadores

Reducir la energía de activación para que una reacción ocurra más rápidamente es una de las búsquedas más interesantes de la química. Los catalizadores son sustancias químicas que disminuyen la energía de activación de las reacciones químicas y logran que la reacción ocurra más rápidamente. ¿Recuerdas el problema sobre cómo reducir la cantidad de contaminantes en la atmósfera producidos por los automóviles? Allí el monóxido de carbono era eliminado haciéndolo reaccionar con dióxigeno para formar dióxido de carbono. Bien, la ecuación termoquímica correspondiente es:



A pesar de que la reacción produce suficiente energía como para continuar tan pronto se inicie, ella tiene una elevada energía de activación que la hace muy lenta. Ahora bien, si en el interior del tubo de escape se coloca un catalizador con platino (Pt) o rodio (Rh) disperso sobre el soporte adecuado, la reacción ocurre muy rápidamente, pues en la superficie de estos metales el CO y el O₂ se absorben con facilidad y reaccionan. El CO₂ formado se desprende de la superficie dejándola libre para que se fijen más el CO y el O₂, continuando así la reacción.



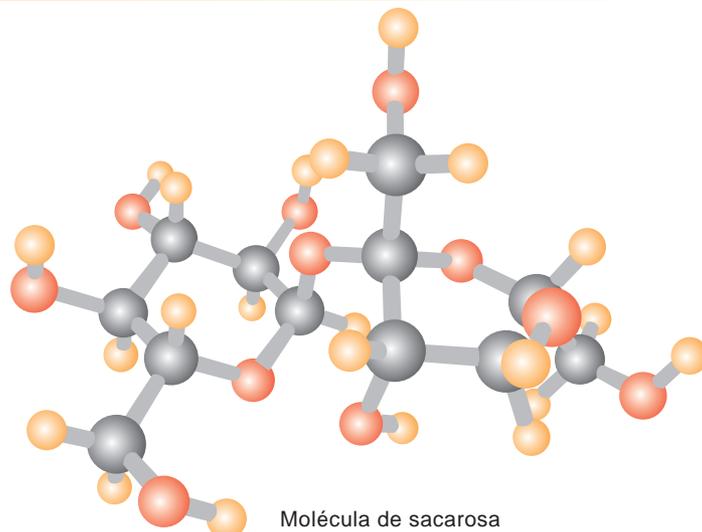
Un convertidor catalítico es un dispositivo para tratar los gases producidos por los automóviles y disminuir la contaminación que ellos provocan. Estos gases se generan durante la combustión de la gasolina. Los carros modernos provistos de estos convertidores deben utilizar gasolina sin plomo, pues este elemento envenena al convertidor anulando su acción benéfica.

Imprescindibles enzimas

Los catalizadores biológicos son vitales dentro de nuestro cuerpo. Estos catalizadores se denominan enzimas. Mientras los otros catalizadores son mayormente metales u óxidos, las enzimas generalmente son proteínas producidas dentro de las células.

Las enzimas son sustancias altamente específicas y eficientes que participan prácticamente en todo lo que ocurre en nuestro organismo.

Las enzimas no sólo aumentan la rapidez de las reacciones químicas, sino que permiten que ocurran a temperaturas mucho más bajas de las que se requerirían en su ausencia. Basta un sencillo ejemplo para ilustrar lo anterior: la combustión de la sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) que se representa por la siguiente ecuación:



138

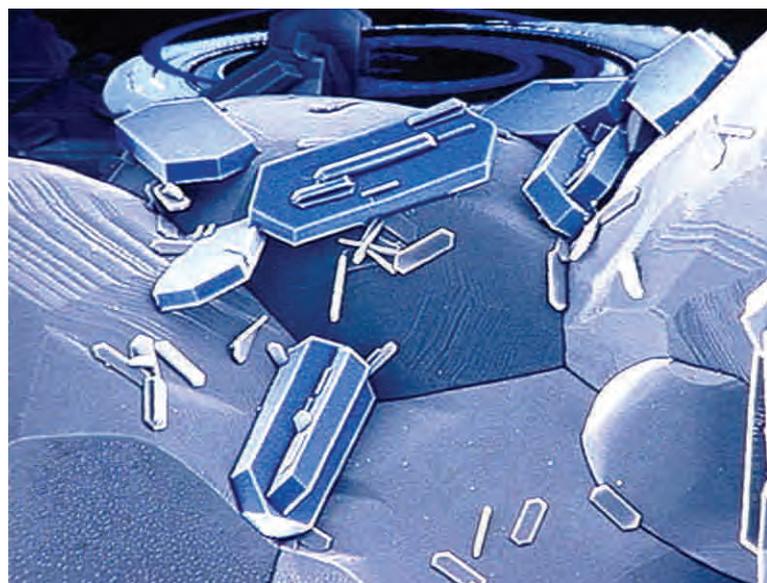
Ni la sacarosa ni la reacción arriba señalada te son extrañas. La primera ($C_{12}H_{22}O_{11}$) no es más que el azúcar que consumes normalmente y en cuanto a la reacción, la has visto ocurrir muchas veces en tu casa, por ejemplo, al hacer el caramelo para un quesillo.

