



UNIDAD

1

Introducción a la química orgánica

Temas de la unidad

1. Conceptos previos
2. Análisis químico



? Para pensar...

Si bien las leyes que rigen el universo parecen aplicarse por igual al mundo inanimado (inorgánico) y al mundo de los seres vivos (orgánico), la química de la vida tiene varios rasgos comunes. Uno de ellos se relaciona con la estructura de las moléculas que conforman los seres vivos. Todas ellas se basan en la combinación de átomos de carbono con otros elementos, entre los cuales se encuentra el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno. La química orgánica se desarrolla entonces alrededor del carbono y sus propiedades.

Ahora bien, ¿por qué es importante estudiarla? La respuesta la encontramos en todas partes. Más del 90% de la materia que constituye nuestro cuerpo es materia orgánica y por lo tanto tiene que ver con la química orgánica. El cabello, las uñas, los músculos, la piel, el código genético que describe nuestras características físicas tienen como soporte inicial moléculas orgánicas. Si miramos a nuestro alrededor, casi todo tiene que ver con la química orgánica; por ejemplo, el vestido que llevamos puesto, por lo general está hecho de materiales orgánicos, los alimentos que consumimos son sustancias orgánicas que nos proveen de las moléculas que necesitamos para poder funcionar. ¿Y qué no decir, de los incontables productos y subproductos del petróleo y el carbón, que para bien o para mal inundan nuestro mundo? Sería interminable la lista así que te invitamos a estudiar los compuestos orgánicos.

● Para responder...

- ¿Qué diferencias hay entre los compuestos orgánicos y los inorgánicos?
- ¿Por qué es importante estudiar la química orgánica?
- ¿Cómo se realiza el análisis químico de una sustancia?
- ¿Qué son los métodos ópticos de análisis?



Figura 1. El vitalismo proponía que los compuestos sólo podían ser obtenidos a partir de la “fuerza vital” de los seres vivos.

1. Conceptos previos

A manera de introducción, haremos un breve recuento histórico del desarrollo de la química orgánica, para luego estudiar algunas de las propiedades del átomo de carbono, responsable del increíble despliegue de formas y expresiones que muestra la vida en nuestro planeta.

1.1 Breve historia de la química orgánica

A principios del siglo diecinueve se habían acumulado muchas pruebas sobre la naturaleza, propiedades físicas y reacciones de los compuestos inorgánicos, pero se sabía relativamente poco sobre los compuestos orgánicos. Se sabía por ejemplo, que los compuestos orgánicos estaban constituidos solo por unos pocos elementos, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre, además se sabía que contrariamente a los materiales inorgánicos, los compuestos orgánicos eran fácilmente combustibles y muchos de ellos reaccionaban con la luz y el calor, además de los ácidos y bases fuertes. En este entonces, era claro que la materia se dividía en materia viva y materia inerte.

Alrededor de la anterior clasificación se desarrolló una corriente de pensamiento conocida como **vitalismo**, según la cual los compuestos orgánicos, propios de los seres vivos, solo podían existir y ser sintetizados por organismos vivos, los cuales imprimían su **fuerza** o **esencia vital** a dichos procesos (figura 1). El principal abanderado de esta corriente era el químico sueco **John Jacob Berzelius** (1779-1848). Paradójicamente, uno de sus aprendices, **Friedrich Wohler** (1800-1882) (figura 2), fue quien contribuyó en mayor medida a derrumbar el vitalismo. Wohler descubrió, en 1828, que al calentar una solución acuosa de cianato de amonio, una sal inorgánica, se producía urea, compuesto orgánico presente en la orina de algunos animales. Esto mostraba que era posible sintetizar compuestos orgánicos sin la intervención de seres vivos, es decir, sin la mediación de una fuerza vital. Por la misma época, se demostró que extractos de células muertas podían generar reacciones orgánicas, con lo cual se habían descubierto las **enzimas**. Luego, hacia 1861, el químico alemán **August Kekule** (1829-1896) propuso que los compuestos orgánicos se estructuraban sobre un esqueleto básico de átomos de carbono, en el cual se insertaban átomos de otros elementos. El aporte más importante de Kekule fue el elucidar la estructura del benceno, compuesto de gran importancia, industrial y bioquímica.

En las primeras décadas del siglo XX, surge la **bioquímica** como rama de la química encargada del estudio de los compuestos y los procesos de tipo orgánico. En 1944 se descubre que los genes son fragmentos de ácidos nucleicos y que éstos constituyen el código de la estructura química de los seres vivos. Luego, en 1953, **Watson y Crick** descubren la estructura tridimensional del ADN. Actualmente, nos encontramos ante un amplio horizonte de posibilidades de manipulación genética y bioquímica de los procesos orgánicos.



