

¿Te has preguntado qué tienen en común las sustancias que integran los alimentos, los plásticos, los árboles, las pinturas, los medicamentos, los detergentes, los combustibles y el cuerpo humano?

Todas ellas son sustancias orgánicas constituidas por una gran cantidad de átomos de carbono unidos entre sí.

¿Qué pasaría entonces si no existiera el átomo de carbono?

## Los términos carbono y carbón son diferentes

El carbón es un material constituido principalmente por carbono que se forma por la descomposición, lenta y progresiva, de las plantas que quedaron enterradas hace millones de años por acción del calor y de la presión, mientras que el carbono es el elemento químico al que le dedicaremos todo este capítulo.



La naturaleza representa artísticamente la química orgánica.  
Fuente: <http://c3po.barnesos.net/homepage/postdoc1/australia/day5678/day5.html>

# El mundo de la química

# El carbono: Vida y energía

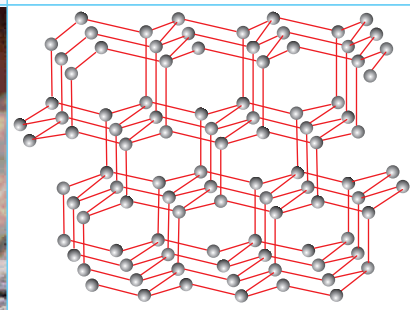
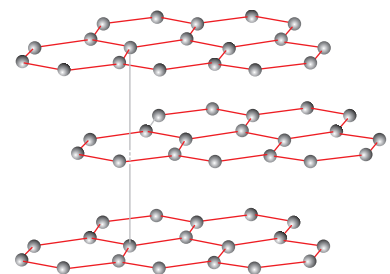
El carbono como elemento puro se encuentra en la naturaleza en forma de diamante y grafito.

**Grafito** es la forma amorfa del carbono puro, negro y opaco. Además es blando, exfoliante y untuoso debido a su estructura laminar. Estas propiedades son básicas en la fabricación de lápices y lubricantes.

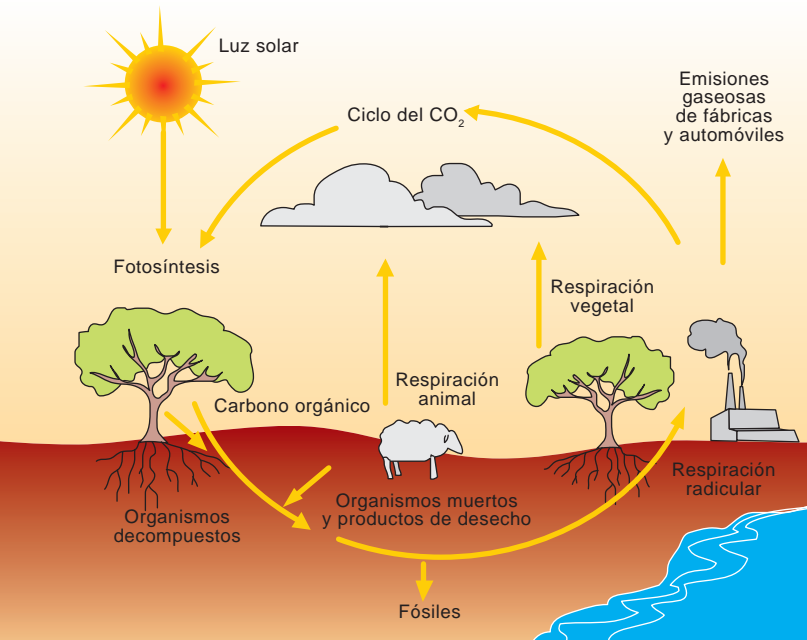
**Diamante** es la forma cristalina del carbono puro; es transparente y con una estructura compacta y de gran dureza (número 10 en la escala de Mohs) y su temperatura de fusión es de 3 500 °C. Por sus características tiene una amplia aplicación en la industria de los equipos médicos y en joyería, donde se usa bajo la forma de "brillantes" o diamantes tallados.

## El más duro de todos

Uno de los usos más llamativos del diamante es en la joyería. Desde tiempo remoto se han tejido mitos y leyendas alrededor de esta piedra. Debido a su gran dureza, se le atribuía el poder de talismán para mantener alejados peligros y mala suerte. Los más famosos provenían de India, eran los conocidos como Koh-i-noor (fotografía inferior izquierda), Orlov, Regent de los que se decía que llevaban la tragedia a sus dueños. En la actualidad las minas de mayor explotación del mineral se encuentran en Sur África, República Democrática del Congo, Sierra Leone y Bostwana. En Venezuela, en el estado Bolívar hay minas en Paragua y Guaniamo.