Afortunadamente los resultantes de esa reacción no son los productos que obtienes en tu hogar: un gas (CO_2) y agua (H_2O). Esto nos dice que tal reacción es difícil de realizar hasta llegar a esos productos; ni siquiera aumentando mucho la temperatura. Sin embargo, en nuestro organismo las enzimas logran realizarla a sólo $37^\circ C$ (nuestra temperatura corporal). La van realizando en varios pasos, una enzima diferente interviene en cada paso, y toda esa inmensa cantidad de energía va siendo liberada poco a poco.

Tal como vimos en el párrafo anterior, un catalizador permite que una reacción ocurra por un camino diferente, camino que requiere una menor energía de activación para que la reacción ocurra más rápidamente. Además, los catalizadores no se consumen en las reacciones que catalizan, aunque no siempre es fácil recuperar o conservar su acción.

¿Sabías que...?

En Francia y en el Reino Unido más de 30% de la producción de sacarosa es destinada a la fabricación de bebidas gaseosas, mientras que en Australia, México y Brasil más del 50% de la sacarosa tiene ese destino.



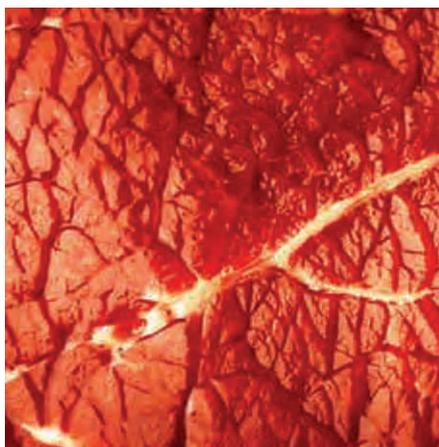
Una ocasión para experimentar

Si agregas tintura de yodo a una papa o manzana (pelada) se coloreará de azul debido a la reacción entre el almidón presente en la papa y el yodo. La amilasa es una enzima presente en la saliva que desdobra los almidones en azúcares. Toma una papa y córtala en dos. Cubre con saliva una de las mitades. Deja transcurrir unos minutos y agrega yodo a ambas mitades de la papa. Anota tus observaciones. Comparte tu conclusión con tu profesor.



139

El agua oxigenada o peróxido de hidrógeno (H_2O_2) se descompone muy lentamente en agua y dióxigeno. La luz y las partículas de polvo aceleran esta reacción, por esto se expone en frascos que no son transparentes y debe mantenerse tapada. La enzima catalasa, presente en la sangre, acelera esta descomposición. Las bacterias patógenas son anaeróbicas, es decir, no pueden vivir en presencia de dióxigeno. Por eso se agrega agua oxigenada en las heridas. Las burbujas blancas que ves son de dióxigeno.



Toma un trocito de carne no congelada o un trocito de hígado y deja caer sobre él unas gotas de agua oxigenada. Anota tus observaciones. Comparte tu conclusión con tu profesor.