Figura 2. John Jacob Berzelius (1779-1848), principal defensor del vitalismo, hizo grandes aportes a la química, como el descubrimiento del cesio (Ce), el selenio (Se), el silicio (Si), el torio (Th) y el circonio (Zr).



Para terminar es bueno aclarar que, si bien los trabajos de Wöhler y sus contemporáneos, habían refutado de manera contundente la idea de que la materia se dividía en viva e inerte, la designación de **orgánica**, para esta rama de la química, se siguió empleando debido a su utilidad práctica para delimitar un grupo de compuestos con algunas características en común. Hoy se admite que el rasgo común entre los compuestos clasificados como orgánicos es que **todos ellos contienen el elemento carbono**. En consecuencia, la definición moderna de química orgánica es la de química de los compuestos del carbono. Análogamente, los compuestos inorgánicos, con excepción de algunos como CO_2 , CO , HCN , H_2CO_3 , Na_2CO_3 , etc. son todos aquellos que no contienen carbono.

1.2 ¿Cuál es la importancia de la química orgánica?

En primer lugar, los compuestos derivados de la combinación del carbono con un cierto número de otros elementos, son la materia prima con la cual se ha construido la vida en el planeta. De manera que el estudio de la química orgánica es la base para la comprensión del funcionamiento de los seres vivos, aspecto estudiado específicamente por la **bioquímica**.

En segundo lugar, la posibilidad de extraer, purificar y modificar intencionalmente una gran variedad de compuestos orgánicos, así como el desarrollo de procesos industriales con los cuales ha sido viable la síntesis artificial de otros compuestos, ha revolucionado la forma de vida de las personas en la civilización actual. Algunos ejemplos de productos derivados de compuestos orgánicos son: el papel, las telas de algodón, los combustibles (petróleo, ACPM, carbón), las drogas (como la penicilina) y las vitaminas. Así mismo, compuestos orgánicos sintetizados artificialmente son: los plásticos, los detergentes, los pesticidas, los colorantes, algunas fibras (rayón, dacrón, nailon, orlón) y algunas drogas (como la cortisona y varios antibióticos) (figura 3).

Muchos de estos productos son a su vez materia prima para otro gran número de productos industriales.

A lo largo del presente texto estudiaremos la naturaleza de muchas de estas sustancias incluyendo sus estructuras, su comportamiento químico y sus métodos de preparación.

EJERCICIO

August Kekule, hacia el final de su vida comentó, en una entrevista, que había dilucidado la estructura del benceno como un anillo de átomos de carbono, gracias a un sueño, en el cual una serpiente se mordió su propia cola, formando un círculo. ¿Qué implicaciones tiene esto para el quehacer científico? ¿Por qué se pretende que la ciencia sea objetiva? ¿La metodología científica puede aceptar vías de acción basadas en intuiciones, sueños o pensamientos subjetivos?

En un escrito de media página, expón tus opiniones al respecto.



Figura 3. Son muchos los productos derivados de compuestos orgánicos, entre ellos se encuentran los colorantes.