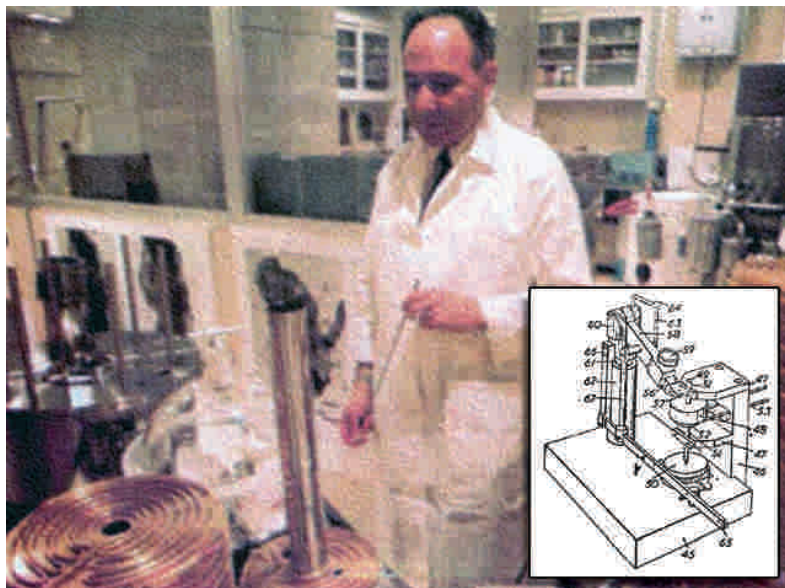
# El elemento carbono en la naturaleza



El carbono es el elemento central y protagonista de la química que lleva su nombre: "la química del carbono". Este elemento ha hecho posible la existencia y evolución de los seres vivos y de las complejas sustancias elaboradas por ellos.

El carbono, aunque está presente en la Tierra en un pequeño porcentaje, es uno de los elementos cuyos compuestos están más ampliamente distribuidos en el mundo vegetal y animal.

170



Fernández-Morán inspecciona algunos de los componentes de un nuevo tipo de sistemas de lentes superconductoras que él y sus colegas desarrollaron. Aparece también la ilustración de su invento "Cuchilla de Diamante para seccionamiento ultrafino al estudio de la estructura fina de tejidos biológicos y metales" patentada en Estados Unidos en 1959.

Fuente: Archivo fotográfico IVIC.

## Un poco de historia

El Dr. Humberto Fernández Morán nació en Maracaibo, Venezuela en 1924. Se graduó de médico Summa Cum Laude, a los 21 años, en la Universidad de Munich. Estudió Microscopía Electrónica y Física y se especializó en Neurología y Neuropatología en Estados Unidos. Fue fundador del Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Cerebrales (IVNIC), precursor del actual Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Fernández-Morán introdujo el concepto de crioultramicrotomía que es la obtención de estructuras ultra finas seccionando tejidos congelados con el equipo de su creación: el microtomo, cuya parte fundamental es una cuchilla de diamante. Su gran labor ha rendido frutos en el terreno de la bioquímica, la biología molecular, las neurociencias y la medicina moderna. En 1967 recibió la medalla John Scott por la invención del bisturí de diamante. Al año siguiente, la NASA le confió el corte de las primeras muestras de suelo lunar y lo designó investigador principal de su programa. Recibió importantes condecoraciones entre las cuales destacan la Orden del Libertador y el título de Caballero de la Estrella Polar conferido por el rey de Suecia. El IVIC designó con su nombre el Departamento de Biología Estructural creado en 1997. Fernández Morán murió en Estocolmo, Suecia, en el año 1999.

# El carbono, ¿dónde lo encontramos?

El carbono se encuentra en una gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas. Entre las sustancias inorgánicas sólidas más abundantes tenemos, por ejemplo, a los carbonatos presentes en múltiples minerales. El mármol es una forma cristalina del carbonato de calcio. Entre las sustancias gaseosas, el carbono se encuentra como dióxido de carbono en la atmósfera de la tierra y también en el Sol, estrellas y cometas.

El petróleo, recurso minero prioritario para nuestro país, está constituido por hidrocarburos y otras sustancias análogas, donde el carbono es el protagonista principal.

Todos los compuestos que involucran reacciones químicas en los seres vivos contienen carbono: vitaminas, proteínas, grasas, azúcares, ácidos nucleicos. Estos compuestos son fundamentales para el mantenimiento de las especies.



La atmósfera de Marte contiene 96% de dióxido de carbono.



Aragonita: Carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , materia prima para la fabricación de la cal, se encuentra en las cuevas de Baruta, estado Miranda.