Apoyo didáctico

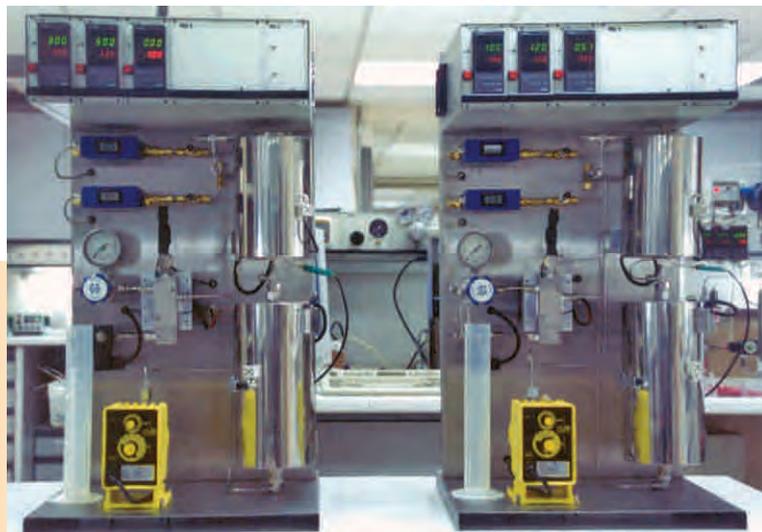
Un país petrolero como Venezuela, con su industria petroquímica asociada, está muy interesado en el desarrollo de catalizadores, principalmente para la producción de polímeros. La revista de la Sociedad Venezolana de Química puede ser una ayuda para ilustrar este aspecto (Volumen 26, Nº 3, por ejemplo) y otros tópicos de relevancia y actualidad en la química y, por tanto, en su enseñanza.



Mientras más concentrado, más rápido



Seguramente has oído o visto cuñas de TV que hablan sobre la conveniencia de adquirir productos comerciales más concentrados, es decir, que contienen mayor cantidad del ingrediente activo en la misma cantidad de producto. Desde el punto de vista estequiométrico, esto significa utilizar una menor cantidad del producto comercial para lograr el mismo resultado que con otras marcas. Desde el punto de vista de la rapidez de reacción, significa utilizar menos tiempo para obtener el mismo resultado. En efecto, la rapidez de reacción aumenta al incrementar la concentración de los reaccionantes.



Para pensar

¿Consideras que en un reactor catalítico se alcanza un estado semejante a un estado estacionario? Puedes conversar al respecto con tu profesor.

140

La condición de estado estacionario



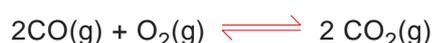
Imagina una manguera en el suelo conectada a una llave de agua. Al abrirla, el agua llenará la manguera, comenzará a salir y lo seguirá haciendo mientras la llave esté abierta. La diferencia de presión entre el tanque y el suelo produce la energía que hará que entre agua a la manguera y salga de ella. El sistema de agua dentro de la manguera es un sistema abierto, pues constantemente está recibiendo energía y materia. Sin embargo, se mantiene invariable, pues lo que ingresa al mismo es igual a lo que egresa. De un sistema así se dice que está en un estado estacionario. Si se acaba el agua o se cierra la llave dejará de fluir el agua.

Algo similar ocurre en los altos hornos. Ellos funcionan mientras estén siendo "alimentados", es decir, mientras se les estén suministrando las materias primas y la energía para que mantengan la reacción. A su vez, los productos deben ir saliendo del reactor y hacer espacio para que se continúen formando. De esta manera se prolonga en el tiempo una condición cercana a un estado estacionario, donde prácticamente no hay cambios en el sistema. Si se corta el suministro de reaccionantes o de energía, la reacción cesará.

Los seres vivos también somos sistemas abiertos, pero no exactamente en condición de estado estacionario pues cambiamos con el tiempo.

Estado de equilibrio

Imagina que luego de apagar un automóvil cerramos ambos extremos del convertidor catalítico de manera que no entre ni salga materia de él pero sí energía (sistema cerrado); el convertidor se irá enfriando hasta alcanzar la temperatura ambiente. Después de un tiempo, parecería que ya no estuviera ocurriendo ningún cambio con la pequeña cantidad de gases que están dentro del convertidor. Sin embargo, esto no es así. Lo que ocurre es que, paulatinamente, la velocidad con que se esté transformando CO y O₂ en CO₂ (reacción directa) se iguala con la velocidad con que se transforma CO₂ en CO y O₂ (reacción inversa), de forma tal que las cantidades de cada una de estas tres sustancias permanecerán constantes en el tiempo. Se dice así que se ha alcanzado un estado de equilibrio, un estado estable que se mantendrá mientras no se cambien las condiciones.



¿Cómo saber si en el estado de equilibrio predominan el CO y O₂ o el CO₂?