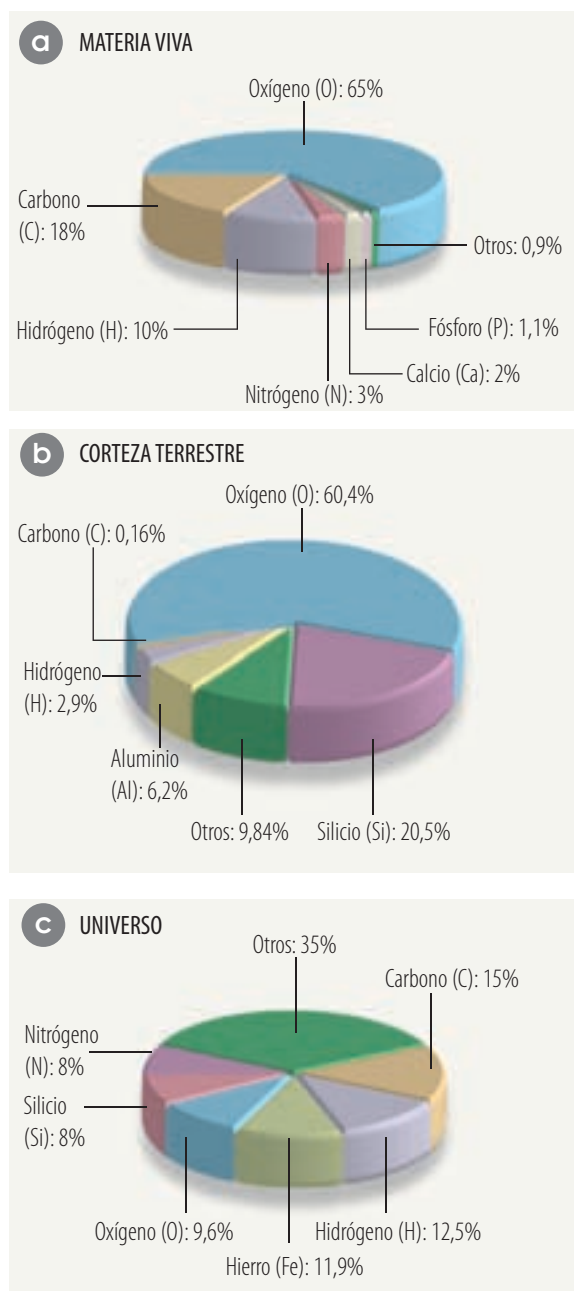


Figura 4. Abundancias relativas de los elementos químicos en la materia viva (a), la corteza terrestre (b) y el universo (c).

1.3 ¿Qué elementos constituyen los compuestos orgánicos?

Si se analiza la composición de la materia en términos de la proporción relativa de los diferentes elementos presentes, se encuentra que cerca del 95% de la masa está constituida por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. El porcentaje restante está representado por elementos como calcio, fósforo, hierro, magnesio, entre otros. Los elementos presentes en los seres vivos se denominan **bioelementos**. Los cinco elementos más abundantes (C, H, O, N y S) son indispensables para la síntesis de las moléculas que conforman los seres vivos, por lo que se conocen como **bioelementos primarios** o **elementos biogénicos** u organógenos.

En la figura 4 se muestran tres gráficas comparativas de los porcentajes relativos de los elementos presentes en la materia viva, en la corteza terrestre y en el universo.

A continuación haremos una breve mención de los bioelementos, reservando un apartado especial para el carbono.

1.3.1 Hidrógeno

El hidrógeno se encuentra únicamente en estado libre en la naturaleza en muy pequeña cantidad. La atmósfera contiene menos de una parte de hidrógeno en un millón de partes de aire aunque se cree que en las capas superiores de la atmósfera la proporción de hidrógeno es un poco mayor.

Combinado, el hidrógeno representa el 11,9% del agua; se encuentra también en todos los ácidos y es un constituyente importante de los compuestos orgánicos denominados **hidrocarburos**, sustancias que de por sí constituyen el petróleo y el gas natural. También forma parte de las sustancias de los tejidos de los seres vivos, de los alimentos y de muchas sustancias como almidones, azúcares, alcoholes, grasas, proteínas, ácidos y álcalis.

1.3.2 Oxígeno

La tierra, el agua y el aire se componen más o menos del 50% en peso de oxígeno. Las moléculas de oxígeno son lineales y apolares y muy poco solubles en agua; apenas unos 0,004 g/100 g de agua a 25 °C. El oxígeno reacciona con la mayor parte de los elementos con excepción de los gases inertes y algunos metales nobles. Servir de agente comburente es tal vez su principal aplicación.

El oxígeno participa en los procesos de respiración animal y vegetal. El oxígeno del aire se combina con la hemoglobina de la sangre, luego es transportado a todas las partes del cuerpo y liberado para oxidar productos orgánicos; la energía liberada se utiliza en el metabolismo del cuerpo. También es necesario para la locomoción, para el aprovisionamiento de calor en el cuerpo y para el crecimiento.



1.3.3 Nitrógeno

Es un gas inodoro, incoloro e insípido que constituye alrededor del 75% en peso y el 78% en volumen de la atmósfera. La explicación de la gran abundancia del nitrógeno en la atmósfera y de la relativa escasez de sus compuestos está dada por la gran inercia química que presenta su molécula. Sin embargo, la naturaleza provee mecanismos mediante los cuales los átomos de nitrógeno se incorporan a las proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados. Uno de los más importantes es el NO_2 . La mayor parte de este gas se disuelve en el agua de lluvia y cae a la superficie de la Tierra. Algunas bacterias cuentan con un aparato enzimático capaz de convertir el nitrógeno a formas más complejas como aminoácidos y proteínas asimilables por las plantas y se incorporan de esta manera a las cadenas alimentarias correspondientes.

1.3.4 Azufre

Constituye alrededor del 0,05% de la corteza terrestre y se presenta como elemento libre, en forma de sulfuros metálicos como galena (PbS), pirita ferrosa (FeS_2), cinabrio (HgS) y en los gases volcánicos en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2). Forma también parte de materia orgánica como el petróleo y el carbón. Su presencia en los combustibles fósiles produce problemas ambientales y de salud.