171

## Apoyo didáctico

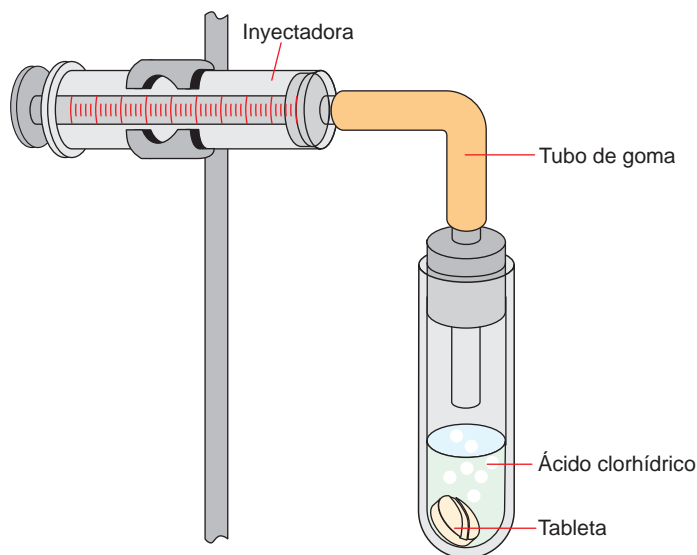
Vamos a determinar el porcentaje de carbonato en una pastilla de antiácido. Deberás preparar una solución de ácido clorhídrico (6,0 m/L) a partir de HCl concentrado. Recuerda añadir el ácido al agua.

### Procedimiento experimental

Arma un equipo como el ilustrado. Vas a conectar una inyectora sin aguja a un tubo de ensayo. Utiliza un tubo de goma para ello. Por un lado, enchufa la inyectora. Por el otro, introduce un tubito de vidrio con el que vas a atravesar un tapón de goma mono-horadado, ese es el mismo tapón que deberás ajustar al tubo de ensayo. El émbolo de la inyectora debe estar introducido en ella hasta una división pequeña de la jeringa desde el fondo. En el tubo de ensayo se colocan 10 mL de ácido clorhídrico 6 molar.

Pesa una tableta de antiácido (sobre un papel o un material de vidrio: lámina de vidrio, capsula de petri o material equivalente para no dañar el plato de la balanza) y anota en el cuaderno la masa registrada.

Deja caer la tableta de antiácido y rápidamente coloca de nuevo el tapón de goma asegurándote de que no haya fugas. ¿Qué observas? Registra tus observaciones. Concluida la reacción, anota en el cuaderno el volumen de gas desprendido. Se recomienda repetir el experimento por lo menos con 3 pastillas y comprobar la reproducibilidad de los resultados.

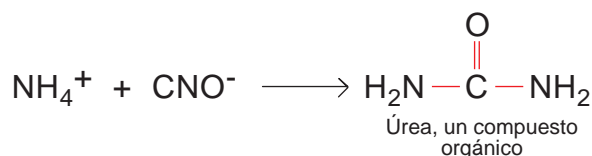


### Discusión de los resultados.

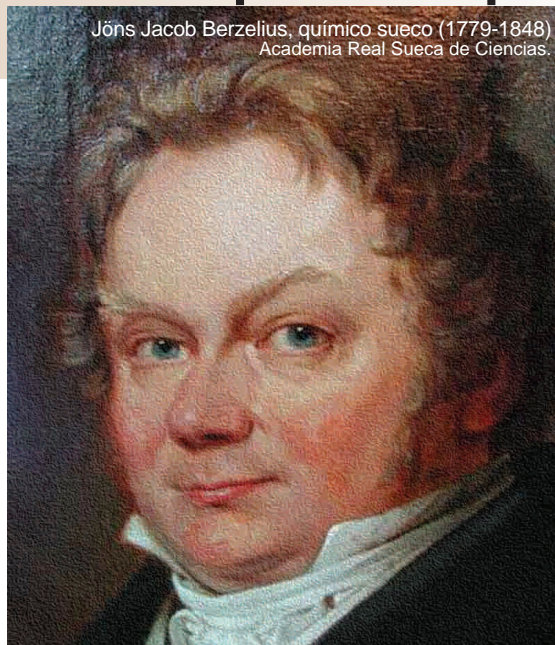
- Escribe la ecuación química balanceada.
- Indica el porcentaje del carbonato de (sodio o potasio), principio activo del medicamento en la pastilla y a qué corresponde el otro porcentaje de masa encontrado en la pastilla.

# Química orgánica: La química de los compuestos que contienen cadenas de carbonos

Los orígenes de la química orgánica (o química del carbono) se remontan al siglo XVIII, cuando Jöns Jacob Berzelius dio el nombre de compuestos orgánicos a los sintetizados por los seres vivos, lo que hizo creer que estos compuestos poseían una “fuerza vital”: la esencia de la vida. Un siglo más tarde se comprobó que el término “fuerza vital” o “esencia vital” carecía de bases científicas, cuando Friedrich Wohler, químico alemán (1800-1882), calentó cianato de amonio, un compuesto inorgánico, y produjo urea, la cual había sido aislada de la orina por Rouelle en 1773. Así, esta primera síntesis realizada en el laboratorio corresponde a la preparación de un compuesto típico de los organismos vivos a partir de materia inorgánica.



Jöns Jacob Berzelius, químico sueco (1779-1848)  
Academia Real Sueca de Ciencias.



## Interesante

Durante varias generaciones ha habido gran controversia respecto a si el Sudario de Turín, una pieza de lino que tiene la imagen de un hombre, fue la mortaja de Jesucristo. La duda radica en que la edad que arrojó el estudio con carbono radiactivo está entre 1260 y 1390 y no 2000 años.

172



## ¿Cuántos carbonos hay?

En la naturaleza, el carbono se presenta en tres formas isotópicas: el  $^{12}\text{C}$ , el  $^{13}\text{C}$  y el  $^{14}\text{C}$ . Se trata del mismo carbono pero en sus núcleos hay un número distinto de neutrones. Es por ello que la masa atómica es diferente aunque las propiedades químicas relacionadas con los electrones de la capa externa se mantienen.

## ¿Sabías que...?

La edad de cualquier sustancia que contenga carbono se puede determinar. Se logra mediante el isótopo de carbono-14. Éste es un isótopo radiactivo que se encuentra en la naturaleza en concentraciones muy bajas (trazas), y es el resultado del bombardeo de neutrones presentes en los rayos cósmicos sobre núcleos del nitrógeno que está en la atmósfera. El isótopo forma  $^{14}\text{CO}_2$  que se mezcla con  $^{12}\text{CO}_2$ , más abundante, y ambos están disponibles en el aire que respiramos y son asimilados de igual manera por los organismos vivos. La relación  $^{12}\text{C}$  y  $^{14}\text{C}$  se mantiene constante mientras el organismo permanezca vivo, pero una vez muerto ya no ocurre la asimilación (no hay proceso que permita la incorporación de carbono) y como el  $^{14}\text{C}$  es inestable, su contenido va disminuyendo con el tiempo. Se ha calculado que a los 5730 años de la muerte de un ser vivo la cantidad de  $^{14}\text{C}$  en sus restos se ha reducido a la mitad. Este tiempo se conoce como “vida media” del isótopo y es diferente para cada especie isotópica. Por ser el  $^{14}\text{C}$  radiactivo su concentración se determina mediante contadores Geiger.

Isótopo	Neutrones	% Abundancia relativa
$^{12}\text{C}$	6	100
$^{13}\text{C}$	7	1,11
$^{14}\text{C}$	8	$10^{-10}$



Martin Kamen,  
bioquímico americano  
(1913-2002),  
descubridor  
del carbono 14.

## Apoyo didáctico

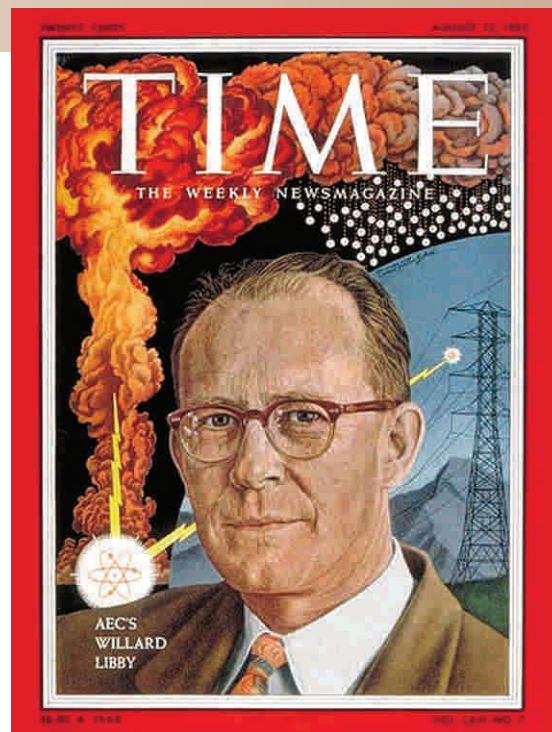
¿Cuáles átomos se agrupan y cómo se unen entre sí para formar una molécula? Al tener la respuesta conoceremos la “estructura” de la molécula bajo estudio. A lo largo del tiempo se han desarrollado varios métodos de análisis y determinación de estructuras y, aunque en sus comienzos se utilizaba solamente la información recabada de reacciones químicas, hoy día son de gran ayuda (y en ocasiones se emplean con exclusividad) los métodos espectroscópicos.

Estos métodos se basan en la absorción de la energía de la radiación electromagnética. Cuando una molécula la absorbe gana energía, lo que produce un aumento en la vibración, rotación de los enlaces o elevación de electrones a mayores niveles energéticos. Estos efectos producidos se traducen como señales que de alguna manera son captadas, amplificadas e impresas en su registro, conocido como espectro. Los métodos espectroscópicos son técnicas que se emplean en química en el análisis y la determinación de la estructura molecular de los compuestos.

Uno de estos métodos corresponde a la espectroscopia magnética nuclear (RMN), una técnica de análisis que permite conocer la forma en que están unidos átomos de carbono e hidrógeno. Esta técnica fue desarrollada a finales de 1940 para estudiar los núcleos de los elementos con diferente estado de espín, entre ellos el hidrógeno. La técnica también se aplica a otros elementos. En 1952 Edward Mills Purcell (USA) y Felix Bloch (Suiza) compartieron el Premio Nobel de Física por sus estudios de las propiedades magnéticas del núcleo en las cuales se basa la técnica de RMN. Cuando la técnica utiliza protones como núcleos (RMN-H1) permite identificar y cuantificar protones con diferente ambiente químico. Las señales generadas para cada tipo de protón son registradas y aparecen como picos en diferentes posiciones. La posición de la señal se conoce como desplazamiento químico y su unidad es ppm. La intensidad de cada señal es proporcional al número de protones de cada tipo. Existen tablas que contienen los desplazamientos químicos de los protones con diferentes ambientes químicos, lo que permite la identificación de los fragmentos que componen la estructura molecular.

La presencia natural de 1,11 % del isótopo  $^{13}\text{C}$ , en los compuestos orgánicos ha permitido el desarrollo de esta técnica para este núcleo (RMN-C13). Con ella es posible obtener señales que informen sobre cada tipo de carbono y su ubicación en la molécula.

El primer equipo de resonancia magnética nuclear en nuestro país se instaló en el IVIC y una imagen del primer espectro se conserva en los archivos de la Sociedad Venezolana de Química. En Venezuela existen importantes equipos de resonancia magnética nuclear en universidades e institutos de investigación. El más avanzado se encuentra en el IVIC con una frecuencia de operación de 500 MHz y un poderoso imán.

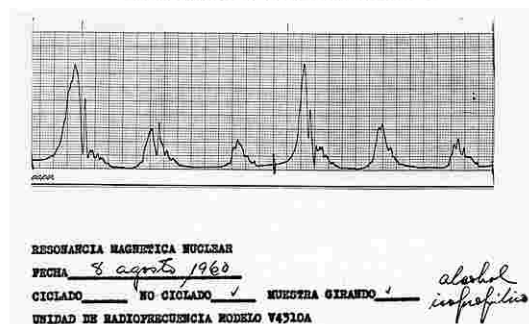


En 1960, el químico norteamericano Willard Frank Libby recibió el Premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre la datación de especímenes en los que el carbono-14 decaía sin renovarse.

173



Grupo de investigación de RMN (IVIC) 1960  
Sentados A. Serra, F. Alsina y E. Payo  
En el fondo el espectrómetro del IVNIC



Fuente: Archivo fotográfico IVIC. Cortesía: Dr. Carlos Rivas.

# ¿Qué hace que los compuestos de carbono sean

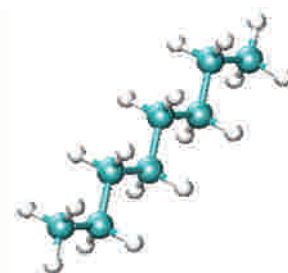
## ¡Compartir es la clave!

El carbono es un elemento de comportamiento excepcional; está ubicado en la segunda fila de la tabla periódica y su posición en ella lo hace apto para compartir electrones como una forma de alcanzar el octeto electrónico y con ello su estabilidad. Con ese fin puede recibir cuatro electrones para alcanzar el máximo de ocho en su capa externa.

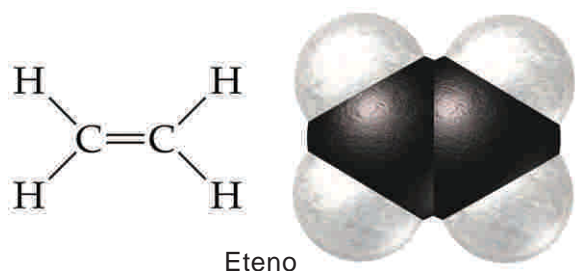
En los compuestos orgánicos formados solamente por carbono e hidrógeno un átomo de carbono comparte sus electrones con otro átomo de carbono y con átomos de hidrógeno formando así cadenas largas que se conocen como **concatenación**.

La molécula de octano es un ejemplo claro de concatenación de átomos de carbono en la que se tiene un total de cuatro enlaces.

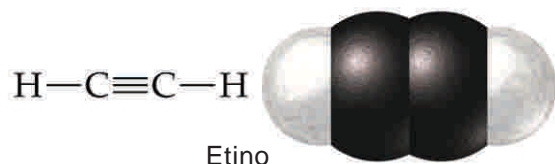
El primero en reconocer el fenómeno de la concatenación, en 1858, fue el químico escocés Archibald Couper (1831-1895) quien atribuyó a esta propiedad la existencia de la gran variedad de compuestos orgánicos en la naturaleza.



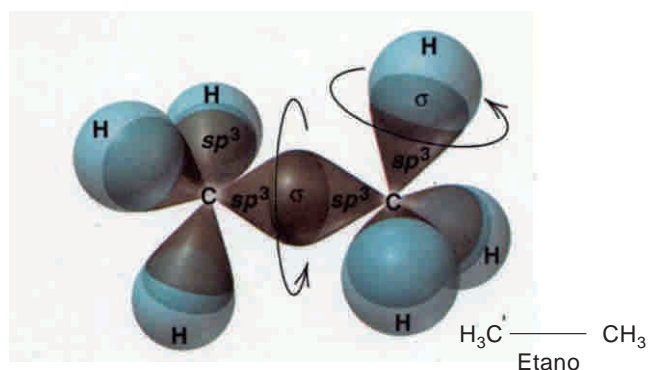
174



Eteno



Etino



Etano

## Naturaleza del enlace covalente del carbono: La geometría en la naturaleza

Por su posición en la tabla periódica, ¿cuántos enlaces puede formar el carbono: 2, 4 o 6?

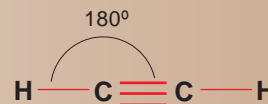
La estructura electrónica del átomo de carbono muestra dos electrones desapareados en su estado basal tal y como se encuentra en la tabla periódica.



Etano, eteno y etino son compuestos que contienen el mismo número de átomos de carbono, pero difieren en el número de átomos de hidrógeno ya que los dos átomos de carbono pueden formar enlaces múltiples, doble o triple, en los cuales cada carbono comparte 4 o 6 electrones, respectivamente, y sólo quedan en cada carbono dos electrones en el caso del eteno o un electrón si es el etino, para enlazarse con el electrón de cada átomo de hidrógeno. De todos modos, cada átomo de carbono completa su octeto electrónico. A este fenómeno se le denomina **tetravalencia del carbono**.

En las fórmulas de la figura cada raya entre dos letras representa un par de electrones entre los núcleos respectivos. ¿A qué se debe este fenómeno?

# tan abundantes en la naturaleza?



¿Qué observas en estas 3 estructuras en cuanto a número de elementos unidos a los átomos de carbono y ángulos de enlace H-C-H? ¿Cómo ocurre esto? La explicación se basa en un proceso llamado **hibridación de orbitales atómicos** del átomo de carbono.

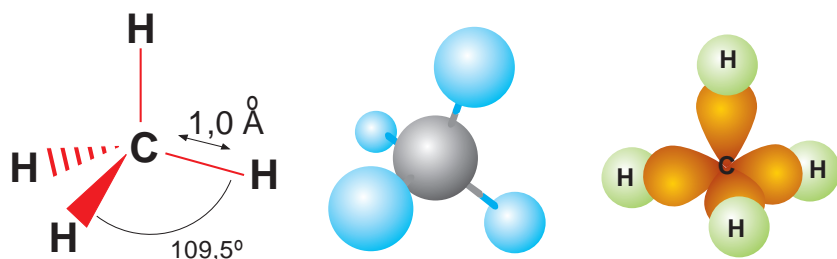
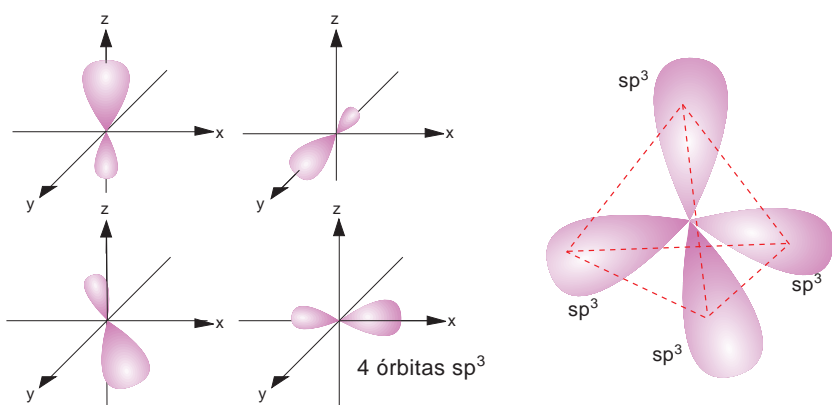
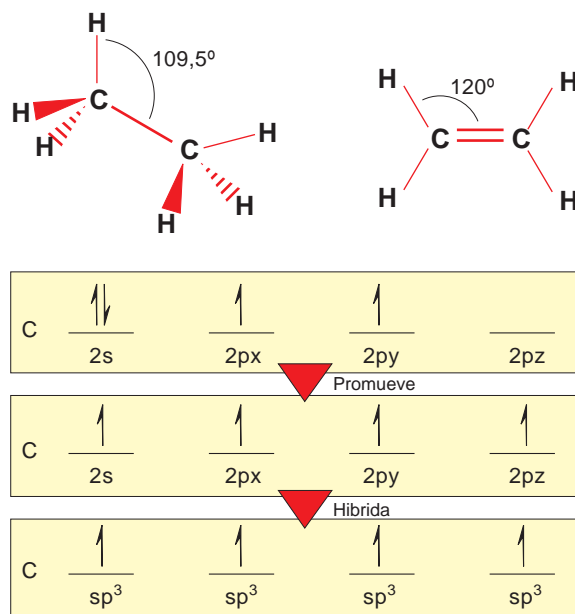
## ¿Y qué es la hibridación?

Es un proceso de mezcla de los orbitales s y p del último nivel electrónico del carbono. Con este proceso se generan cuatro orbitales idénticos, cada uno asociado a un electrón, lo que le permite unirse a cuatro elementos.

## Esquema del proceso de hibridación $sp^3$

El proceso involucra la promoción de un electrón en el orbital atómico 2s, a uno 2p vacío, quedando ahora un electrón en cada uno de los orbitales: 2s, 2p<sub>x</sub>, 2p<sub>y</sub> y 2p<sub>z</sub>. La combinación matemática asociada con las funciones de onda de estos cuatro orbitales genera cuatro orbitales híbridos equivalentes tanto en energía como en orientación espacial. Ellos presentan el 25 % de características del orbital 2s y el 75 % de los orbitales 2p. A esta hibridación se la conoce como  $sp^3$ , siendo los orbitales atómicos p regiones espaciales ubicadas en los tres ejes cartesianos x, y, z y el orbital s de simetría esférica; los orbitales híbridos resultantes conforman un tetraedro. Es por ello que en un carbono con hibridación  $sp^3$  los enlaces que forma con otros elementos están dirigidos a las esquinas de un tetraedro.

Nótese que el proceso de hibridación únicamente ocurre para la formación de enlaces que dan origen a las moléculas. En otras palabras, los orbitales híbridos son orbitales moleculares.



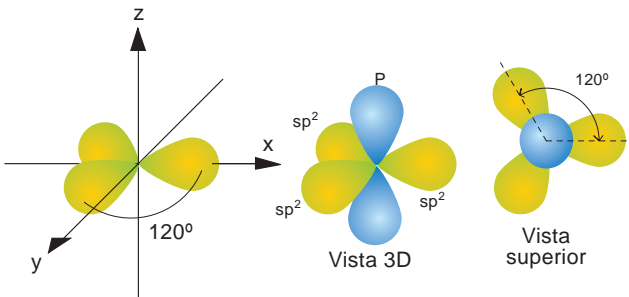
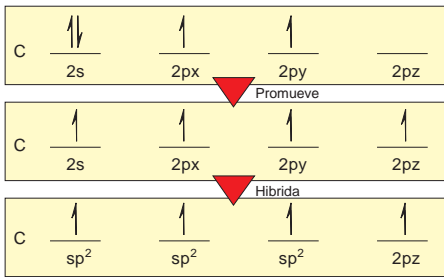
175

**Calentamiento global y metano**  
Los escapes de metano de los suelos polares se consideran claves en los procesos de desglaciación. El metano que se oxida produce dióxido de carbono que junto con el metano que pasa a la atmósfera contribuyen al efecto invernadero de calentamiento de la Tierra.

## Formación de los orbitales híbridos $sp^3$ : El enlace sigma

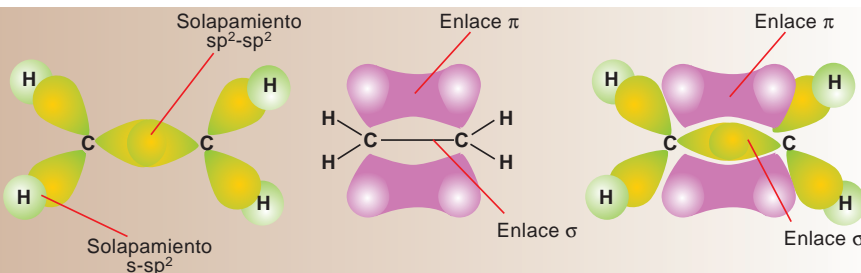
La molécula de metano contiene un carbono unido a cuatro hidrógenos, utilizando cuatro enlaces covalentes. Los orbitales  $sp^3$  se enlazan covalentemente con el orbital 1s del hidrógeno en la dirección del eje que contiene el orbital híbrido y el resultado es un nuevo enlace molecular denominado sigma.

# Orbital híbrido $sp^2$ : La molécula de eteno

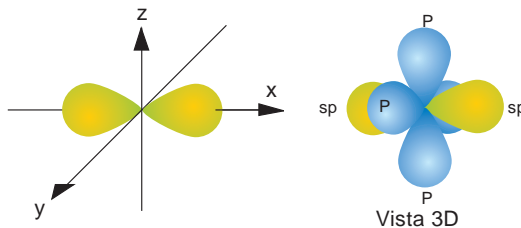
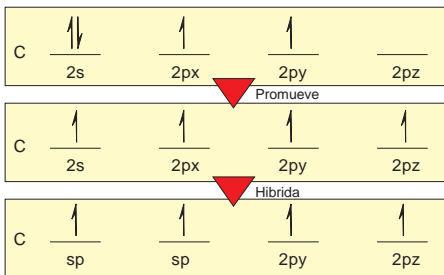


El proceso de mezcla de los orbitales 2s, 2px, 2py y 2pz, cada uno con un electrón, puede ocurrir tomando en cuenta solamente el orbital 2s y dos orbitales 2p. De esta manera se generan tres orbitales híbridos que presentan un 33 % de carácter 2s y un 66 % de carácter 2p. A esta hibridación se la conoce como  $sp^2$ . Los tres orbitales híbridos se acomodan en un solo plano produciendo un átomo de carbono donde los enlaces que forman los electrones asociados a esos orbitales están separados  $120^\circ$ . El electrón que ocupa el orbital p no híbrido permanece en un orbital perpendicular al plano que contiene los orbitales híbridos. Cuando dos átomos de carbono con hibridación  $sp^2$  se unen entre ellos se forma un enlace sigma por superposición de dos orbitales  $sp^2$  y el orbital no híbrido p de un átomo se solapa lateralmente con el orbital no híbrido del otro formando un nuevo enlace covalente conocido como enlace pi. Es así como en el eteno los dos átomos de carbono están doblemente enlazados entre sí, compartiendo así cuatro electrones. Los dos orbitales  $sp^2$  restantes de cada carbono se solapan con un orbital 1s de átomos de hidrógeno formando enlaces sigma en la molécula de eteno:  $C_2H_4$ .

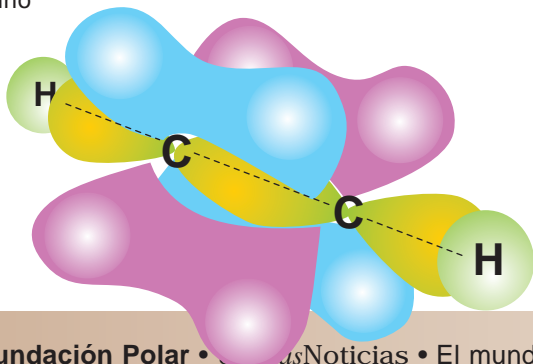
176



Estas estructuras se conocen como insaturadas pues presentan el átomo de carbono unido a tres elementos, en lugar de a cuatro que es el máximo de elementos con que puede unirse.



Sistema de enlaces  $\sigma$  y  $\pi$  de la molécula de etino



## Orbital híbrido $sp$

Cuando la mezcla de orbitales se lleva a cabo sólo con el orbital 2s y uno 2p se forman dos orbitales híbridos con 50 % de carácter s y 50 % de carácter p que se acomodan a lo largo de un eje. En esta hibridación conocida como  $sp$  quedan dos orbitales p no híbridos dirigidos perpendicularmente entre sí y perpendiculares al eje del orbital híbrido  $sp$ .

Si dos átomos de carbono con hibridación  $sp$  se unen forman un enlace sigma y los dos orbitales p no híbridos de cada carbono se superponen lateralmente con los equivalentes al otro carbono formando dos enlaces pi y compartiendo los dos átomos de carbono seis electrones. El orbital  $sp$  restante de cada carbono se solapa con un orbital 1s de átomos de hidrógeno formando enlaces sigma en la molécula de etilo  $C_2H_2$  para dar dos enlaces tipo pi.

## Hibridación y clasificación de hidrocarburos

Cada tipo de hibridación ( $sp^3$ ,  $sp^2$  y  $sp$ ) explica la existencia de familias de hidrocarburos: alcanos, cuatro enlaces sencillos; alquenos, dos enlaces sencillos y uno doble carbono-carbono, y alquinos un enlace sencillo y uno triple carbono-carbono.