Antes de dar respuesta a esta pregunta, comenzaremos por decir que para cada reacción existe una constante de equilibrio (K) cuya expresión depende de las sustancias participantes en la reacción y de sus coeficientes en la ecuación balanceada. Así, para la reacción anterior:

$$K = \frac{P(\text{CO}_2)^2}{[P(\text{CO})^2 \times P(\text{O}_2)]}$$

donde P representa la presión para cada gas en el recipiente. El valor de K depende tanto de la reacción particular como de la temperatura. K toma valores positivos mucho menores que 1 para las reacciones con el equilibrio muy próximo a los reaccionantes, y valores mucho mayores que 1 cuando el equilibrio está cercano a los productos. Para la reacción anterior, a 25 °C, $K = 1 \times 10^{90}$. Éste es un número gigantesco, casi impensable, por supuesto $K > 1$.

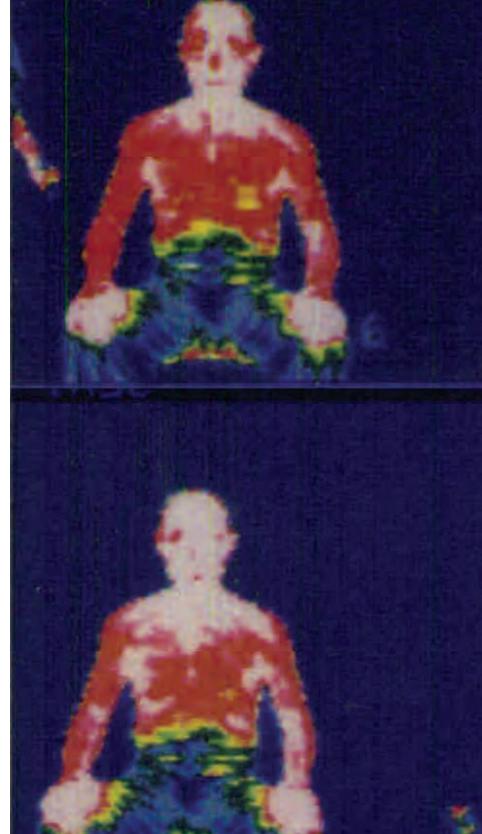
Luego, el gas dentro del convertidor debe ser casi todo CO₂. Sin embargo, esta reacción es extremadamente lenta por lo que requiere de un catalizador.

El estado de equilibrio ha sido estudiado ampliamente por los químicos debido a sus muchas aplicaciones industriales y biológicas. En el próximo capítulo verás su utilidad al estudiar los equilibrios que ocurren en un medio acuoso. Ahora bien, la gran mayoría de los sistemas no se encuentra en condición de equilibrio, los seres humanos somos un ejemplo. Nuestra temperatura corporal (37 °C) es diferente a la del medioambiente (normalmente, en Venezuela, entre 20 y 30 °C). Mantener esa diferencia de temperatura implica un consumo de energía, la cual proviene de reacciones químicas bajo la indispensable presencia de las enzimas.

Hay reacciones que tienen una constante de equilibrio tan pequeña a temperatura ambiente que, independientemente de las condiciones de trabajo, no ocurren en forma apreciable ni utilizando catalizadores: ¡Ellos son maravillosos pero no milagrosos! Los catalizadores sólo permiten que las reacciones por ocurrir lo hagan más rápido. Hay muchas reacciones que pueden ocurrir y no ocurren. Por ejemplo, todos los compuestos de carbono deberían entrar en combustión en presencia de oxígeno debido a que tienen K muy altas pero no lo logran a temperatura ambiente (¡Y menos mal, pues qué sería de nosotros!), ya que la alta energía de activación de las combustiones nos protege.

141

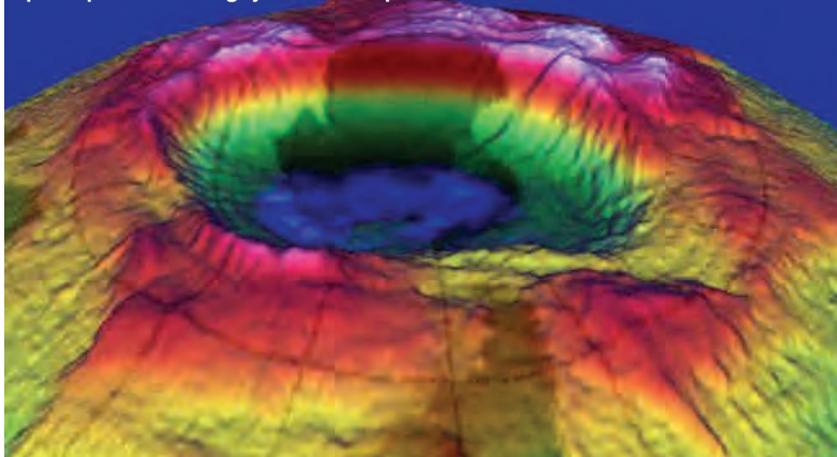
Imágenes de un sensor de temperatura corporal utilizado en medicina



¿Es importante conocer los términos relacionados con las transformaciones de la materia?