1.4 Diferencias entre compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos

Los compuestos orgánicos presentan una serie de rasgos característicos que los diferencian de los compuestos inorgánicos (figuras 5 y 6). A continuación consideramos los más importantes:

- Todos los compuestos orgánicos utilizan como **base de construcción el átomo de carbono** y unos pocos elementos más, mientras que en los compuestos inorgánicos participan la gran mayoría de los elementos conocidos.
- Están formados por **enlaces covalentes**, mientras que en los compuestos inorgánicos predominan los **enlaces iónicos**.
- La mayoría presentan **isómeros**, sustancias que poseen la misma fórmula molecular pero difieren en la organización estructural de los átomos, es decir, la forma tridimensional de las moléculas es diferente. Por esta razón las propiedades físico-químicas cambian entre isómeros. Contrariamente, entre las sustancias inorgánicas los isómeros son raros.
- Por lo general están formados por gran número de átomos organizados en largas cadenas basadas en carbono, sobre las cuales se insertan otros elementos. En los compuestos inorgánicos —con excepción de algunos silicatos— la formación de cadenas no es común.
- La variedad de los compuestos orgánicos es muy grande comparada con la de los compuestos inorgánicos.
- La mayoría son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos.
- Los compuestos orgánicos presentan puntos de fusión y ebullición bajos; los compuestos inorgánicos se caracterizan por sus elevados puntos de fusión y ebullición; esto se explica por el carácter iónico de sus enlaces.



Figura 5. El cuarzo es una sustancia inorgánica de apariencia cristalina.



Figura 6. La variedad de formas y colores de la naturaleza se debe a las combinaciones entre los compuestos orgánicos.

EJERCICIO

Menciona cinco sustancias inorgánicas y cinco orgánicas anotadas en el texto anterior y comprueba con datos las diferencias entre ellas.

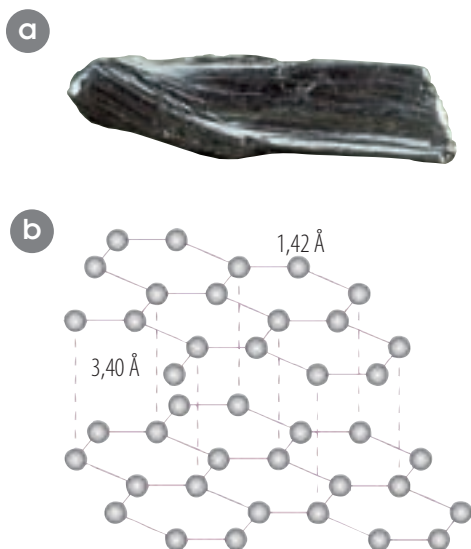


Figura 7. El grafito, debido a su estructura laminar es blando y grasoso. a) Apariencia externa. b) Estructura interna.

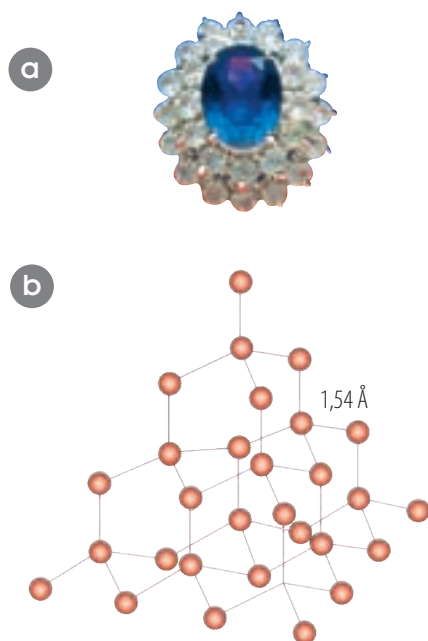


Figura 8. El diamante es una de los materiales más duros que se conocen. a) Apariencia externa. b) Estructura interna.

EJERCICIO

Elabora una lista de las características físicas y químicas de los elementos del grupo IVA. ¿Qué similitudes puedes encontrar entre el carbono y el silicio?

1.5 El carbono

Tal vez la principal característica del átomo de carbono, como base para la amplia gama de compuestos orgánicos, es su capacidad para formar enlaces estables con otros átomos de carbono, con lo cual es posible la existencia de compuestos de cadenas largas de carbonos a los que pueden además unirse otros bioelementos. Muy pocos elementos poseen esta capacidad; el más destacado es el silicio, aunque este elemento forma cadenas cortas e inestables. El silicio y el carbono pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica, grupo IVA, del que también forman parte los elementos Ge, Sn y Pb. Los elementos de este grupo tienen valencias entre 2 y 4.

1.5.1 Fuentes naturales de carbono

El carbono es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza, aunque sólo constituya aproximadamente el 0,08% de los elementos presentes en la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. En la corteza terrestre, se encuentra principalmente en forma de carbonatos de calcio o magnesio. En la atmósfera lo encontramos principalmente como gas carbónico (CO_2) y monóxido de carbono (CO).

El carbono se conoce desde la antigüedad. Los egipcios obtenían carbón de leña de forma similar a la actual. El término **carbón** procede del latín *carbo* que significa carbón de leña.

Se encuentra puro en la naturaleza en tres variedades alotrópicas: **diamante**, **grafito** y **carbón amorfo**, que son sólidos con puntos de fusión sumamente altos e insolubles en todos los disolventes a temperaturas ordinarias. Las propiedades físicas de las tres formas difieren ampliamente a causa de las diferencias en la estructura cristalina.

■ **Grafito:** la palabra *grafito* procede del griego *graphein* que significa escribir. El grafito se encuentra muy difundido en la naturaleza. Es una sustancia blanda, untuosa, de color negro brillante. Su estructura consiste en capas planas de átomos organizados en anillos hexagonales que se unen débilmente unos a otros (figura 7). Tres de los cuatro electrones de valencia de cada átomo de carbono participan en los enlaces con los carbonos de su mismo plano, mientras que el cuarto electrón forma un enlace más débil perpendicular a dichos planos. Las capas pueden deslizarse horizontalmente con facilidad al romperse esos enlaces y formarse otros nuevos. Debido a ello el grafito se utiliza como lubricante, como aditivo para aceite de motores y en la fabricación de minas para lápices.

El grafito es buen conductor de la corriente eléctrica, resiste a la acción de muchos reactivos químicos y es bastante estable frente al calor. Por todas estas propiedades es utilizado para fabricar electrodos y crisoles así como en algunos procesos de galvanoplastia. Su punto de fusión es 3.925°C y presenta una densidad de $2,25\text{ kg/m}^3$.

■ **Diamante:** su nombre proviene de la palabra latina *adamas* cuyo significado es invencible, pues, a diferencia del grafito, el diamante es una de las sustancias más duras que se conoce.



Es incoloro, no conduce la electricidad, es más denso que el grafito ($3,53 \text{ kg/m}^3$) y tiene el punto de fusión más elevado que se conoce de un elemento (cerca de 3.823°C). Estas propiedades corresponden a su estructura: una red de átomos de carbono distribuidos en forma de tetraedro, separados de sus átomos vecinos por sólo $1,54 \text{ \AA}$ (en vez de las separaciones de $1,42 \text{ \AA}$ en el plano y $3,40 \text{ \AA}$ entre planos del grafito) (figura 8). En esta estructura se presentan enlaces muy fuertes sin que haya electrones débilmente retenidos.

■ **Carbono amorfo:** se caracteriza por un grado muy bajo de cristalinidad. Puede obtenerse calentando azúcar purificada a 900°C en ausencia de aire.

Otras fuentes de carbono son los combustibles fósiles, como el carbón, el gas natural y el petróleo, originados a partir de restos animales y vegetales en un proceso que abarca millones de años. Dependiendo de la edad geológica, el carbón se encuentra como:

- **Hulla:** posee de 70 a 90% de carbono y llega a tener un 45% de materias volátiles. De la hulla, por destilación en ausencia de aire, se obtienen: gases combustibles (denominados también de alumbrado), gases amoniacales, alquitrán y un 20% de coque. Destilando el alquitrán se separa una gama enorme de productos que tienen aplicación como disolventes, colorantes, plásticos, explosivos y medicinas.
- **Antracita:** material rico en carbono (98%), posee de 5 a 6% de materias volátiles y una alta potencia calorífica (figura 9).



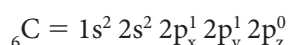
Figura 9. La antracita es un carbón fósil que, debido a su larga evolución, es una fuente muy apreciada de energía, pues desprende mucho calor y poco humo.

1.5.2 capacidad de enlace del carbono

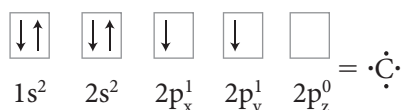
La configuración electrónica del carbono explica sus elevadas posibilidades de combinación consigo mismo y con otros elementos, dando lugar a una gran cantidad de compuestos.

Configuración electrónica

El carbono tiene un número atómico igual a 6 y presenta la siguiente configuración electrónica en estado basal o fundamental:



La cual se puede representar gráficamente como sigue:



Es decir, tiene completo el primer nivel de energía, mientras que en el segundo nivel, posee cuatro electrones: dos en el orbital $2s$, que está completo y dos más ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, de modo que el orbital $2p_z$ está vacío (figura 10). De acuerdo con esta distribución electrónica, el carbono debe compartir los cuatro electrones externos, en enlaces covalentes, para adquirir la configuración de gas noble. Esto puede lograrse si se une con cuatro átomos monovalentes (por ejemplo de hidrógeno), o con dos átomos divalentes (como el oxígeno). Sin embargo, recordemos que dos de estos electrones de valencia pertenecen al orbital $2s$, mientras que los otros dos están ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, respectivamente. Esto supone que los cuatro enlaces resultantes deben ser diferentes. Sin embargo, se sabe que son simétricos. La explicación de esto se basa en la teoría de la **hibridación** de orbitales.

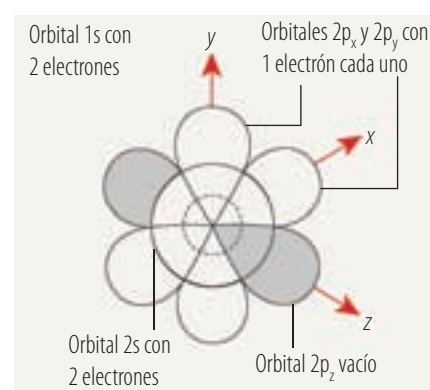


Figura 10. El esquema representa las formas espaciales de los orbitales s y p en el átomo de carbono.

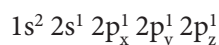


EJERCICIO

¿Cuál es la razón por la que el enlace s presenta rotación libre, mientras que el enlace π no la tiene? Elabora un modelo con bolas de icopor y palillos de pincho.

Hibridación de orbitales

Debido a la promoción de un electrón del orbital $2s$ al orbital $2p_z$, el átomo de carbono adquiere la posibilidad de formar cuatro enlaces covalentes, en cada uno de estos orbitales semicupados:



Esta configuración se conoce como **estado excitado**.

Sin embargo, aún no hemos explicado por qué los cuatro enlaces que se forman son iguales. Se cree que, cuando uno de los electrones del orbital $2s$ es promovido, ocurre una especie de deformación de los orbitales, dando como resultado otro tipo de orbitales, denominados **orbitales híbridos sp^3** .

Dependiendo de si se une con otros átomos de carbono y del número de átomos diferentes presentes en la molécula, se producen fenómenos de hibridación diferentes, en los cuales pueden estar involucrados todos los orbitales p o sólo algunos de ellos, como veremos más adelante.

Enlaces entre orbitales híbridos

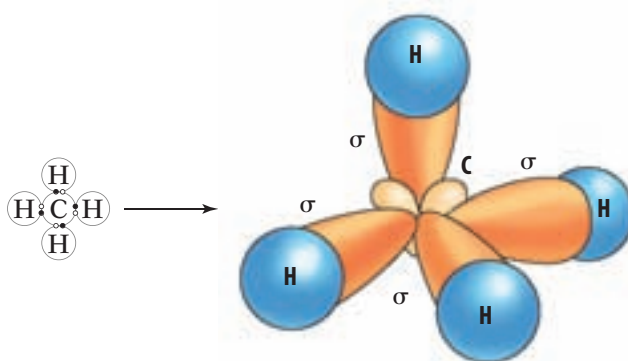
El tipo de enlace que resulta de la fusión de dos orbitales híbridos, sp , es diferente al que se forma a partir de dos orbitales p no hibridados. En el primer caso, se forma un **enlace sigma (σ)**, mientras que en el segundo se obtiene un **enlace pi (π)**. En el siguiente cuadro comparativo se detallan las características de cada tipo de enlace:

Enlace σ	Enlace π
Formado por superposición frontal de orbitales atómicos híbridos, sp^3 .	Formado por superposición lateral de orbitales p (u orbitales p y d).
Tiene simetría de carga cilíndrica alrededor del eje de enlace.	Tiene una densidad de carga máxima en el plano transversal de los orbitales.
Tiene rotación libre.	No permite la rotación libre.
Es un enlace de alta energía.	Posee energía más baja.
Solamente puede existir un enlace entre dos átomos.	Pueden existir uno o dos enlaces entre dos átomos.

Tipos de hibridaciones

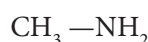
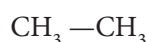
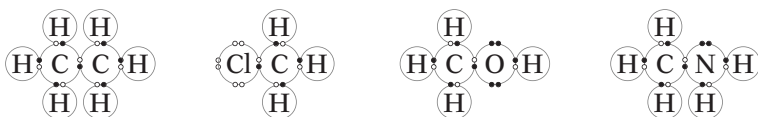
Hibridación tetragonal (sp^3)

Se presenta cuando un átomo de carbono forma enlaces con cuatro átomos monovalentes, por ejemplo, cuatro átomos de hidrógeno o de algún elemento del grupo de los halógenos, como el cloro; a través de cuatro enlaces covalentes simples, tipo σ :





Igualmente, este tipo de estructura molecular se puede presentar cuando el carbono se combina con otros átomos de carbono o de elementos divalentes, como el oxígeno o trivalentes, como el nitrógeno:

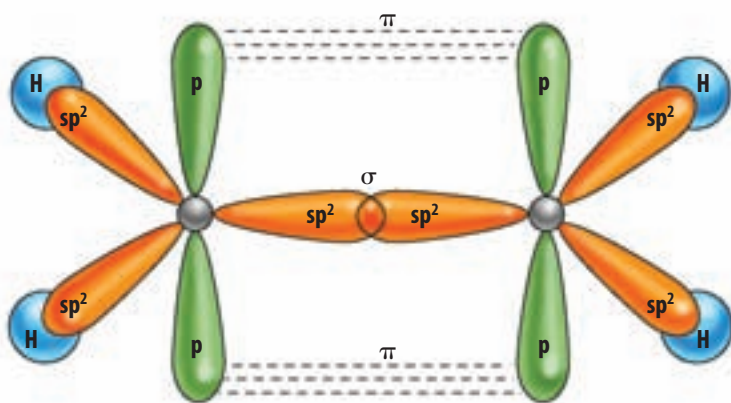


En los casos expuestos anteriormente se presenta una hibridación de tipo **tetragonal**, tal como puede observarse en la figura 11. Los orbitales sp^3 y los enlaces que de ellos resultan, así como los núcleos positivos de todos los átomos unidos al carbono están lo más lejos posible entre sí y para conseguir esto se ubican con ángulos de enlace de $109,5^\circ$.

La idea de que las moléculas en las cuales el carbono se comporta como tetravalente presentan una conformación tridimensional tetraédrica fue propuesta, por primera vez en 1874, por **Jacobus Van't Hoff** y **Joseph Le Bel**, quienes afirmaron que la orientación de los orbitales híbridos no era al azar sino regular.

Hibridación trigonal (sp^2)

Cuando el carbono se combina con solo tres átomos, debe ocupar dos valencias con un átomo que no sea monovalente. Por ejemplo, puede unirse con dos átomos de hidrógeno y con otro átomo de carbono, como ocurre en la molécula de etileno:



Se produce entonces una **hibridación trigonal**, en la cual los orbitales $2s$, $2p_x$ y $2p_y$ se hibridan para generar tres orbitales híbridos, conocidos como **orbitales sp^2** , con lo cual, el orbital $2p_z$ queda inalterado, es decir, no participa. Dos de los orbitales sp^2 forman enlaces covalentes tipo σ con los dos átomos de hidrógeno, mientras que entre los dos átomos de carbono se forma un enlace doble, a partir de la fusión del tercer orbital sp^2 de cada carbono (en un enlace σ) y de los orbitales p no hibridados (enlace π). Como consecuencia de esta disposición, los núcleos de todos los átomos que intervienen quedan situados lo más lejos posible unos de otros, de lo que resulta la coplanaridad (mismo plano) y los ángulos de 120° , característicos de todos los sistemas de doble enlace (figura 12).

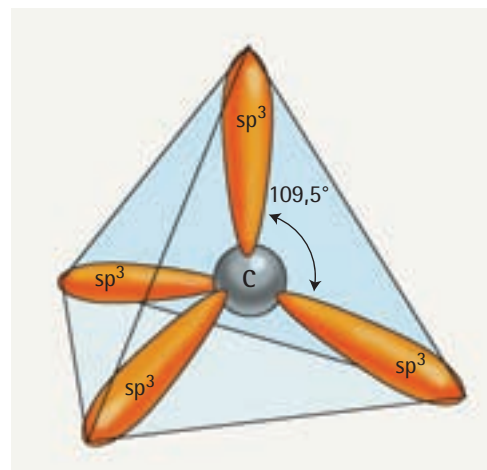


Figura 11. La ilustración muestra un modelo de la hibridación tetragonal, sp^3 , del carbono, con lo cual el átomo adquiere una forma tetrahédrica.

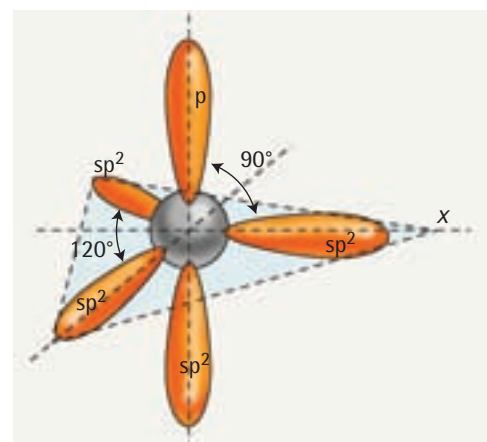


Figura 12. Modelo de la hibridación trigonal sp^2 , en la cual el orbital s y solo dos orbitales p se hibridan, formando tres orbitales híbridos sp .

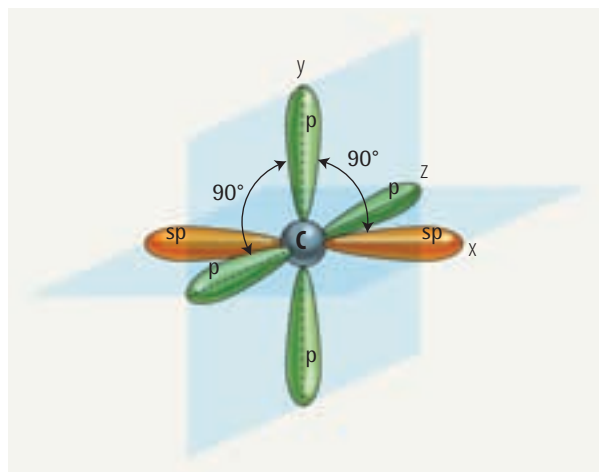


Figura 13. Hibridación sp , en la cual sólo hay formación de dos orbitales híbridos, sp .

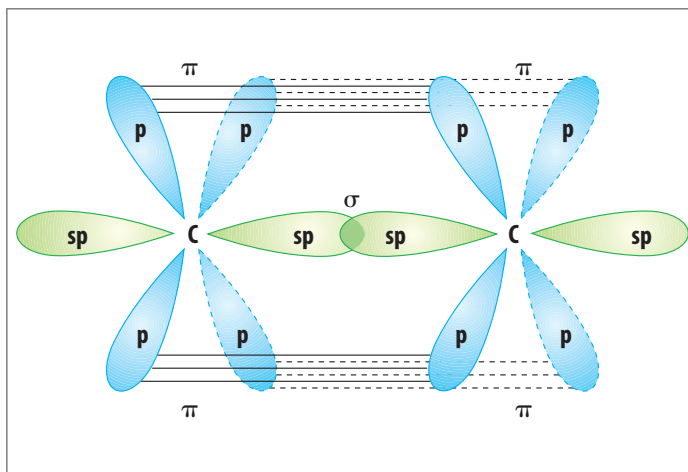


Figura 14. Modelo de la molécula de acetileno, caracterizada por el triple enlace carbono-carbono y por su forma lineal.

Hibridación digonal (sp)

Se produce cuando un átomo de carbono se encuentra unido sólo a dos átomos, por ejemplo, otro carbono y un hidrógeno. En este caso, solo se forman dos orbitales atómicos “ sp ”, quedando, por tanto, dos orbitales p no hibridados (figura 13). El resultado es la formación de un enlace triple entre los dos carbonos, compuesto por dos enlaces π y uno σ , resultado de la fusión de los dos orbitales p y de uno de los orbitales híbridos sp . De la misma manera, entre el hidrógeno y el carbono se forma un enlace tipo σ . Los orbitales híbridos sp forman enlaces separados entre sí 180° , lo que da origen a la geometría lineal del acetileno y de otras estructuras con triple enlace (figura 14).

El siguiente cuadro ilustra las características principales de los diferentes tipos de hibridación.

Tipo de hibridación	Ángulo de enlace	Forma geométrica de la molécula	Número de orbitales p no hibridados	Tipo de enlace entre carbonos
sp^3	$109,5^\circ$	Tetraédrica	0	Sencillo (σ)
sp^2	120°	Trigonal plana	1	Doble (σ y π)
sp	180°	Lineal	2	Triple (σ y dos π)

Efectos de la hibridación sobre la estabilidad de los enlaces

Dos cosas se pueden ganar cuando un átomo como el de carbono experimenta la hibridación. En primer lugar, mediante este fenómeno, los orbitales híbridos pueden superponerse mejor y, en segundo lugar, la hibridación permite ángulos de enlace más amplios, con lo que se minimiza la repulsión entre pares de electrones y se obtiene mayor estabilidad.

Por otro lado, los enlaces entre orbitales híbridos, ya sea sp^3 , sp^2 o sp , con otros orbitales híbridos o con orbitales tipo s , es decir, los enlaces σ , son más fuertes que los enlaces entre orbitales no hibridados, por ejemplo $s-p$, $s-s$ o $p-p$. Esto hace que la longitud de enlace en las moléculas sea menor.

EJERCICIO

Además del átomo de carbono, ¿qué otros átomos pueden experimentar el fenómeno de la hibridación?