Al final de todo esto podrías preguntarte qué tan importantes son los conceptos de estequiometría, rapidez de reacción, calor de reacción, estado estacionario, equilibrio, catalizadores, etc. ¿Es importante la estequiometría? Mencionaremos un ejemplo. El grado de contaminación ambiental en buena parte depende de ella. Los automóviles modernos deben mantener una relación entre el oxígeno del aire y la gasolina que produzca la combustión completa para procurar que sólo se obtenga N_2 , H_2O y CO_2 . Sobre los catalizadores, después de lo presentado en este fascículo, creemos que no te queda duda alguna sobre su importancia.

La NASA, utilizando un espectrómetro, elaboró esta imagen tridimensional que representa el agujero en la capa de ozono sobre la Antártica.



142



Un poco de historia

Wilhelm Ostwald nació el 2 de septiembre de 1853 en Riga, Latvia. Sus contribuciones a la química están estrechamente relacionadas con lo que has aprendido en este capítulo.

Como se mencionó antes, Ostwald introdujo el concepto de mol en la química. Fue uno, o quizás el último, de los grandes químicos que no consideró relevante la existencia del átomo, y por tanto, de las moléculas. Creía que todo lo que existía era energía, a tal punto que su casa se llamó "Energía". Sin embargo, después de los rayos catódicos y de los trabajos de Thomson y Rutherford, aceptó la existencia de electrones, átomos y moléculas.

Su dedicación a organizar y estructurar el conocimiento ha hecho que se le considere entre los fundadores de la físico-química. Fue un excelente docente e investigador. Escribió un buen número de textos para la enseñanza de la química, así como muchos artículos y, además, fundó seis revistas científicas. Entre sus alumnos, tres obtuvieron el Premio Nobel: Van't Hoff (1901), Arrhenius (1903) y Nernst (1920). Él lo recibió en 1909 por sus trabajos sobre catálisis, equilibrio químico y velocidad (rapidez) de reacción.

Sus contribuciones también incluyen trabajos en disoluciones y electroquímica. Además, se debe a Ostwald el método para obtener HNO_3 a partir de NH_3 , por lo cual lleva su nombre.

Desde muy joven, Ostwald se interesó por la química y por la física. Sin embargo, su curiosidad abarcó también la filosofía, la educación, la música y la pintura. Esto explica su interés por las reformas educativas, sus escritos sobre filosofía de la ciencia, su participación en movimientos pacifistas y el que sus últimos años los haya dedicado intensamente al estudio del color, de tal forma que escribió sobre teoría e historia del color e, incluso, fabricó colores.

Murió el 4 de abril de 1932, en Alemania. Había adquirido la nacionalidad alemana en 1888.



Calendario año 1933, homenaje a Ostwald. Alemania.

¿Qué decir de la energía de activación?

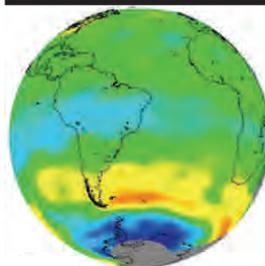
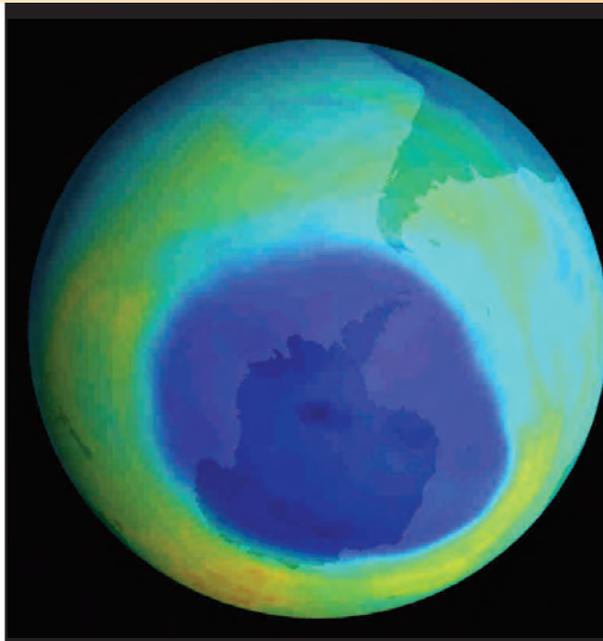
Veamos este ejemplo. Seguramente has oído o leído sobre el agujero en la capa de ozono y sus implicaciones. El ozono es nuestro escudo contra los peligrosos rayos ultravioleta. Se forma y se destruye naturalmente, de modo tal que se mantiene una condición de equilibrio (si consideramos a la estratosfera como un sistema cerrado) o de estado estacionario (si, más acertadamente, la consideramos como un sistema abierto). Pero los compuestos clorofluorocarbonados, debido a los rayos ultravioleta, producen átomos de Cl. Recuerda que los átomos libres son muy reactivos por su inestabilidad. El conjunto de reacciones que ocurre en la estratosfera es bastante complejo. Podemos generar un pequeño ejemplo ilustrativo considerando solamente lo que pasa entre el ozono y un par de átomos (O y Cl).

La menor energía de activación de la reacción ubicada más a la derecha, determina que esa reacción se produzca más rápidamente. Es decir, la eliminación del ozono provocada supera a la natural. Esto se agrava pues el ClO formado puede reaccionar con el O natural para producir O_2 y más Cl libre que destruirá más ozono. Ello te permite comprender el porqué es necesaria una drástica disminución de la producción y empleo de los clorofluorocarbonados.

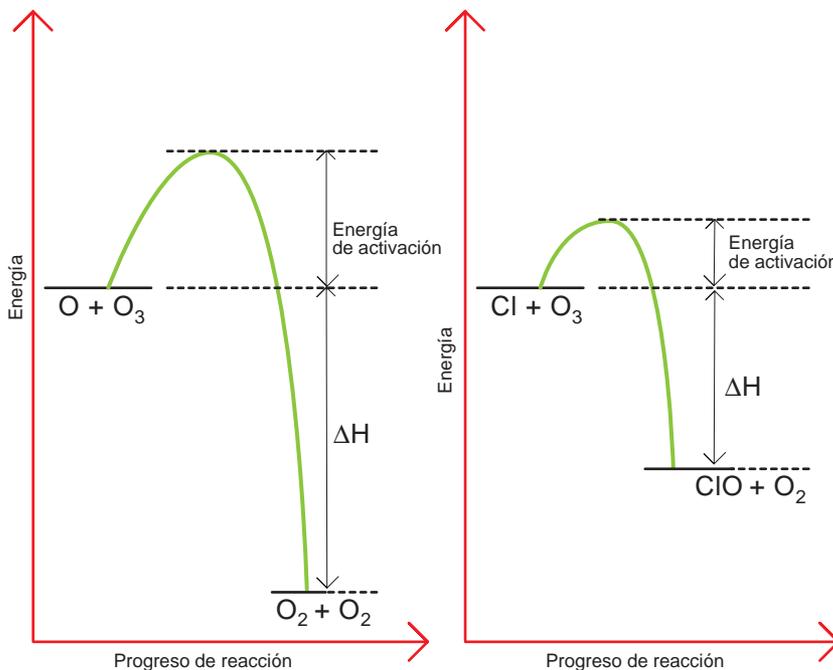
ΔH en el diagrama representa la energía involucrada en la reacción. Como en ambos casos los productos tienen menor energía que los reaccionantes, significa que se ha desprendido energía y calor. Son reacciones exotérmicas.

En cuanto al CO_2 producido por los automóviles, es cierto que no es un contaminante venenoso como lo son el NO y el CO, tampoco destruye la capa de ozono, sin embargo, algunos piensan que podrían ser parcialmente responsables de buena parte del calentamiento global de nuestro planeta.

¡Seguramente comprendes ahora el porqué de la búsqueda de otras fuentes de energía distintas a la de los combustibles tradicionales y el porqué de la firma del protocolo de Kioto (Japón, 1997)!



143



En el mencionado protocolo, los países se comprometieron a disminuir la emisión de los gases que provocan alteraciones climáticas y que inciden en daños al ambiente y la salud. Por ejemplo, en lo que se refiere al CO_2 implicaría, entre otras medidas, la protección forestal dado que las plantas absorben este gas durante la fotosíntesis. Podrías investigar sobre estas medidas.



Fundación
POLAR

Capítulo VII: