

8. Química orgánica

- 8.1 Concepto de Química Orgánica. La materia orgánica
- 8.2 Concepto de grupo funcional que determina la reactividad de las moléculas orgánicas
- 8.3 Hidrocarburos: Alcanos o hidrocarburos saturados. Alquenos o hidrocarburos insaturados con doble enlace, Alquinos o hidrocarburos insaturados con triple enlace, Hidrocarburos Aromáticos.
- 8.4 Concepto general de isomería. Tipos y ejemplos
- 8.5 Alcoholes, fenoles y éteres
- 8.6 Aldehídos y cetonas
- 8.7 Ácidos carboxílicos y derivados
- 8.8 Grupos funcionales conteniendo nitrógeno: Aminas y sales de amonio, Nitrilos o cianuros, Nitroderivados, Amidas
- 8.9 Cuestiones y problemas propuestos de «Química del carbono»

8.1 Concepto de Química Orgánica. La materia orgánica

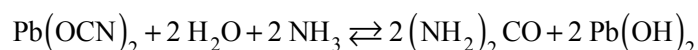
La Química es el estudio de la estructura de las moléculas y de las reglas que gobiernan sus interacciones. Por tanto, conecta próximamente con los campos de la Biología, Física y Matemáticas. Pero qué es lo que distingue la Química Orgánica de otras disciplinas químicas, como la química-física, química-inorgánica o química-nuclear. Una definición que da una contestación parcial es: *La Química Orgánica es la química del carbono y de sus compuestos*. Estos compuestos se llaman **moléculas orgánicas**.

Concepto de materia orgánica

Las moléculas orgánicas constituyen los ladrillos químicos de la vida. Las grasas, los azúcares, las proteínas y los ácidos nucleicos son compuestos en los que el componente principal es el carbono. Son sustancias de gran importancia para la vida diaria. Todos los tejidos que llevamos están hechos de moléculas orgánicas, algunos de fibras naturales, como el algodón y la seda, otros artificiales, como el poliéster. Pasta de dientes, cepillos de dientes, desodorantes, perfumes, todos contienen compuestos orgánicos.

Las sustancias orgánicas como la gasolina, medicinas, pesticidas y polímeros tienen importancia en nuestras vidas. Aunque un uso incontrolado de los compuestos orgánicos produce contaminación en el medio ambiente, causando deterioro a los animales y plantas y también daño y enfermedad a los humanos. Si creamos moléculas útiles, para aprender a controlar sus efectos necesitamos conocer sus propiedades y comportamiento. Debemos ser capaces de aplicar los principios de la química orgánica.

Los compuestos de carbono se llaman *orgánicos* porque, originalmente, se creía que sólo los podían producir los organismos vivos. En 1828, Friedrich **Wöhler** (1800-1882) profesor de Gotinga (Alemania), demostró que esta idea era falsa cuando transformó la sal inorgánica cianato de plomo en urea, que es un producto orgánico del metabolismo de las proteínas en los mamíferos. El hombre excreta unos 30 g de urea al día:



La síntesis, o la obtención de moléculas, es una parte muy importante de la Química Orgánica. Desde la época de Wöhler se han sintetizado más de diez millones de sustancias orgánicas a partir de sustancias más sencillas, orgánicas e inorgánicas. Estas sustancias sintetizadas son compuestos naturales, como los antibióticos penicilinas, o bien compuestos totalmente nuevos. Para convertir una molécula en otra los químicos

deben conocer las reacciones orgánicas, así como las condiciones físicas que gobiernan esos procesos, como la temperatura, presión, solvente y estructura molecular. Este conocimiento es también de gran valor para analizar las transformaciones biológicas.

Al estudiar la química de cada grupo funcional se desarrollan las herramientas para planificar síntesis efectivas y para predecir los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza. Esto se hace analizando las reacciones etapa a etapa.

En la Química Orgánica se dice que las reacciones son el vocabulario y los mecanismos son la gramática.

Cuando presentamos una reacción química, exponemos en primer lugar los reactivos y después los productos. Por ejemplo, en el proceso de cloración del metano, los reactivos son el metano y el cloro, que experimentan la reacción para dar clorometano y cloruro de hidrógeno. La transformación global se expresa mediante la ecuación: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$. Sin embargo, una reacción como esta puede proceder a través de una secuencia compleja de etapas. Los reactivos pueden formar una o varias sustancias no observadas, llamada X, que rápidamente cambian a los productos observados. Esto sería un proceso en dos etapas $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow [\text{X}] \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$. La sustancia X es un intermedio en la reacción, una especie formada en el camino entre reactivos y productos.

¿Cómo se puede determinar el mecanismo de una reacción?. La contestación estricta es que no podemos. Podemos acumular evidencias que sean consistentes con una cierta secuencia de secuencias moleculares que conecten los materiales de partida con los productos (el mecanismo postulado). De esta forma podemos explicar el hecho de que las moléculas orgánicas no son sólo una colección de átomos enlazados. Podemos estudiar cómo, cuando y la rapidez con la que los enlaces se rompen y se forman, hay que hacerlo en tres dimensiones para ver cómo los cambios en la estructura de los reactivos afectan al desarrollo de las reacciones. De esa forma podemos establecer reglas razonables para los mecanismos y proponer caminos de reacción.

De esta forma, el aprendizaje y uso de la Química Orgánica es como el aprendizaje de un lenguaje. Necesitamos el vocabulario, que son las reacciones, para ser capaces de usar las palabras precisas, pero también necesitamos la gramática, que son los mecanismos, para ser capaces de conversar inteligentemente.

Una meta de la Química Orgánica es relacionar la estructura de una molécula con las reacciones que experimenta. Estudiando las etapas en las que cada tipo de reacción tiene lugar, podemos aprender a crear nuevas moléculas para aplicarlas a esos procesos. Por tanto, tiene sentido clasificar las moléculas orgánicas en función de las subunidades y enlaces que determinan su reactividad química: Estos determinantes son grupos de átomos llamados **grupos funcionales**. El estudio de los distintos grupos funcionales y sus respectivas reacciones es lo que vamos a desarrollar.

8.2 Concepto de grupo funcional que determina la reactividad de las moléculas orgánicas

Muchas moléculas orgánicas están formadas, predominantemente, de una columna vertebral de átomos de carbono unidos por enlaces sencillos y unidos a átomos de hidrógeno. También, pueden contener átomos de carbono unidos mediante enlaces dobles y triples. Estos átomos o grupos de átomos tienen una reactividad química muy alta y se conocen como grupos funcionales, estos grupos tienen propiedades características y controlan la reactividad de la molécula en su conjunto.


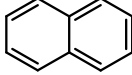
Los **Hidrocarburos** son moléculas que contienen sólo carbono e hidrógeno siendo la fórmula empírica C_xH_y . Aquellos que contienen sólo enlaces sencillos, como metano, etano y propano se llaman **alcanos**. Las moléculas que contienen los átomos de carbono formando un anillo, como el ciclohexano, se llaman **cicloalcanos**. En los alcanos no hay grupos funcionales, son relativamente no polares y poco reactivos. Los

dobles y los triples enlaces son los grupos funcionales de los **alquenos** y de los **alquinos**, respectivamente. Son ejemplos el eteno, propeno, etino y propino. Un hidrocarburo especial es el benceno en el que hay tres dobles enlaces en el anillo de seis carbonos. El benceno y sus derivados se llaman tradicionalmente **aromáticos**, porque tienen olores fuertes.

Muchos grupos funcionales contienen enlaces polares. Los enlaces polares determinan el comportamiento de muchas moléculas. Por ejemplo, los **haloalcanos** contienen enlaces polares carbono-halógeno C-X que son sus grupos funcionales, son ejemplos el clorometano y el cloroetano que son anestésicos. Otro ejemplo es el grupo hidroxilo -O-H de los **alcoholes**, como el metanol y etanol. En los **éteres** la unidad característica funcional es un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, son ejemplos metoximetano (refrigerante) y etoxietano (anestésico).

La función carbonilo C=O se encuentra en los **aldehídos** (el formaldehído es un desinfectante y el acetaldehído un hipnótico), en las **cetonas** (acetona y butanona que son solventes), y conjuntamente con el -OH, en los **ácidos carboxílicos** (el ácido fórmico que es irritante y el ácido acético que es el componente del vinagre).

Las **aminas** como metilamina o dimetilamina son compuestos alquil-nitrógeno.

Hidrocarburos (C,H)	Grupo funcional	Estructura
Alcano	$\begin{array}{c} \quad \\ -C-C- \\ \quad \end{array}$	$H_3C - CH_3$ Etano
Alqueno	$\begin{array}{c} \quad \\ -C=C- \\ \quad \end{array}$	$H_2C = CH_2$ Eteno
Alquino	$-C \equiv C-$	$HC \equiv CH$ Etino
Aromático		 Naftaleno
Compuestos oxigenados (C,H,O)	Grupo funcional	Estructura
Alcohol	$\begin{array}{c} \\ -C-O-H \\ \end{array}$	$CH_3 - CH_2OH$ Etanol
Éter	$\begin{array}{c} \quad \\ -C-O-C- \\ \quad \end{array}$	$CH_3 - O - CH_3$ Metoximetano
Aldehído	$\begin{array}{c} H \\ \\ -C=O \end{array}$	$CH_3 - CHO$ Etanal
Cetona	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-C-C- \\ \quad \end{array}$	$CH_3 - CO - CH_3$ Propanona
Ácido carboxílico	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-O-H \end{array}$	$CH_3 - COOH$ Ácido etanoico
Éster	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-O-C- \\ \quad \end{array}$	$CH_3 - COOCH_2 - CH_3$ Etanoato de etilo
Compuestos nitrogenado (C,H,N)	Grupo funcional	Estructura
Amina	$\begin{array}{c} \quad \\ -C-N- \\ \end{array}$	$CH_3 - NH_2$ Metanamina
Nitrilo	$\begin{array}{c} \\ -C \equiv N \\ \end{array}$	$CH_3 - C \equiv N$ Etanonitrilo
Amida	$\begin{array}{c} O \\ \\ -C-N- \\ \end{array}$	$CH_3 - CONH_2$ Etanamida

8.3 Hidrocarburos: Los hidrocarburos son compuestos que contienen carbono e hidrógeno.

Alcanos o hidrocarburos saturados

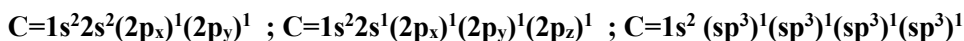
- Se caracterizan porque su molécula está constituida por enlaces sencillos C-C, por un par de electrones C:C.
- La fórmula general de estos compuestos es C_nH_{2n+2} .
- Se clasifican, dependiendo de su estructura, en tres tipos: **alcanos de cadena lineal**, **alcanos ramificados**, en los que el átomo de carbono tiene una o varias ramificaciones, y los alcanos cíclicos o **cicloalcanos**.

Enlace sencillo C-C

En los compuestos en los que el C está unido a cuatro átomos no puede utilizar la configuración electrónica fundamental, $C = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1$, ya que ha de tener cuatro electrones desapareados en la capa de valencia. Si un electrón del orbital 2s saltase al orbital $2p_z$ vacío tendríamos $C = 1s^2 2s^1 (2p_x)^1 (2p_y)^1 (2p_z)^1$. Ésta configuración tiene más energía (400 kJ/mol) pero con la que puede formar cuatro enlaces ya que la energía de enlace C-H es de unos 400 kJ/mol. Sin embargo, si el átomo de C utilizase esta configuración no daría la geometría experimental que es tetraédrica. La dificultad de determinar, teóricamente, la geometría tetraédrica del CH_4 , se resolvió considerando que el átomo de C no utiliza los orbitales atómicos puros sino una combinación lineal o mezcla de ellos llamados orbitales híbridos que sí tienen simetría tetraédrica.

Los orbitales híbridos tetraédricos se obtienen por la combinación lineal de los cuatro orbitales atómicos de la capa de valencia (2s, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$). Estos orbitales atómicos híbridos se llaman sp^3 . De tal forma que los cuatro orbitales atómicos 2s, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ generan cuatro orbitales atómicos híbridos (sp^3) que tienen como centro el átomo de C y dirigidos hacia los vértices de un tetraedro.

Ahora bien, para que los orbitales atómicos, de un mismo átomo, se puedan mezclar y formar orbitales híbridos, es necesario que sean de energía muy parecida. Es decir, **orbitales de la misma capa atómica**. Podemos describir la secuencia de formación de los orbitales atómicos híbridos en el átomo de C a partir de los atómicos de la siguiente forma:



Estos cuatro orbitales híbridos están dirigidos hacia los extremos de un tetraedro y cada uno de ellos acomoda un electrón. Cada electrón, de un orbital híbrido, se aparea con otro electrón, de un átomo de H, que está en el orbital 1s, para formar un enlace σ por solapamiento del híbrido sp^3 del C con el 1s del H. Los cuatro orbitales híbridos del C, solapando con los cuatro orbitales 1s de los átomos de H, formarán cuatro enlaces σ que son tetraédricos y explican la geometría del metano CH_4 .

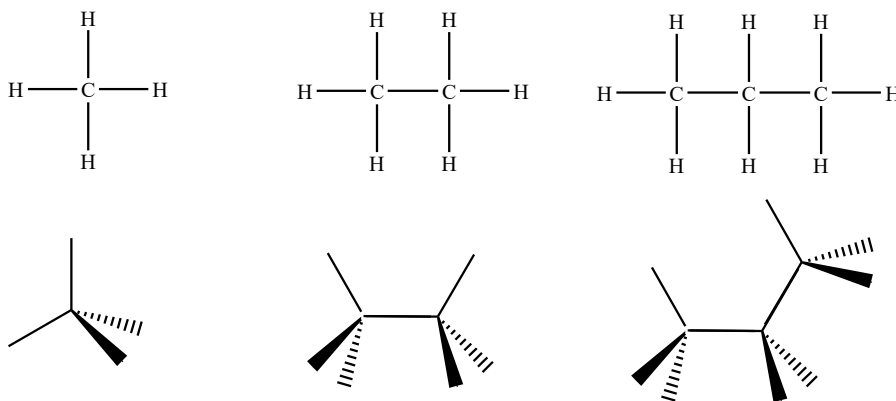
En todos los hidrocarburos saturados (alcanos), como metano, etano, propano, etc., el C presenta geometría tetraédrica. Por lo que el átomo de C utiliza orbitales atómicos híbridos sp^3 lo que explica la geometría tetraédrica de todos los alcanos. Los enlaces sencillos son enlaces σ , que se producen por el solapamiento de los orbitales híbridos sp^3 de un C con el orbital híbrido sp^3 de otro átomo de C. Siendo la distancia C-C de **154 pm**.

Los orbitales híbridos se usan para obtener una descripción sencilla de los enlaces en las moléculas en términos de la teoría enlace-valencia, aunque, no nos dan, en general, una explicación a priori de la geometría de una molécula. La hibridación de los orbitales atómicos no es un fenómeno; es solamente una herramienta matemática para obtener una descripción aproximada de los enlaces en términos del método enlace-valencia.

Nomenclatura de los alcanos

Alcanos o hidrocarburos saturados: Se caracterizan porque su molécula está constituida por enlaces sencillos, por un par de electrones C-C ó C:C. La fórmula general de estos compuestos es C_nH_{2n+2} y se clasifican, dependiendo de su estructura, en tres tipos: **alcanos de cadena lineal**, **alcanos ramificados**, en los que el átomo de carbono tiene una o varias ramificaciones, y los alcanos cíclicos o **cicloalcanos**.

Alcanos de cadena lineal: En los alcanos de cadena lineal, cada C está unido a otros dos átomos de C y a dos átomos de H. Excepto los dos C terminales que están unidos a un sólo átomo de C y a tres átomos de H.



Se nombran, dependiendo del número de átomos de carbono que tenga la molécula. El nombre consta de un prefijo, que nos indica el número de átomos de carbono, y de un sufijo, que es **-ano**.

Metano CH₄

Etano CH₃-CH₃

Propano CH₃-CH₂-CH₃

Butano CH₃-CH₂-CH₂-CH₃

Pentano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

Hexano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

Heptano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

Octano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

Nonano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

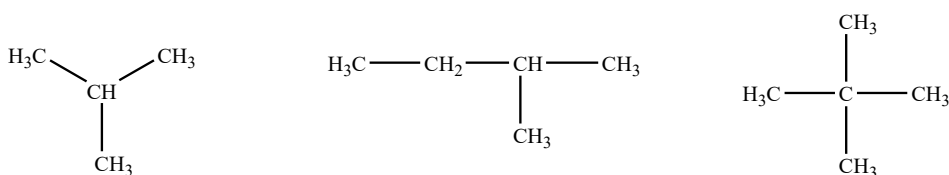
Decano CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₃

Icosano CH₃-[CH₂]₁₈-CH₃

Alcanos ramificados: Los alcanos ramificados proceden de los de cadena lineal quitando un hidrógeno de un grupo metileno -CH₂- y poniendo un **grupo alquilo**.

Tienen de fórmula general C_nH_{2n+2} . El más sencillo es CH₃-CH[CH₃]-CH₃ llamado 2-metilpropano, que tiene la misma fórmula molecular que el butano y se dice que son **isómeros geométricos** o constitucionales.

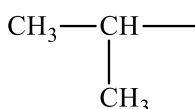
Si el número de átomos de carbono es de diez C₁₀H₂₂ existen 75 isómeros, si es de quince C₁₅H₃₂ existen 4.347 isómeros, y si es de veinte C₂₀H₄₂ existen 366.319 isómeros.



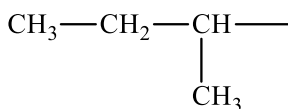
Ejemplos de grupos alquilo:

¹ CH ₃ – Metil	² CH ₃ – ¹ CH ₂ – Etil	³ CH ₃ – ² CH ₂ – ¹ CH ₂ – Propil Propan-1-il	⁵ CH ₃ – ⁴ CH ₂ – ³ CH ₂ – ² CH ₂ – ¹ CH ₂ – Pentil Pentan-1-il
--------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

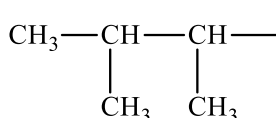
Ejemplos de grupos **alquilo ramificados**:



1-Metiletil
Propan-2-il



1-Metilpropil
Butan-2-il



1,2-Dimetilpropil
3-Metil-butan-2-il

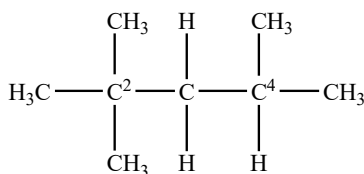
En los alcanos ramificados, los átomos de carbono no constituyen una única cadena lineal sino que puede tener una o varias ramificaciones. Para nombrarlos hemos de tener en cuenta las **reglas de la IUPAC**:

1. En la molécula encuentra la **cadena más larga** y **nómbrala**. Si una molécula tiene dos o más cadenas de longitud igual la cadena tronco es la que tiene más sustituyentes.
2. **Nombra todos los grupos** unidos a la cadena más larga o principal como **sustituyentes alquilo**s.
3. **Numera** los carbonos de la cadena más larga o principal comenzando por el extremo que está más próximo a un sustituyente. Si hay dos sustituyentes a igual distancia desde los dos extremos de la cadena utiliza el orden alfabético del sustituyente.
4. **Escribe el nombre** del alcano poniendo en primer lugar todos los sustituyentes en orden alfabético (cada uno precedido por el número de carbono al que está unido y un guión) y le añadimos el nombre de la cadena principal. Si la cadena principal contiene más de un sustituyente determinado, su nombre irá precedido por el prefijo di, tri, tetra, penta, ... Las posiciones de unión a la cadena principal se pondrán todas antes del nombre del sustituyente e irán separadas por comas. Los prefijos no se consideran en la ordenación alfabética, excepto cuando son parte del nombre de un sustituyente complejo.

Nombres	Escribe las fórmulas
2-Metilpropano	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
2-Metilpentano	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
2,2-Dimetilpentano	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
5-Etil-2-metilheptano	
5-(1,2-dimetilpropil)-4-etil-3-metilnonano	
3-Etil-6-metiloctano.	
3-Etil-2-metilpentano	

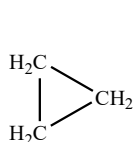
4-Etil-2,2,7-trimetiloctano
5-(1,1-dimetiletil)-3-etiloctano.

2,2,4-Trimetilpentano

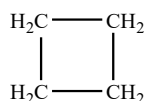


Alcanos cíclicos: Son hidrocarburos que contienen átomos de C unidos por enlaces sencillos formando anillos. Tienen de fórmula general C_nH_{2n} . Se nombran añadiendo el prefijo **ciclo-** al nombre del alcano equivalente de cadena abierta.

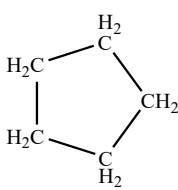
Los radicales derivados de los cicloalcanos por pérdida de un átomo de H son radicales **cicloalquílicos** (ciclometilo). En general, la unidad más pequeña se considera como un sustituyente; por ejemplo propilciclopentano (no ciclopentilpropano) y ciclohexiloctano (no octilciclohexano).



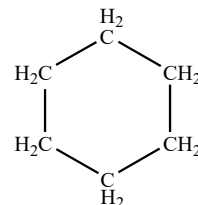
Ciclopropano



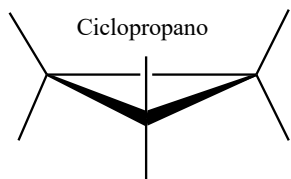
Ciclobutano



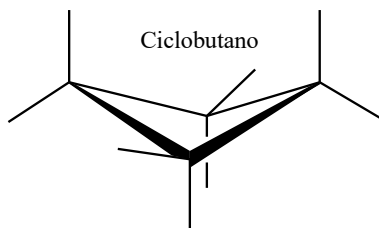
Ciclopentano



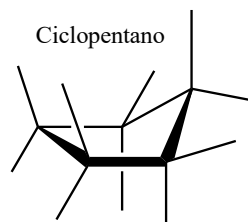
Ciclohexano



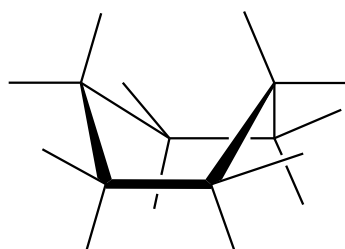
Ciclopropano



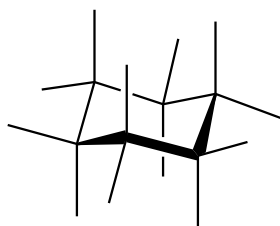
Ciclobutano



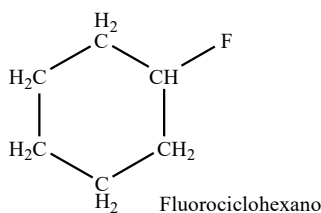
Ciclopentano



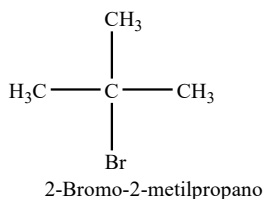
Ciclohexano



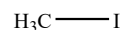
Haloalcanos: Los alcanos que tienen halógenos (F;Cl;Br;I) se tratan como sustituyentes del alcano. Ejemplos: Fluorociclohexano, 2-Bromo-2-metilpropano, yodometano.



Fluorociclohexano

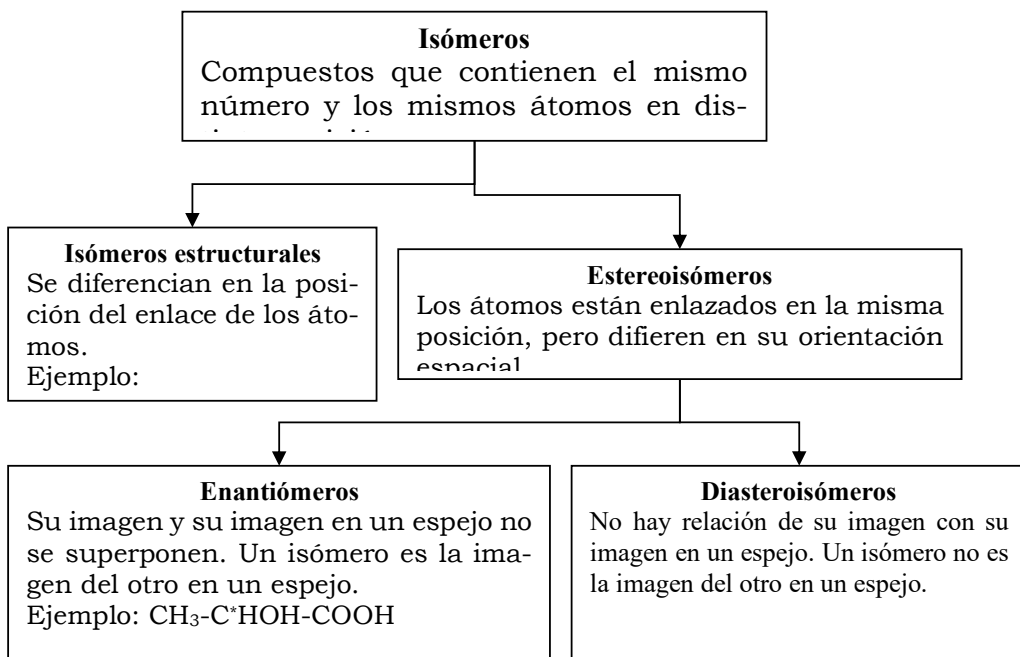


2-Bromo-2-metilpropano



Yodometano

Isomería en los compuestos del carbono



Una propiedad característica de los glúcidos es la isomería. Se llaman isómeros a los compuestos químicos que teniendo la misma fórmula molecular tienen diferentes propiedades físicas, ya que contienen el mismo número y los mismos átomos pero en distinta posición.

Ejemplo de enantiómeros:



Propiedades físicas de los Alcanos

Temperatura de ebullición: son gases hasta el butano, temperatura ambiente. Los alcanos no ramificados desde el pentano hasta el heptadecano son líquidos, y los superiores son sólidos. La temperatura de ebullición de los alcanos no ramificados se incrementa con el número de átomos de carbono. La temperatura de ebullición de los ramificados 2-metil-alcano es menor que la de los isómeros sin ramificar.

Explorando el nivel molecular la razón del aumento de la temperatura de ebullición al aumentar el número de átomos de carbono y la diferencia entre no-ramificado y el ramificado se debe a la conexión entre estructura y propiedades. Una sustancia existe como un líquido en vez de un gas porque hay fuerzas atractivas entre las moléculas (fuerzas atractivas intermoleculares) son mayores en el líquido que en la fase gas. Las fuerzas atractivas entre especies neutras (átomos o moléculas, pero no iones) se refieren a las fuerzas de van der Waals y pueden ser de tres tipos:

- 1.- dipolo-dipolo (incluido el enlace de hidrógeno)
- 2.- dipolo-dipolo inducido
- 3.- dipole inducido-dipolo inducido

Estas fuerzas son de naturaleza eléctrica y como los alcanos no tienen momento dipolar, la única fuerza es la fuerza atractiva dipolo inducido-dipolo inducido.

Un alcano con peso molecular alto tiene más átomos y electrones y, por tanto, más oportunidades para atracciones intermoleculares y puntos de ebullición altos que otro alcano con un peso molecular bajo.

Los alcanos ramificados tienen temperaturas de ebullición más bajas que sus isómeros no ramificados. Los isómeros tienen el mismo número de átomos y electrones, pero una molécula de un alcano ramificado tiene una superficie menor que uno no ramificado. La forma extendida de un alcano no ramificado permite más puntos de contacto para asociaciones intermoleculares. Si comparamos los puntos de ebullición del pentano (36°C) y sus isómeros 2-metilbutano (28°C) y 2,2-dimetilpropano (9°C), se comprueba que el no ramificado tiene más fuerza atractiva entre sus moléculas.

Solubilidad en agua: Una propiedad típica de los alcanos está contenida en la frase "el agua y el aceite no se mezclan". Los alcanos, como todos los hidrocarburos, son insolubles en el agua. El enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua es demasiado fuerte para romperlo los hidrocarburos no-polares. Son insolubles y con densidades entre 0,6-0,8 g/mL los alcanos flotan en la superficie del agua. Este efecto del agua de excluir las moléculas no-polares se llama **efecto hidrofóbico**.

Los alcanos demuestran una pequeña variación en sus propiedades físicas. Son cada vez menos volátiles cuando aumenta su peso molecular. Así del C₁ a C₄, a la temperatura ambiente, son gases. Del C₆ a C₁₁, gasolina, las temperaturas de ebullición varían desde 30°C a 200°C. Del C₁₂ a C₁₆, keroseno y fuel oil, las temperaturas de ebullición varían desde 180°C a 400°C. Del C₁₇ a C₂₂, lubricantes, las temperaturas de ebullición son superiores a los 350°C. Del C₂₀ a C₃₄, ceras parafinas, son sólidos de bajo punto de fusión. Superiores a C₃₅ son sólidos blandos que constituyen los asfaltos.

El hecho de que aumente muy gradualmente la temperatura de ebullición y de fusión con el peso molecular se debe a las fuerzas intermoleculares dominantes son las de London.

Los alcanos no ramificados tienden a tener, respecto de sus isómeros ramificados, puntos de fusión y de ebullición superiores, así como las entalpías de vaporización. Esta diferencia puede explicarse por las fuerzas de London. Los átomos vecinos en un alcano de cadena lineal vecina pueden estar próximos. Sin embargo, las ramas de una molécula de alcano sustituida impiden la aproximación de todos los átomos, por lo que las fuerzas de London son débiles y las cadenas de alcanos ramificados son más volátiles.

Propiedades químicas de los Alcanos

El nombre antiguo de los alcanos es el de hidrocarburos **parafina**, que procede del latín y significa poca afinidad, ello debido a la poca reactividad que presentan.

Son ácidos muy débiles. El acetileno $pK_a = 26$, el etileno $pK_a = 45$, el metano $pK_a = 60$. Es por lo que son inertes en las reacciones ácido-base.

Participan en las reacciones de oxidación-reducción como los compuestos que experimentan la oxidación. Arden en el aire (combustión). Siendo la combustión exotérmica y produciendo dióxido de carbono y agua.

Los alcanos no-ramificados tienen una entalpía de combustión ligeramente mayor que la de sus isómeros ramificados. El calor de combustión se usa para medir la estabilidad relativa de los isómeros, se asocia la entalpía de combustión a la **energía potencial** de la molécula. Una molécula con más energía potencial es menos estable que un isómero con menos energía potencial.

Por tanto, las diferencias en las entalpías de combustión se trasladan a diferencias en sus energías potenciales. Así si comparamos isómeros el de menor energía potencial (en este caso, el de menor calor de combustión) es el más estable. De los octanos el más estable es el isómero 2,2,3,3-tetrametilbutano.

La pequeña diferencia en estabilidad entre alcanos ramificados y no-ramificados es el resultado desde una interacción entre fuerzas atractiva y repulsiva **dentro** de una molécula (**fuerzas intermoleculares**). Estas fuerzas son repulsiones núcleo-núcleo, repulsiones electrón-electrón y atracciones núcleo-electrón. Cuando la energía asociada con estas interacciones se calcula para todos los núcleos y electrones dentro de una molécula, se encuentra que las fuerzas atractivas incrementan más que las fuerzas repulsivas cuando **la estructura es más compacta**.

Reacciones de oxidación-reducción

La reacción de los alcanos con el oxígeno, llamada combustión, es una reacción de la categoría oxidación-reducción. El estado de oxidación (también conocido como el número de oxidación) del carbono en el metano es -4.

El carbono tiene la forma más reducida en el metano, y en el dióxido de carbono y en el ácido carbónico el estado más oxidado +4. Cuando el metano o cualquier alcano experimentan la combustión para dar dióxido de carbono el carbono se oxida y el oxígeno se reduce.

La oxidación del carbono corresponde a un incremento en el número de enlaces entre carbono y oxígeno o a la disminución en el número de enlaces carbono-hidrógeno. Por el contrario, la reducción corresponde a un incremento en el número de enlaces carbono-hidrógeno o a la disminución de enlaces carbono-oxígeno.

De las varias clases de hidrocarburos, los alcanos contienen el carbono en el estado más reducido y los alquinos en el más oxidado.

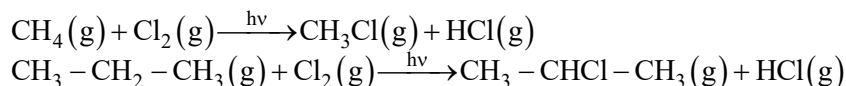
La oxidación del carbono ocurre cuando un enlace entre un carbono y un átomo que es menos electronegativo que el carbono es sustituido por un enlace a un átomo que es más electronegativo que el carbono. El proceso inverso es la reducción.

Los alcanos no son atacados por sustancias muy oxidantes. Así no les afecta las disoluciones muy concentradas de ácido sulfúrico, de ácido nítrico, de permanganato de potasio o de hidróxido de sodio. Una razón de su baja reactividad química es termodinámica, ya que los enlaces C-C y C-H son fuertes, por lo que habrá muy poca ventaja energética en sustituirlos con otros enlaces, excepto los más fuertes como los enlaces C=O, C-OH y C-F. Otra razón está relacionada con el hecho de que en un alcano el átomo de C tiene un octeto completo de electrones, es pequeño, y no tiene orbitales d.

Sin embargo, los alcanos no son completamente inertes y una de sus reacciones más importantes es la oxidación, especialmente la combustión para dar dióxido de carbono y agua. Estas reacciones son exotérmicas. El mecanismo de estas reacciones procede por una reacción en cadena de radicales. Y ello es la causa de que los alcanos ramificados ardan más lentamente que los no ramificados y no produzcan explosiones internas. El más utilizado por sus buenas cualidades en la combustión de las gasolinas es el isooctano 2,2,4-trimetilpentano. El de peor comportamiento es el heptano de cadena lineal. Cada gasolina se da en un índice de octano que es el porcentaje de relación, por volumen, de isooctano que debe ser mezclado con heptano.

Reacciones de sustitución: Una reacción de sustitución es una reacción en la que un átomo o grupo de átomos sustituye un átomo en la molécula original.

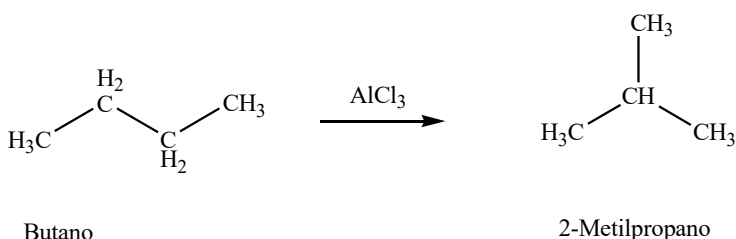
En los alcanos el átomo desplazado es el H. Un ejemplo es la reacción entre el metano y el cloro, que se produce cuando la mezcla se expone a radiación ultravioleta



También son productos de la reacción el diclorometano, triclorometano (cloroformo) y tetraclorometano.

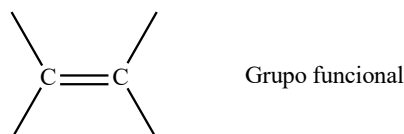
Las C-H secundarios son más reactivos y los carbonos terciarios aún más.

Reacciones de isomerización: Es una de las aplicaciones en las refinerías de petróleo, convertir alcanos no ramificados en ramificados. Se realiza pasando los alcanos sobre un catalizador (haluro de aluminio



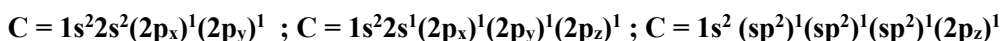
Alquenos o hidrocarburos insaturados con doble enlace

El grupo funcional característico es el enlace doble entre dos átomos de carbono C=C. Su fórmula general para un doble enlace es C_nH_{2n} .



Enlace doble C=C: Para analizar el enlace doble vamos a considerar la estructura de la molécula de etileno. El etileno está formado por dos átomos de C unidos por un doble enlace y cada átomo de C unido a dos átomos de H ($\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$). Los seis átomos están en un mismo plano, siendo la distancia entre los átomos de C=C de **134 pm**, sensiblemente menor que distancia C - C, en el enlace sencillo. Con ángulos HCH y CCH de aproximadamente 120° .

Ésta distribución espacial de la molécula de etileno sugiere que los átomos de C utilizan orbitales híbridos sp^2 (**siendo los dos orbitales p los del plano molecular**) con un electrón en cada uno de los tres orbitales híbridos. El cuarto electrón de cada átomo debe ocupar el orbital 2p sin hibridar y que ha de ser el perpendicular al plano de la molécula. Por ejemplo, si el plano de la molécula es el XY tendremos que los orbitales atómicos híbridos sp^2 se forman por combinación de los orbitales 2s, $2p_x$ y $2p_y$.



En la molécula de etileno existen dos tipos de enlaces, un enlace doble C=C y cuatro enlaces sencillos C-H. Los dos átomos de C están unidos por un doble enlace, que sería un enlace sigma y un enlace pi, y los C - H por enlaces sigma. Es decir:

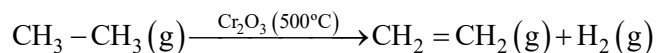
- El enlace σ C-C estaría formado por el solapamiento del orbital híbrido sp^2 de un átomo de C, con un sólo electrón, con el orbital híbrido sp^2 del otro átomo de C, con un electrón de distinto espín. El solapamiento se produce en la dirección del eje internuclear C-C.

- El enlace π C-C estaría formado por el solapamiento de los orbitales $2p_z$ de cada átomo de C, cada uno con un electrón de distinto espín. El solapamiento se produce perpendicularmente al eje internuclear.

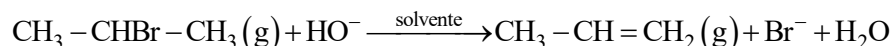
- Cada enlace σ C-H estaría formado por el solapamiento de un orbital híbrido sp^2 , de un átomo de C, con un electrón, con el orbital atómico 1s del átomo de H, con un electrón de espín distinto.

Obtención de alquenos

En la industria petroquímica se obtienen a partir de los alcanos. Es un proceso catalítico llamado dehidrogenación



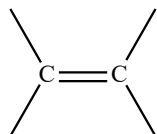
También se forman a partir de los haloalcanos



Una reacción de eliminación es aquella en la que dos grupos de átomos sobre átomos de carbono vecinos son arrancados de una molécula, y de ese modo se origina un enlace múltiple entre los átomos de carbono.

Nomenclatura de los alquenos

El grupo funcional característico es el enlace doble entre dos átomos de carbono $\text{C}=\text{C}$. Su fórmula general para un doble enlace es C_nH_{2n} .



Grupo funcional

Se nombran con un prefijo, que nos indica el número de átomos de carbono de la cadena principal, que ha de tener el doble enlace entre los carbonos, y el sufijo **-eno**. Los sustituyentes se nombran como prefijos.

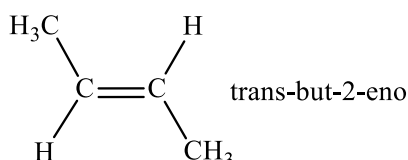
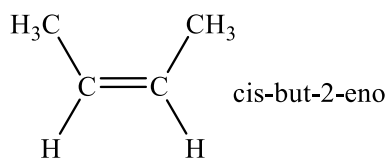
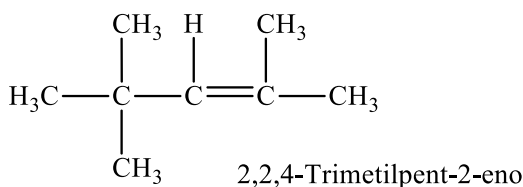
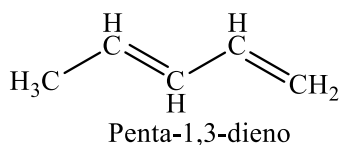
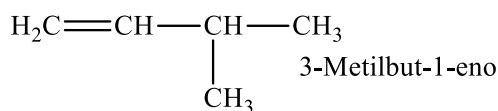
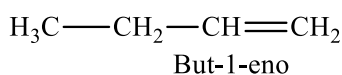
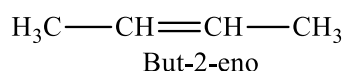
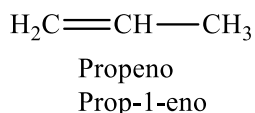
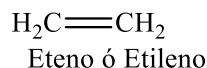
Reglas de la IUPAC:

1. Nombrar la cadena principal, encuentra la cadena más larga que incluya el grupo funcional (carbonos unidos por enlace doble).
2. Indica la localización del doble enlace en la cadena principal por un número, empezando por el extremo más próximo al doble enlace (los cicloalquenos no necesitan el prefijo numérico, pero los carbonos con el doble enlace son numerados como 1 y 2). Los alquenos que tienen la misma fórmula molecular pero difieren en la localización del doble enlace (como 1-buteno y 2-buteno) se llaman isómeros de doble enlace.
3. Añade, como prefijos, los sustituyentes y sus posiciones. Si la cadena principal del alqueno es simétrica, comienza por el extremo que de al primer sustituyente a lo largo de la cadena el número más bajo posible.
4. Identifica los isómeros. En un eteno 1,2-disustituido, los dos sustituyentes pueden estar en el mismo lado de la molécula (cis) o en lados opuestos (trans). Dos alquenos de la misma fórmula molecular que difieren sólo en su estereoquímica (orientación espacial) se llaman isómeros cis-trans y son ejemplos de diastereoisómeros: estereoisómeros que no son, entre ellos, imágenes en el espejo. (Los estereoisómeros cuya imagen y la del espejo no son superponibles se llaman enantiómeros). Ejemplos: cis-2-buteno; trans-2-buteno.
5. Usa el método más general, el sistema E,Z, para denominar los diastereoisómeros más complejos. Las denominaciones cis y trans no se pueden aplicar cuando hay **tres o más sustituyentes** diferentes unidos al doble enlace $\text{C}=\text{C}$. Un sistema alternativo para nombrar estos alquenos se ha adoptado por la IUPAC: el **sistema E,Z**. Cuando los dos grupos de mayor prioridad (la prioridad viene dada por

el número atómico, el de menor prioridad es el H) están en el lado opuesto, la molécula es de configuración E (E procede de entgegen, opuesto en alemán). Cuando los dos sustituyentes de mayor prioridad están en el mismo lado, la molécula es un isómero Z (Z procede de zusammen, juntos). Ejemplos: (Z)-1-bromo-1,2-difluoroeteno.

6. Los sustituyentes con un doble enlace se llaman alquenos: etenil o vinil; 2-propenil o alil; cis-1-propenil. La numeración de un sustituyente en la cadena comienza en el punto de unión a la cadena principal.

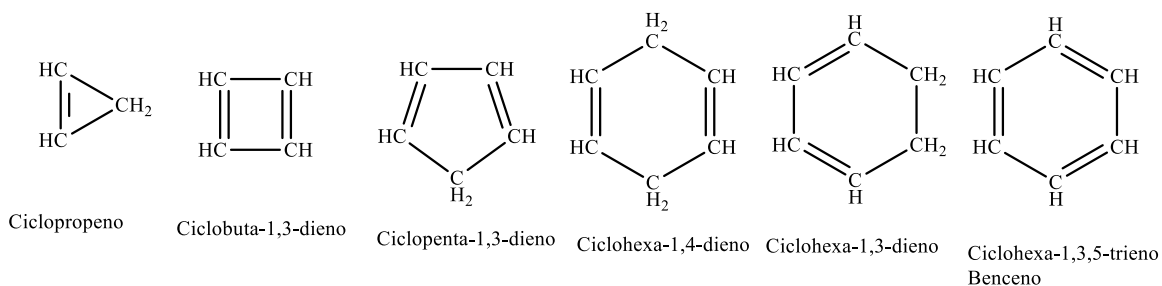
Ejemplos:



Alquenos o radicales con doble enlace:

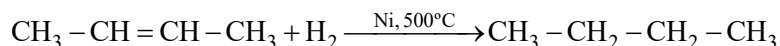
$\overset{2}{\text{C}}\text{H}_2 = \overset{1}{\text{C}}\text{H} -$	$\overset{3}{\text{C}}\text{H}_2 = \overset{2}{\text{C}}\text{H} - \overset{1}{\text{C}}\text{H}_2 -$	$\overset{4}{\text{C}}\text{H}_3 - \overset{3}{\text{C}}\text{H}_2 - \overset{2}{\text{C}}\text{H}_2 - \overset{1}{\text{C}}\text{H} =$
Vinil	Alil	Butilideno
Etenil	Prop-2-en-1-il	Butan-1-ilideno

Alquenos cíclicos: Cuando el doble enlace está integrado en un anillo, se añade el prefijo ciclo- al nombre del alqueno, tal como se hacía en los alcanos cíclicos.

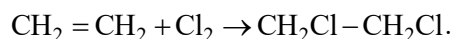


Propiedades químicas de los alquenos

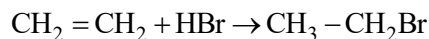
La reacción más importante del doble enlace es la **adición**, que es la inversa de la eliminación. Una **reacción de adición** de un compuesto insaturado es una reacción en la que un reactivo es añadido a los dos átomos unidos por un enlace múltiple. Un ejemplo es la hidrogenación de un alqueno, la adición de átomos de hidrógeno al alqueno y su conversión en alcano



La incorporación de un halógeno se llama halogenación:



La adición de haluros de hidrógeno a un alqueno se llama hidrohaleogación:

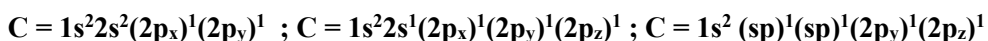


Los alquenos reaccionan con ellos mismos en un proceso llamado polimerización. Así, la molécula de etileno puede formar un enlace con otra molécula de etileno, otra molécula de etileno se puede añadir, hasta llegar a obtener grandes cadenas. El alqueno original, como el etileno se llama monómero (una parte), el producto, la cadena de monómeros unidos covalentemente se llama polímero (muchas partes). El polímero de adición más sencillo es el polietileno $-(\text{CH}_2\text{CH}_2)_n-$ que consiste en largas cadenas de unidades $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$

Alquinos o hidrocarburos insaturados con triple enlace

Son hidrocarburos en los que existe al menos un enlace triple entre dos átomos de carbono: $-\text{C} \equiv \text{C}-$. El triple enlace es el grupo funcional y la fórmula general es $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$.

Enlace triple $-\text{C} \equiv \text{C}-$: El compuesto más sencillo con enlace triple es el etino o acetileno. La estructura del acetileno es $\text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$. Tiene los cuatro átomos en línea recta, siendo la distancia entre los átomos de carbono de **120 pm**, menor que en doble enlace. Para explicar esta estructura cada átomo de C debe utilizar orbitales híbridos sp que son lineales, siendo el orbital p el del eje internuclear. Si consideramos el eje X el internuclear tenemos



Consideramos que hay un electrón sobre cada uno de los orbitales híbridos sp y un electrón sobre cada uno de los orbitales 2p sin hibridar y que son perpendiculares a los híbridos. Enlaces en el acetileno:

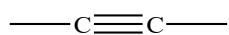
- El orbital híbrido sp de un átomo de C, con un electrón, solapa con otro orbital híbrido sp del otro átomo de C, con un electrón de espín distinto, y forman un enlace σ C-C.

- Los orbitales atómicos $2p_y$ y $2p_z$, de cada átomo de C, que tienen un sólo electrón y son perpendiculares al eje internuclear (X) solapan ($2p_y-2p_y$; $2p_z-2p_z$) formando dos enlaces π C-C.

- El otro orbital híbrido sp, de cada átomo de C, con un electrón, solapa con el orbital 1s del H, con un electrón, constituyendo dos enlaces σ C-H.

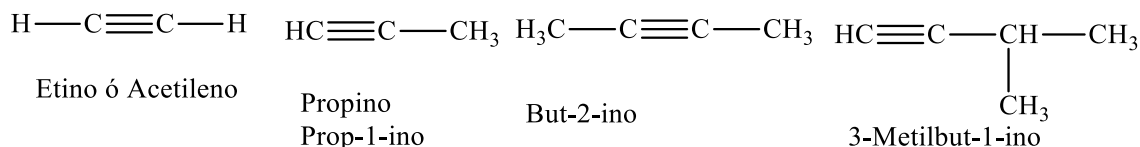
Alquinos o hidrocarburos insaturados con triple enlace:

Son hidrocarburos en los que existe al menos un enlace triple entre dos átomos de carbono:



El triple enlace es el grupo funcional y la fórmula general es C_nH_{2n-2} . Se nombran aplicando las mismas reglas de la IUPAC para los alquenos pero sustituyendo la terminación -eno por **-ino**.

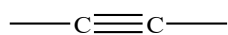
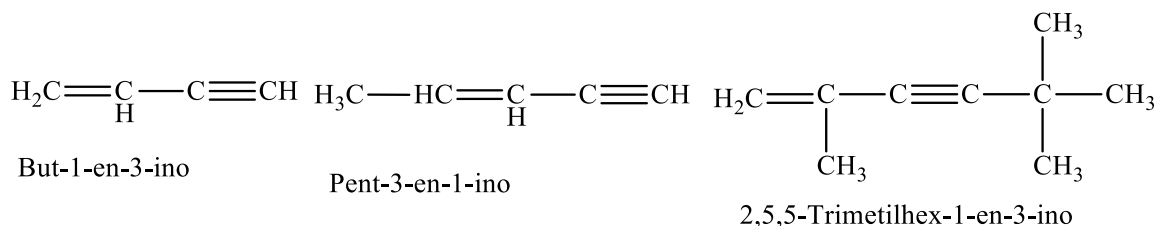
Ejemplos:



Alquilos o radicales con triple enlace:

$\overset{2}{\text{C}}\text{H} \equiv \overset{1}{\text{C}} -$	$\overset{3}{\text{C}}\text{H} \equiv \overset{2}{\text{C}} - \overset{1}{\text{C}}\text{H}_2 -$	$\overset{4}{\text{C}}\text{H}_3 - \overset{3}{\text{C}}\text{H}_2 - \overset{2}{\text{C}}\text{H}_2 - \overset{1}{\text{C}} \equiv$
Etinil	Prop-2-in-1-il	Butilidino
		Butan-1-ilidino

Hidrocarburos con dobles y triples enlaces: La cadena principal se numera partiendo desde el extremo más próximo a cualquiera de los grupos funcionales (doble o triple enlace). Cuando un doble enlace y un triple enlace son equidistantes el doble enlace tendrá el número más bajo.



Hidrocarburos Aromáticos

Se llaman así a una serie de hidrocarburos que tienen una reactividad química muy baja. El nombre genérico de los hidrocarburos aromáticos mono y policíclicos es areno y sus radicales se llaman radicales arilo.

Enlace aromático: El compuesto aromático más representativo es el benceno C_6H_6 . La estructura molecular del benceno es plana, estando los doce átomos en un mismo plano. Los seis átomos de C forman un hexágono regular y cada átomo de H está unido a un C. La distancia C-C es de 140 pm, comprendida entre el enlace doble y el enlace sencillo.

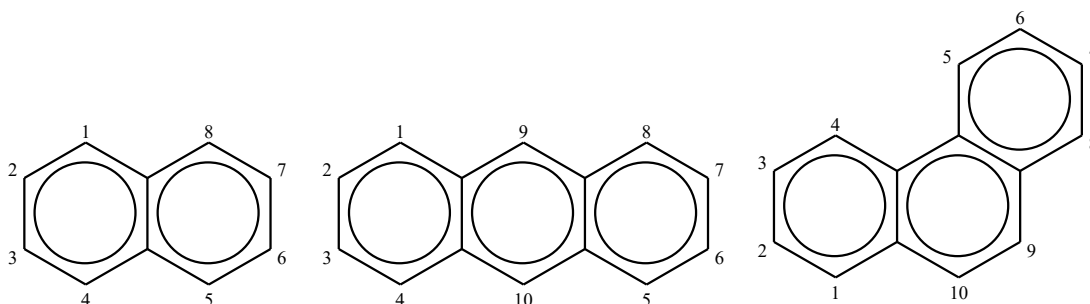
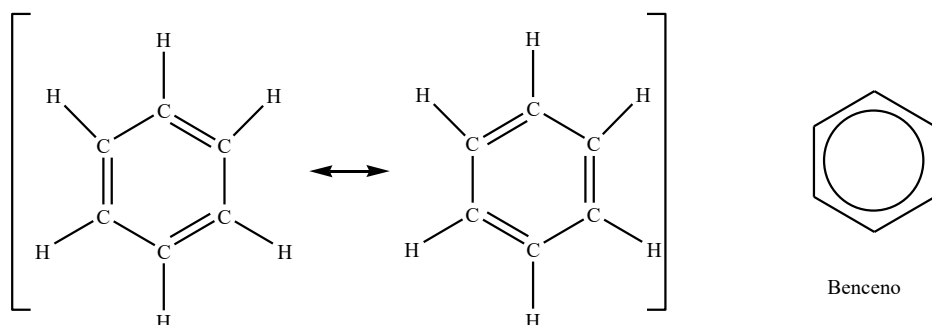
Para explicar la geometría consideramos que cada átomo de C utiliza tres orbitales híbridos sp^2 , siendo los orbitales $2p_x$ y $2p_y$ los del plano molecular. Los orbitales utilizados por cada átomo de carbono, $C=1s^2 (sp^2)^1 (sp^2)^1 (sp^2)^1 (2p_z)^1$, con un electrón en cada orbital híbrido y el cuarto electrón en el orbital $2p_z$ perpendicular al plano molecular.

- Cada átomo de C está unido a otros dos átomos de C, luego dos de los electrones en dos orbitales híbridos sp^2 de cada C se aparean con los electrones de orbitales híbridos de los átomos de C vecinos y forman en total **seis enlaces** σ C-C.

- El tercer electrón en el orbital híbrido sp^2 de cada átomo de C se aparean con el electrón de un átomo de H en un orbital $1s$ formando un enlace σ C-H. Lo que supone en total **seis enlaces** σ C-H.

- En el anillo hexagonal de seis átomos de C, las distancias C-C hace que los orbitales atómicos $2p_z$ de cada átomo de C, que son perpendiculares al plano del anillo, puedan solapar de costado con sus vecinos para formar **enlaces π C-C**.

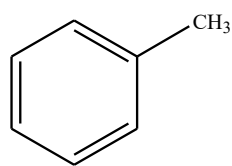
Dependiendo de cuales sean los átomos vecinos de C considerados para formar los enlaces π C-C tendríamos las dos estructuras de Kekulé. La estructura real se considera un híbrido de resonancia de las dos alternativas. Es importante destacar que el término híbrido utilizado en la descripción del benceno tiene dos significados ligeramente diferentes. En sus enlaces los átomos de C usan orbitales híbridos, que se obtienen por mezcla de orbitales atómicos; las estructuras resultantes en conjunto son usadas para formar un híbrido de resonancia, es decir, una mezcla de estructuras.



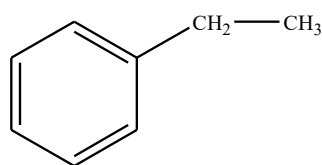
Naftaleno

Antraceno

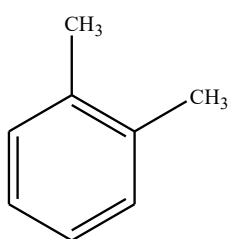
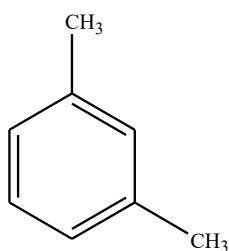
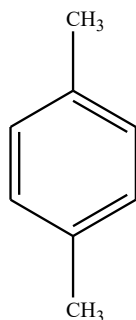
Fenantreno

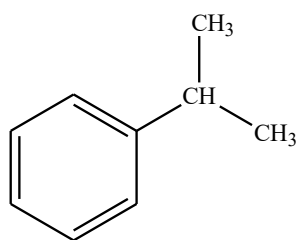


metilbenceno

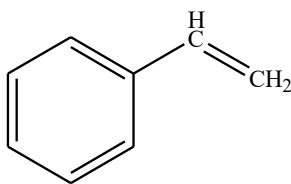


etilbenceno

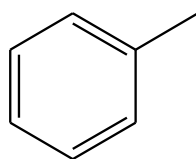
1,2-Dimetilbenceno
o-Dimetilbenceno1,3-Dimetilbenceno
m-Dimetilbenceno1,4-Dimetilbenceno
p-Dimetilbenceno



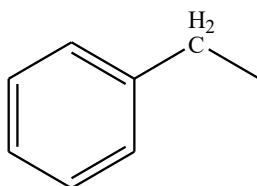
isopropilbenceno



vinilbenceno



Fenilo



Bencilo

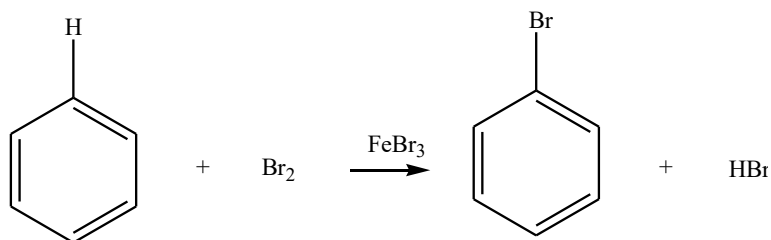
El término genérico para los bencenos sustituidos es **areno**. Un areno como sustituyente se denomina **grupo arilo (Ar)**. El sustituyente arilo principal es el **fenilo** (C_6H_5-).

El grupo $C_6H_5-CH_2-$, está relacionado con el sustituyente $CH_2=CH-CH_2-$ (2-propenilo o alilo) y se llama **fenilmetilo** o **bencilo**.

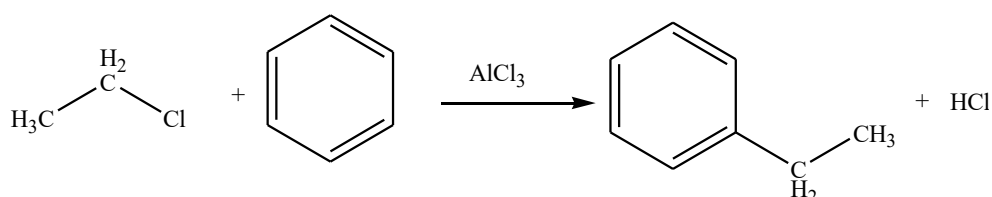
Propiedades químicas de los hidrocarburos aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos o arenos, aunque son hidrocarburos insaturados, tienen grandes diferencias con los alquenos, ya que mientras en los arenos el anillo aromático no se altera en las reacciones, en los alquenos el doble enlace se pierde. De hecho el anillo del benceno es muy poco reactivo y para romperlo se necesita un catalizador.

Reacciones de sustitución: En contraste con los alquenos, para los que la reacción de adición es la dominante, la reacción principal de los arenos es la sustitución. Por ejemplo, el bromo se añade rápidamente al doble enlace de un alqueno, sin embargo, reacciona con el benceno sólo en presencia de un catalizador ($FeBr_3$) y el producto es la sustitución del anillo y no la adición.

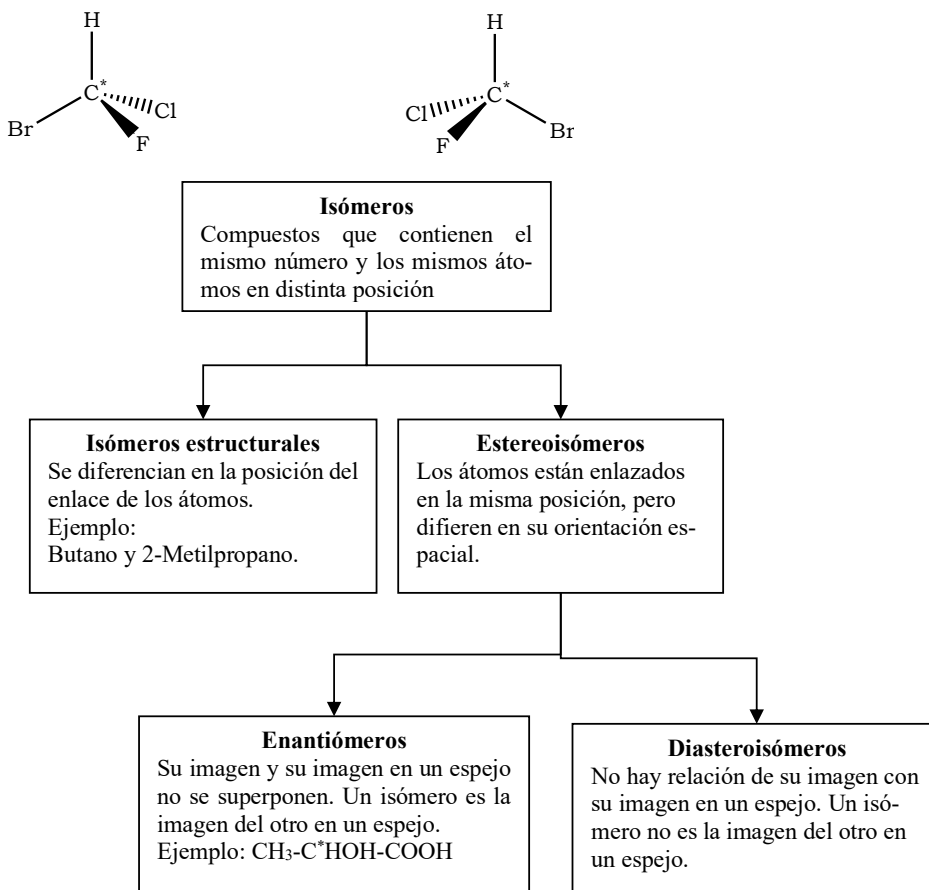


Alquilación de Friedel-Crafts: Los grupos alquilo se pueden unir al benceno para construir una red de átomos de carbono muy grande usando la alquilación de Friedel-Crafts. Esta reacción utiliza cloruro de aluminio como catalizador



8.4 Concepto general de isomería. Tipos y ejemplos

Se llaman isómeros a los compuestos químicos que teniendo la misma fórmula molecular tienen diferentes propiedades físicas, ya que contienen el mismo número y los mismos átomos pero en distinta posición.



Isómeros se les llama a los compuestos químicos que teniendo la misma fórmula molecular tienen diferentes propiedades físicas, ya que contienen el mismo número y los mismos átomos pero en distinta posición. Los isómeros pueden ser estructurales o estereoisómeros.

Son isómeros estructurales si difieren en la posición del enlace de los átomos, como el butano y el 2-metilpropano o el etanol y el metoximetano (dimetil éter). Son estereoisómeros si los átomos están enlazados en la misma posición pero difieren en la orientación en el espacio.

Los estereoisómeros pueden ser de dos tipos, enantiómeros o diastereoisómeros, dependiendo de si los dos son imágenes en un espejo, y no se superponen, o bien no hay relación de su imagen con su imagen en un espejo.

Son ejemplos de diastereoisómeros el cis-2-buteno y el trans-2-buteno o el cis-1,2-dimetilciclopropano y el trans-1,2-dimetilciclopropano. Cis quiere decir en el mismo lado y trans en el lado opuesto.

Si hay tres o más sustituyentes se utiliza un sistema alternativo adoptado por la IUPAC y conocido como el sistema E, Z. En este sistema se siguen las reglas que establecen la prioridad en los nombres R,S y se aplican separadamente a cada carbono del doble enlace.

Nomenclatura R,S: 1ª) Un átomo sustituyente de número atómico mayor precede al de número atómico menor y si son isótopos el de masa atómica mayor; por ejemplo el bromo tiene prioridad sobre el hidrógeno. 2ª) Si los dos sustituyentes tienen el mismo rango seguimos con los siguientes hasta encontrar un punto de diferencia, por ejemplo, el sustituyente etilo tiene preferencia sobre el metilo. 3ª) Los dobles y triples enlaces se consideran como sencillos pero los átomos que lo forman se consideran duplicados o triplicados en cada extremo de los respectivos átomos.

La luz se considera como ondas electromagnéticas que oscilan simultáneamente en todos los planos perpendiculares a la dirección del rayo. Cuando la luz pasa a través de un polarizador el rayo resultante oscila en un sólo plano y se dice que es luz polarizada-planar.

Cuando los dos grupos de prioridad mayor están en sitios opuestos, la molécula es de la configuración E (procede del alemán entgegen que significa opuestos), y cuando los dos sustituyentes de prioridad superior están en el mismo lado, la molécula es un isómero Z (procede del alemán zusammen que significa juntos). Por ejemplo (Z)-1-Bromo-1,2-difluoroetano.

El otro tipo de estereoisomerismo es el llamado estereoisomerismo de imagen con el espejo. Dos moléculas pueden existir siendo cada una la imagen de la otra en un espejo, pero sin que se puedan superponer ya que son distintas. Es lo mismo que ocurre con nuestras manos, nuestra mano izquierda no es superponible con nuestra mano derecha, sin embargo una mano se puede ver como la imagen en el espejo de la otra. La propiedad de la “no superposición de nuestras manos” aplicada a las moléculas es muy importante en la naturaleza, ya que muchos compuestos biológicos son de este tipo y reaccionan de forma diferente. Cada isómero del par imagen e imagen en un espejo se llama enantiómero (del griego enantios que significa opuesto).

¿Cómo puede existir una molécula como dos imágenes no superponibles en el espejo?. Consideremos el compuesto tetraédrico formado por un átomo de carbono unido a cuatro átomos distintos como el H, Br, Cl y F. La molécula HCBrcIF bromoclorofluorometano.



Las dos moléculas no se pueden superponer, por lo que no son idénticas. Su imagen y su imagen en un espejo no se superponen. Un isómero es la imagen del otro en un espejo. Una molécula que no se puede superponer a su imagen en el espejo se le llama quiral. Cada isómero del par de imágenes en el espejo se llama un enantiómero. Por el contrario, los compuestos que tienen estructuras superponibles sobre su imagen en el espejo son aquirales. Ejemplos de sustancias quirales son el ácido láctico (ácido 2-hidroxipropiónico), que se encuentra en la sangre y en el fluido muscular como un enantiómero pero en algunas frutas y plantas como una mezcla de los dos; el aminoácido alanina (ácido 2-aminopropanoico) es un aminoácido abundante que se encuentra en una forma.

Todas las quirales contienen un átomo que está unido a cuatro sustituyentes diferentes. Este átomo se llama átomo asimétrico y **las moléculas con un átomo asimétrico son siempre quirales** y si tienen más de uno no son quirales necesariamente. La palabra quiral deriva del Griego cheir y significa “mano”. Son quirales las manos, las orejas, los zapatos. El único criterio para la quiralidad es la natural no superponibilidad de un objeto con su imagen en el espejo.

¿Pero cómo se determina si una molécula es quiral o no?. Un test para determinar si una molécula es quiral es determinar la presencia de un plano de simetría. Un plano de simetría (espejo plano) es aquel que biseca la molécula de tal forma que la estructura sobre una parte del plano es el doble de la otra. Por ejemplo, el metano tiene seis planos de simetría, que pasan por el carbono y por dos hidrógenos, el clorometano tiene

tres, el diclorometano tiene dos, el bromoclorometano uno, y el bromoclorofluorometano ninguno. Por lo que **una molécula quiral no puede tener un plano de simetría**.

¿Cómo es posible distinguir un enantiómero de otro?. Esta pregunta es difícil porque muchas propiedades físicas de los enantiómeros son idénticas. Una excepción muy importante es la interacción con un tipo de luz especial. Cuando la luz polarizada pasa a través de una muestra de uno de los enantiómeros, el plano de polarización de la luz entrante es rotado en una dirección. Cuando el mismo experimento se repite con el otro enantiómero, el plano de la luz polarizada se rota exactamente igual pero en dirección opuesta. Un enantiómero que rota el plano de la luz en el sentido de la agujas del reloj visto enfrente de la fuente de luz es dextrorrotatorio (dexter o derecha) y el compuesto se designa arbitrariamente como el enantiómero +. El otro enantiómero será levorrotatorio (laevus o izquierda) y será el enantiómero -. Esta interacción con la luz se llama actividad óptica y los enantiómeros se llaman isómeros ópticos.

8.5 Alcoholes, fenoles y éteres

Son compuestos que tienen los elementos C, H y O en los que el O está unidos por enlaces sencillos a la cadena carbonada.

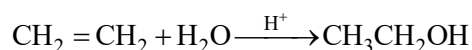
Alcohol R - O - H

Fenol Ar - O - H

Éter R - O - R' ; R - O - Ar ; Ar - O - Ar'

Alcoholes

Un alcohol es un compuesto orgánico conteniendo el grupo -OH que no está conectado directamente a un anillo aromático o aun grupo C=O. El término viene del árabe que significa polvo fino, aunque gradualmente viene a significar la esencia de algo, y en particular, el líquido obtenido por destilar el vino. La principal fuente de etanol es la fermentación de carbohidratos usando enzimas en levadura; también se obtiene de la petroquímica por la hidratación catalizada del etileno.

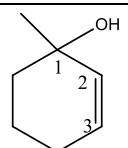


Nomenclatura de los alcoholes

Hay dos nomenclaturas la sustitutiva y la función-radical. Es decir, se pueden nombrar como alcanoles (IUPAC) o como alcoholes alquílicos. Según la IUPAC: Se toma la cadena más larga que contenga el grupo OH. Se numera la cadena comenzando por el extremo más próximo al grupo OH. Se nombran sustituyendo la terminación en -o del hidrocarburo por -ol. Los sustituyentes en la cadena principal se añaden como prefijos.

Ejemplos	N. sustitutiva	N. función radical
CH ₃ OH	metanol	alcohol metílico
CH ₃ -CH ₂ OH	etanol	alcohol etílico
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ OH	Propan-1-ol	alcohol propílico
CH ₃ -CHOH-CH ₃	Propan-2-ol	alcohol isopropílico
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ OH	Butan-1-ol	alcohol butílico
CH ₃ -CHOH-CH ₂ -CH ₃	Butan-2-ol	alcohol sec-butílico
CH ₃ -COH[CH ₃]-CH ₃	2-Metilpropan-2-ol	alcohol terc-butílico
CH ₃ -CH=CH-CH ₂ -CH ₂ OH	Pent-3-en-1-ol	

Hay casos en que, por la complicación del compuesto, el primer sistema de nomenclatura resulta más idóneo, por lo que es el único empleado.

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	Hex-3-en-1-ol
$\text{HC}\equiv\text{C-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	Hex-3-en-5-in-1-ol
$\text{CH}_3\text{-CHOH-C}\equiv\text{C-(CH}_2\text{)}_3\text{-CH}_3$	Oct-3-in-2-ol
	Ciclohex-2-en-1-ol

La IUPAC ha aceptado como válidos nombres triviales

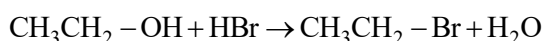
$\text{CH}_2\text{=CH-CH}_2\text{OH}$	Alcohol alílico Prop-2-en-1-ol
$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{OH}$	Alcohol bencílico
$\text{CH}_2\text{OH-CH}_2\text{OH}$	Etilenglicol Etano-1-2-diol
$\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$	Glicerol Propano-1,2,3-triol

Propiedades y reacciones de los alcoholes

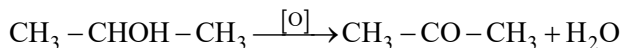
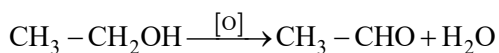
Los alcoholes con bajo peso molecular son líquidos debido al enlace de hidrógeno. Los alcoholes tienen una presión de vapor inferior a la de los hidrocarburos de los que proceden. Compara la volatilidad del etanol con la del etano. Su facilidad para formar enlaces de hidrógeno también es importante para explicar el hecho de que sean más solubles en agua que los hidrocarburos de procedencia. Así el metanol y el etanol se mezclan con el agua en todas las proporciones.

Los alcoholes son anfipróticos y son ácidos débiles de Brønsted.

Los alcoholes se usan como reactivos en reacciones de halogenación, reacciones en las que un átomo de halógeno se introduce en una molécula.



Los agentes oxidantes, incluido el oxígeno del aire, el dicromato de potasio, oxidan a los alcoholes produciendo aldehídos o cetonas.



Fenoles

Los compuestos obtenidos cuando un grupo -OH se une directamente a un anillo aromático es un fenol. Muchos fenoles. Es decir, los fenoles son arenos sustituidos por grupos hidroxilo.

La IUPAC los nombra como **bencenoles**. Ejemplos:

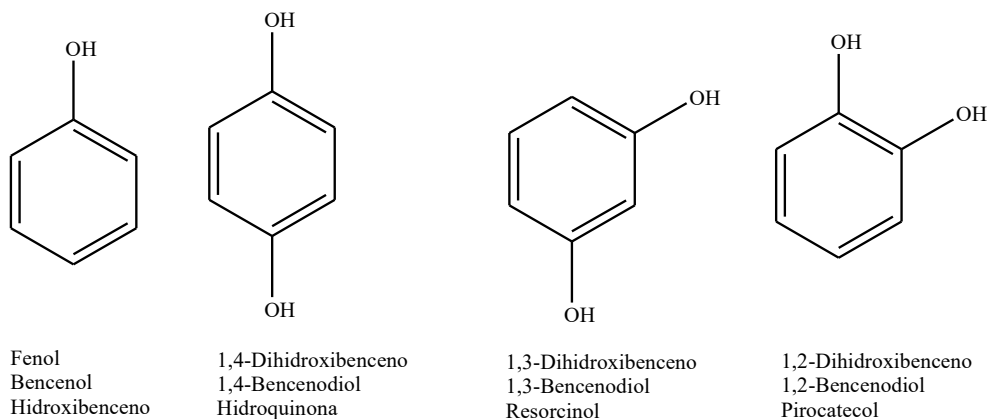
Fenol (bencenol o hidroxibenceno) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

p-Cresol (4-metilfenol)

Pirocatecol (1,2-bencenodiol ó 1,2-dihidroxibenceno)

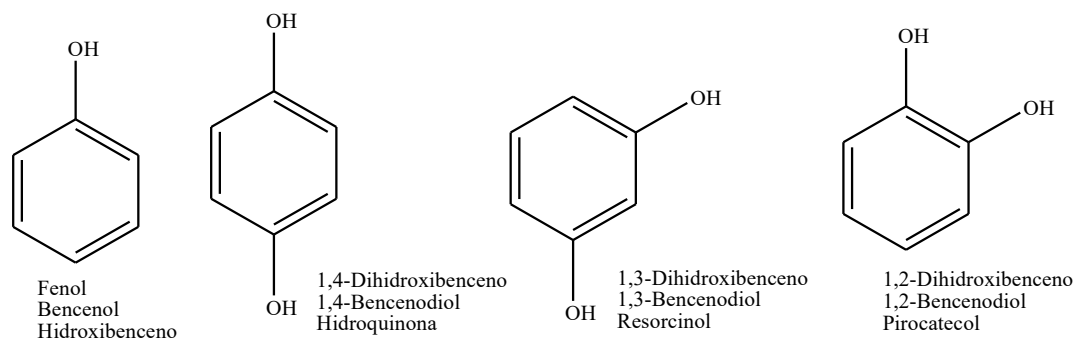
Resorcinol (1,3-bencenodiol ó 1,3-dihidroxibenceno)

Hidroquinona (1,4-bencenodiol ó 1,4-dihidroxibenceno)



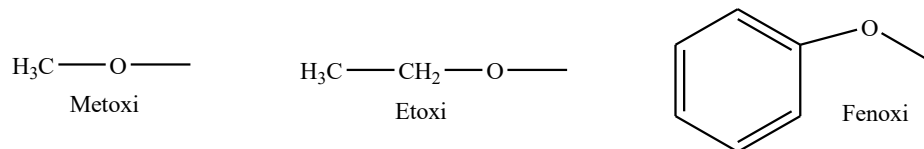
Los fenoles son arenos sustituidos por grupos hidroxilo. La IUPAC los nombra como **bencenoles**.

Ejemplos:



Alcoxi y fenoxi o radicales de alcoholes y fenoles:

Los radicales **alcoxi** (RO-) y **fenoxi** (ArO-) se nombran añadiendo la terminación -oxi al nombre del radical R ó Ar. Ejemplos de radicales:



Propiedades y reacciones de los fenoles

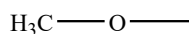
Los fenoles se encuentran en la Naturaleza y son responsables de las fragancias de las plantas. Aunque los fenoles tienen la función C-OH, la localización del C en un anillo aromático hace que sus propiedades químicas sean diferentes. Por ejemplo, los fenoles son más fuertes como ácidos que los alcoholes. El fenol se conoce como ácido carbólico.

Aunque el anillo del benceno no es reactivo, los sustituyentes como el OH, pueden hacerlo más vulnerable al ataque. La reacción entre el cloro y el fenol acuoso continua hasta que se obtiene el agente antibacteriano 2,4,6-triclorofenol.

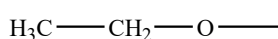
Alcoxi y fenoxi o radicales de alcoholes y fenoles

Los radicales **alcoxi** (RO-) y **fenoxi** (ArO-) se nombran añadiendo la terminación -oxi al nombre del radical R ó Ar. Ejemplos de radicales:

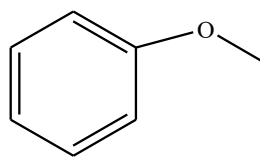
CH₃O- metoxi (en lugar de metiloxi)
 CH₃-CH₂O- etoxi
 CH₃-CH₂-CH₂O- propoxi
 C₆H₅O- fenoxi



Metoxi



Etoxi



Fenoxi

Sales de alcoholes y de fenoles

Las sales de los alcoholes o fenoles se forman por el anión alcóxido y el catión correspondiente. También se nombran añadiendo el sufijo -ato. Ejemplos:

CH₃O⁻Na⁺ metóxido de sodio o metanolato de sodio
 C₆H₅O⁻Na⁺ fenóxido de sodio o fenolato de sodio
 CH₃OH₂⁺ metiloxonio

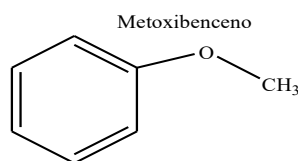
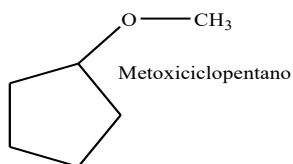
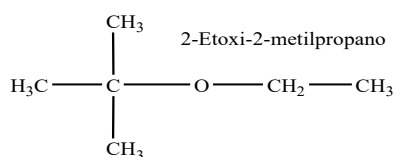
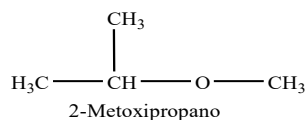
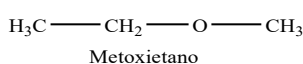
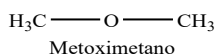
Éteres o alcoxicanos

En el sistema IUPAC **los éteres son alcoxicanos**, es decir, considera que **son alcanos que tienen un alcoxi sustituido**. El sustituyente menor se considera parte del grupo alcoxi y el mayor define la cadena principal. Los alcoxicanos se pueden considerar como derivados de los alcoholes en los que el protón del grupo hidroxilo se ha sustituido por un alquilo. Sus nombres comunes se basan en la anterior consideración: los nombres de los dos grupos alquilo van seguidos por la palabra éter.

Ejemplos de éteres Nomenclatura sustitutiva Nombre radicofuncional

CH₃-O-CH₂-CH₃ metoxietano etil metil éter

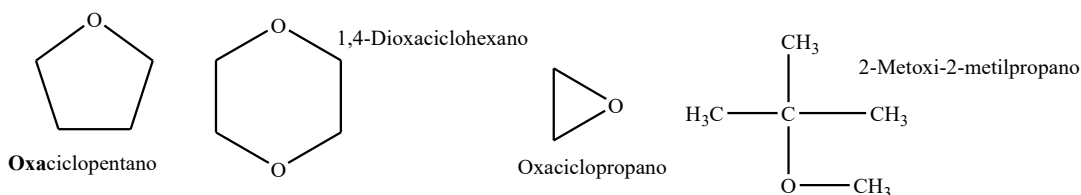
CH₂=CH-O-CH₂-CH₃ etoxietileno etil vinil éter



Los éteres cíclicos son miembros de una clase de cicloalcanos en los que uno o más átomos de C se han sustituido por heteroátomos, como el O.

El sistema más sencillo de nombrar los éteres cíclicos es **oxacicicloalcano**, en el que el prefijo **oxa** indica la sustitución de C por O en el anillo. Por ejemplo, oxaciclopentano C_4H_8O que es el tetrahidrofurano. Otro ejemplo es el 1,4-Dioxaciciclohexano $C_4H_8O_2$ que es el 1,4-dioxano. Los éteres cíclicos de tres miembros son oxaciclopropanos.

El éter 2-Metoxi-2-metilpropano, también conocido como metil tert-butil éter (MTBE) es el que sustituye al plomo para clasificar el índice de octano de la gasolina. Permite su oxigenación para que reduzca la contaminación debida al monóxido de carbono de los motores.

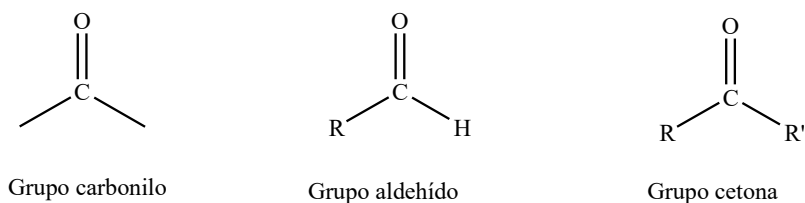


Propiedades y reacciones de los éteres

Los éteres son muy poco reactivos hacia muchos reactivos, por ello son útiles como disolventes de otros compuestos orgánicos. Los éteres son muy inflamables. Como los alcoholes pueden experimentar reacciones de sustitución catalizadas por ácidos.

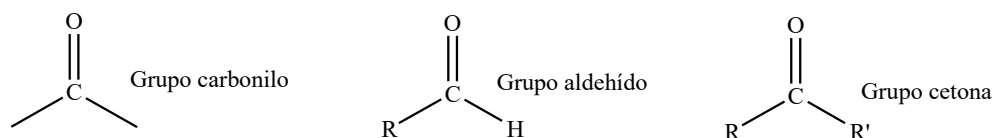
8.6 Aldehídos y cetonas

Se caracterizan por tener un doble enlace carbono-oxígeno, llamado **grupo carbonilo**, en su estructura. La diferencia entre aldehídos y cetonas reside en que en los primeros ese grupo carbonilo se encuentra siempre en el extremo de la cadena carbonada y en las cetonas no. Aldehídos $R-CHO$ y cetonas $R-CO-R'$



Aldehídos

Se caracterizan por tener un doble enlace carbono-oxígeno, llamado **grupo carbonilo**, en su estructura. La diferencia entre aldehídos y cetonas reside en que en los primeros ese grupo carbonilo se encuentra siempre en el extremo de la cadena carbonada y en las cetonas no. Aldehídos $R-CHO$ y cetonas $R-CO-R'$

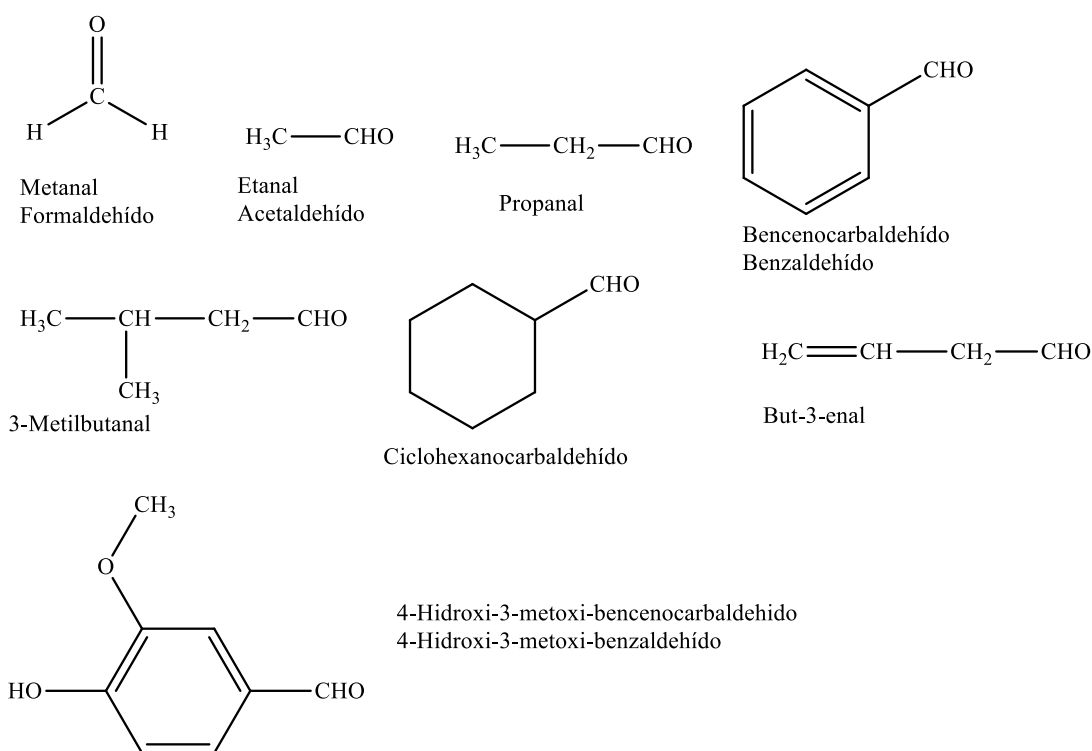


Aldehídos:

La palabra aldehído proviene de alcohol deshidrogenado y son compuestos intermedios en la oxidación de los alcoholes a ácidos. La IUPAC considera los aldehídos como derivados de los alcanos, sustituyendo la terminación -o por -al. Un alcano con el grupo carbonilo será un **alcanal**. El carbono del grupo carbonilo es siempre el número 1. Los aldehídos que no se nombren como derivados de los alcanos se llaman

carbaldehídos. Los derivados de aldehídos aromáticos se llaman bencenocarbaldehído, aunque su nombre común es benzaldehído.

Ejemplos de aldehídos	Nombre
HCHO	metanal (formaldehído)
CH ₃ -CHO	etanal (acetaldehído)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CHO	butanal (butiraldehído)
CH ₂ =CH-CHO	Prop-2-enal (acrialdehído o acroleína)
CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₂ -CHO	Pent-4-enal
C ₆ H ₁₁ CHO	ciclohexanocarbaldehído



Cetonas o alcanonas

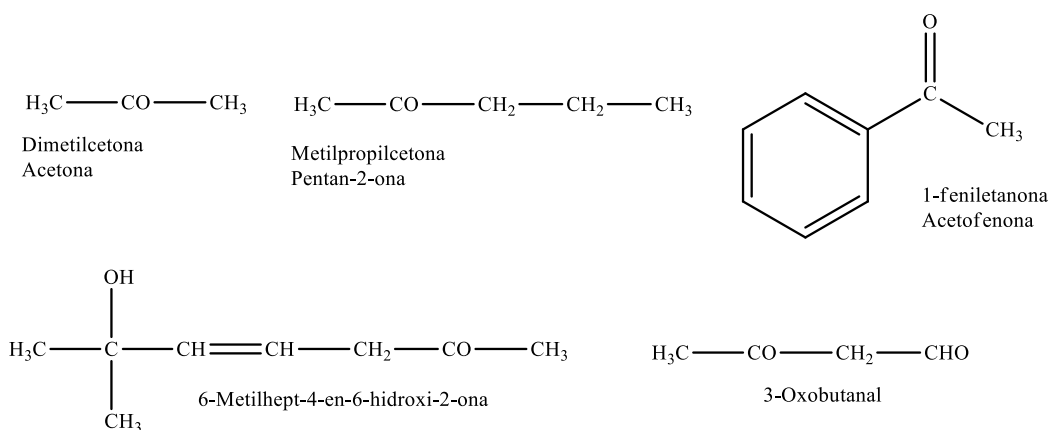
Las cetonas son llamadas **alcanonas**, se nombran sustituyendo la terminación -o del alcano por **-ona**. El C del grupo carbonilo tendrá el número más bajo posible de la cadena. Las cetonas aromáticas son nombradas como alcanonas aril-sustituidas. Las cetonas, a diferencia de los aldehídos, pueden ser parte de un anillo, llamadas cicloalkanonas.

Ejemplos de cetonas	Nombre	
CH ₃ -CO-CH ₃	propanona	dimetil cetona (acetona)
CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	Butanona (Butan-2-ona)	etil metil cetona
CH ₂ =CH-CO-CH ₃	But-3-en-2-ona	metil vinil cetona
	2,2-dimetilciclopentanona	
C ₆ H ₅ -CO-CH ₃	1-feniletanona (acetofenona)	fenil metil cetona
CH ₃ -CO-CH ₂ -CO-CH ₂ -CH ₃	Hexano-2,4-diona	

CHO-CH ₂ -CH ₂ -CO-CH ₂ -CH ₃	4-oxohexanal	
---------------------------------------------------------------------------	--------------	--

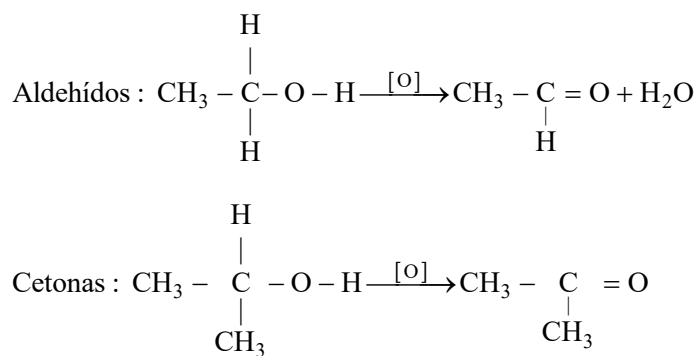
Radicales de aldehídos y cetonas:

Los radicales **R-CO-** se denominan como **Alcanoilo** o **Acilo**. Por ejemplo, con un átomo de C será HCO- metanoilo ó formilo; con dos átomos de C será CH₃-CO- etanoilo o acetilo. El término **oxo** denota la localización de un **grupo carbonilo de una cetona** cuando está presente junto con una función aldehído: CH₃-CO-CH₂-CHO (3-oxobutanal)



Preparación y propiedades de los aldehídos y cetonas

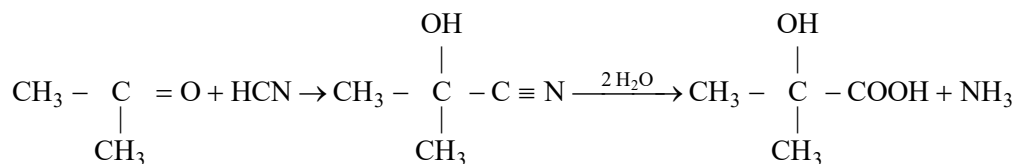
Los aldehídos y las cetonas se diferencian de los alcoholes porque tienen dos H menos, y ambos pueden prepararse por oxidación del correspondiente alcohol. Los aldehídos oxidando el correspondiente alcohol primario y las cetonas oxidando el correspondiente alcohol secundario.



Hay menor riesgo en la oxidación de las cetonas que en los aldehídos, porque en las primeras habría que romper un enlace C-C. Así, la oxidación con dicromato de sodio de un alcohol secundario produce la cetona con un rendimiento muy bueno.

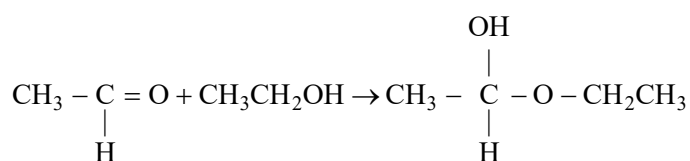
Un signo de la diferencia entre la facilidad de oxidación de aldehídos que de cetonas es la facilidad que tienen los aldehídos para reducir la solución de Fehling, una solución básica de Cu²⁺ e iones tartrato, siendo el producto de la reacción el precipitado rojo de Cu₂O. Las cetonas no reaccionan con la solución de Fehling. Las cetonas tampoco reaccionan con el reactivo de Tollens, que es una disolución de iones Ag⁺ en amoníaco acuoso, que se reduce a Ag.

El grupo carbonilo reacciona con el cianuro de hidrógeno para dar cianidrina, un compuesto que contiene los dos grupos -OH y -C≡N



La reacción tiene lugar con todos los aldehídos, pero sólo unas pocas cetonas (acetona). De esta reacción resulta un nuevo enlace C-C, que es muy útil para construir nuevas moléculas que contengan más átomos de carbono. Posteriormente las cianidrinas son hidrolizadas a ácidos carboxílicos.

Los aldehídos se combinan con los alcoholes, en presencia de HCl seco, para formar hemiacetales. Los hemiacetales son compuestos que tienen dos grupos, uno de éter -O- y otro de -OH. Si el hemiacetal reacciona con más alcohol forma el acetal que tiene dos enlaces tipo éter -O-C-O-.

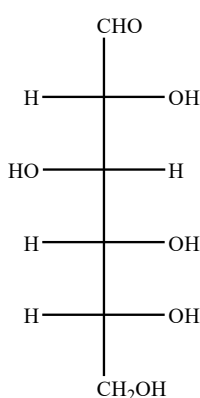


Si el aldehído original contiene un grupo hidroxilo, entonces la formación del hemiacetal puede ocurrir intramolecularmente, es decir, dentro de la propia molécula. El compuesto resultante es un hemiacetal cíclico que se estabiliza por la formación del anillo. Esta reacción es muy importante para conocer la estructura de la celulosa que es un polisacárido que se construye desde unidades de glucosa.

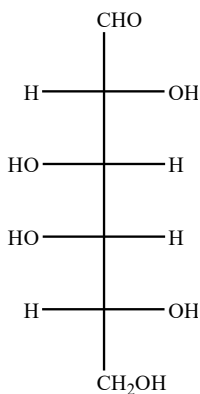
Carbohidratos

Los glúcidos o hidratos de carbono se definen químicamente como polihidroxi aldehídos o polihidroxicetonas, ya que son polialcoholes (OH) con un grupo carbonilo aldehído (CHO) o cetónico (CO). Muchos glúcidos poseen la fórmula empírica $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ ó $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$, que daba a entender que son hidratos de carbono. Sistemáticamente se clasifican en: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

Monosacáridos: La fórmula empírica es $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$, y el esqueleto carbonado de los monosacáridos más corrientes no está ramificado, y todos los átomos de C, excepto el del grupo carbonilo (CHO), poseen un grupo hidroxilo (OH).



D-glucosa

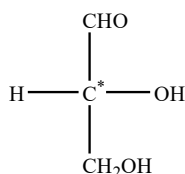


D-galactosa

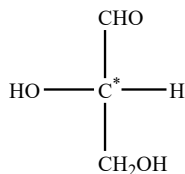
Si el grupo carbonilo se encuentra al final de la cadena (-CHO), el monosacárido recibe el nombre de aldosa; si se encuentra en cualquier otra posición, recibe el nombre de cetosa (CO).

Los monosacáridos de tres átomos de carbono reciben el nombre de triosas, los de cuatro átomos de carbono tetrasas, los de cinco pentosas, los de seis hexosas, y los de siete heptosas.

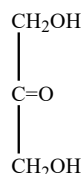
Todos los monosacáridos, a excepción de la dihidroxiacetona, poseen uno o más átomos de carbono asimétricos (C^*), es decir, átomos de carbono que tienen cada enlace unido a un grupo atómico distinto, como por ejemplo $-H$, $-CH_2OH$, $-OH$, $-CHO$. De esta característica derivan dos propiedades: la **estereoisomería** o isomería espacial y la **isomería óptica (enantiómeros)**.



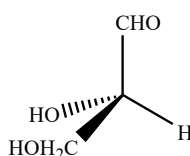
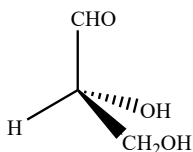
D-gliceraldehído



L-gliceraldehído



Dihidroxiacetona



El monosacárido gliceraldehído posee un átomo de C^* asimétrico, por lo que existen dos compuestos distintos, que son los estereoisómeros denominados D y L. Son distintos ya que uno es la imagen del otro en un espejo –como nuestras manos– y no se pueden superponer. En el isómero D el grupo $-OH$ está a la derecha y en el isómero L está a la izquierda.

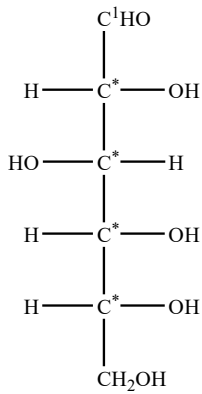
Los prefijos D y L, para aquellos azúcares que contienen dos o más átomos de C asimétrico, se refieren al átomo de C^* asimétrico más alejado del átomo de carbono que lleva el grupo carbonilo (aldehído o cetónico).

En disolución muchos hidratos de carbono (pentosas y hexosas), se comportan como si tuvieran un átomo de carbono asimétrico más que los que les corresponden por sus estructuras lineales, debido a que presentan estructuras cíclicas.

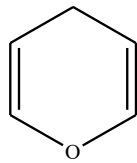
Por ejemplo, la D-glucosa puede existir en dos formas isómeras (α -D-glucosa y β -D-glucosa) que difieren en propiedades físicas y químicas. Los isómeros α y β de la D-glucosa poseen estructuras constituidas por anillos de seis eslabones y de cinco eslabones. Los de seis eslabones se llaman piranosas por ser semejantes al compuesto éter pirano, y se nombran específicamente como glucopiranosas. Los de cinco eslabones se llaman furanosas por ser semejantes al furano.

Los anillos de piranosa se forman al reaccionar el grupo carbonilo aldehídico $-CHO$ (C^1), con el grupo hidroxilo $-OH$ del carbono cinco C^5 , transformándose el carbono carbonílico C^1 en un carbono asimétrico C^* . Por lo que la D-glucopiranososa puede existir en dos formas isómeras llamadas α -D-glucopiranososa y β -D-glucopiranososa.

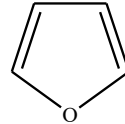
El isómero α -D-glucopiranososa se distingue del isómero β -D-glucopiranososa en la posición del grupo OH del nuevo átomo de carbono asimétrico C^{1*} . En el isómero α el grupo OH está hacia abajo y en el β hacia arriba.



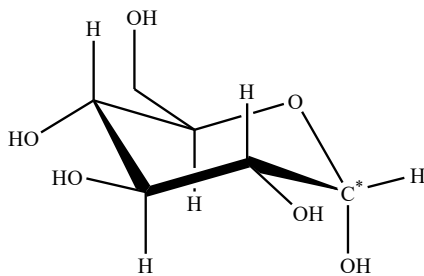
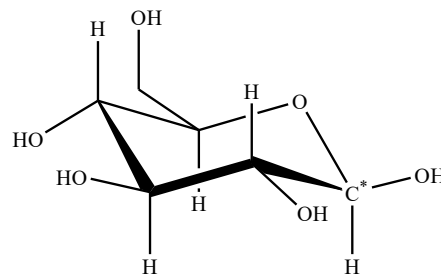
D-glucosa



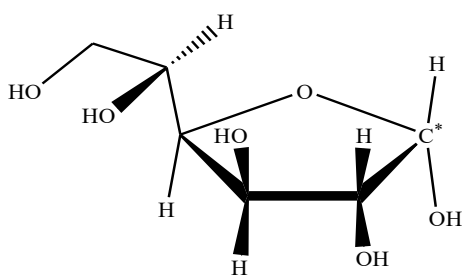
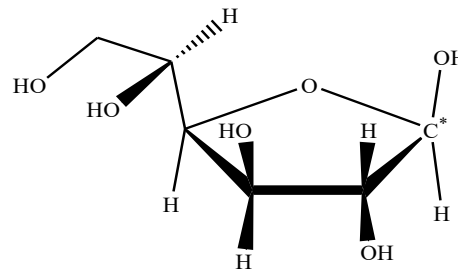
Pirano



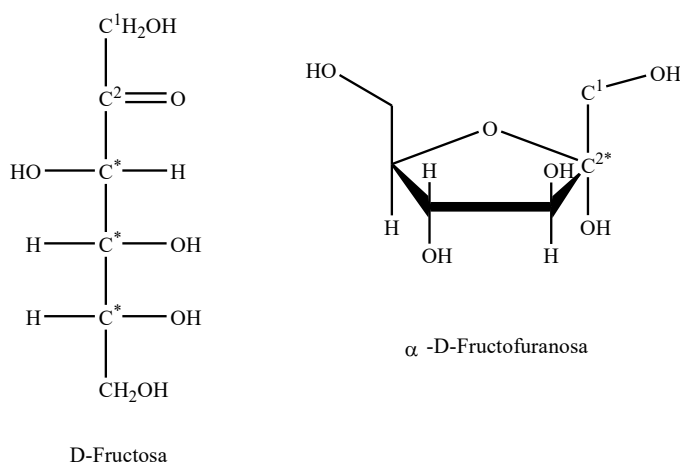
Furano

 α -D-glucopiranososa β -D-glucopiranososa

Los anillos de furanosa se forman al reaccionar el grupo carbonilo aldehídico $-\text{CHO}$ (C^1), con el grupo hidroxilo $-\text{OH}$ del carbono cuatro C^4 , transformándose el carbono carbonílico C^1 en un carbono asimétrico C^* . Por lo que la D-glucofuranosa puede existir en dos formas isómeras llamadas α -D-glucofuranosa y β -D-glucofuranosa. En el isómero α el grupo OH está hacia abajo y en el β hacia arriba.

 α -D-glucofuranosa β -D-glucofuranosa

En el caso de las cetosas (D-Fructosa) las estructuras cíclicas se forman al reaccionar el carbono del grupo carbonilo cetónico C^2 con el grupo hidroxilo OH del carbono cinco, originándose anillos de cinco eslabones (furanosa)

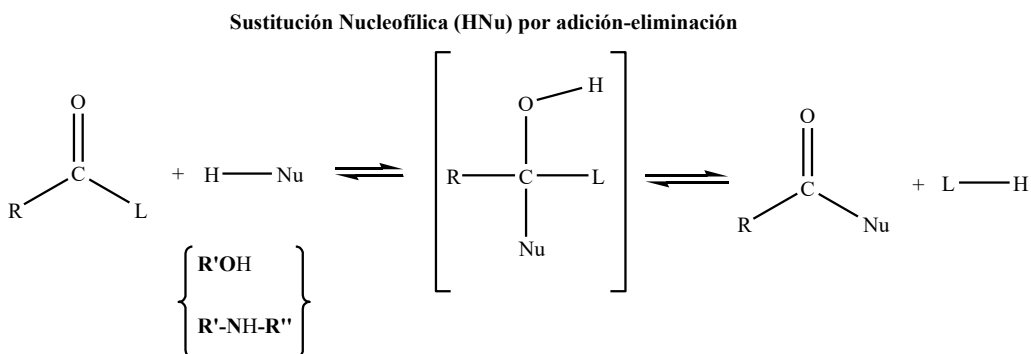


Biológicamente los monosacáridos son importantes porque tienen función energética y estructural.

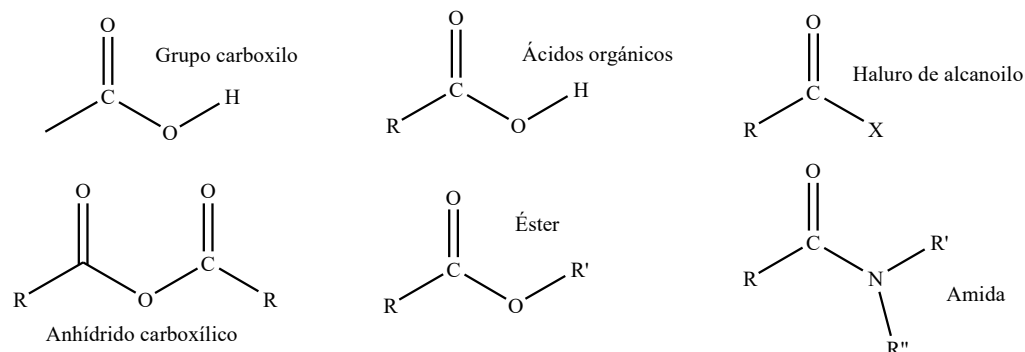
Formas piranosa y furanosa: La glucosa es un aldehído y un alcohol y tiene una longitud y flexibilidad razonable para formar un hemiacetal cíclico. El anillo de seis miembros se llama forma **piranosa** de glucosa porque recuerda el ciclo del éter pirano, y se nombra específicamente como glucopiranosa. La fructosa también se encuentra en disolución como un hemiacetal, principalmente como una piranosa con un anillo de seis miembros, pero en un 30% como anillo de cinco miembros. Esta última se llama forma **furanosa**, específicamente una fructofuranosa, porque recuerda el furano, un anillo de cinco miembros.

8.7 Ácidos carboxílicos y derivados

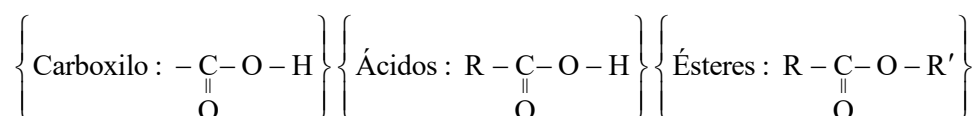
El grupo carboxilo es el grupo funcional de los ácidos carboxílicos R-COOH. Los ácidos carboxílicos experimentan una reactividad especial en el grupo carbonilo. Así, en el grupo carbonilo el átomo de C tiene un estado de oxidación +III, por lo que puede sufrir ataques de reactivos nucleofílicos, y el correspondiente O es el blanco del ataque electrófilo.



Si el que reacciona con el grupo carboxilo es un alcohol se produce un éster, y si es una amina se produce una amida.



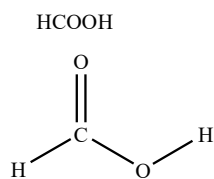
El grupo carboxilo es el grupo de los ácidos carboxílicos $\text{R}-\text{COOH}$ y sus derivados como los ésteres $\text{R}-\text{COOR}'$



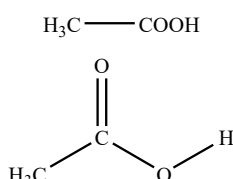
8.7.1 Nomenclatura de los ácidos carboxílicos

La IUPAC obtiene los nombres de los ácidos carboxílicos sustituyendo la terminación **-o** del alcano por la terminación **-ico** precedida de la palabra **ácido**. El **ácido alcanoico** se numera asignando el número 1 al C del grupo carboxilo.

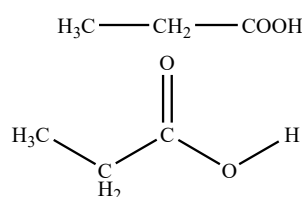
Ejemplos	Nombre sistemático	Nombre trivial
HCOOH	ácido metanoico	ácido fórmico
CH_3-COOH	ácido etanoico	ácido acético
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{COOH}$	ácido propanoico	ácido propiónico
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	ácido butanoico	ácido butírico
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$	ácido 2-propenoico	ácido acrílico
$\text{COOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	ácido pentano-1,3,5-tricarboxílico (no ácido 4-carboxiheptanodioico)	
$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Ácido 3-oxobutanoico	
$\text{CHO}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Ácido 3,5-dioxopentanoico	
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{COOH}$	Ácido bencenocarboxílico Ácido benzoico	



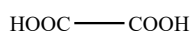
Ácido metanoico
Ácido fórmico



Ácido etanoico
Ácido acético



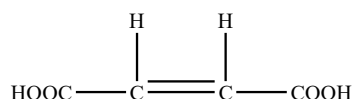
Ácido propanoico
Ácido propiónico



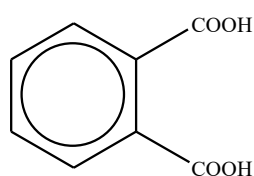
Ácido etanodioico
Ácido oxálico



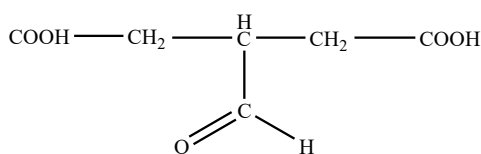
Ácido propanodioico
Ácido malónico



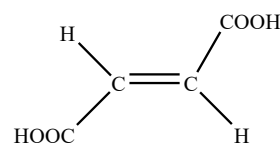
Ácido cis-2-butenodioico ó maleico
Ácido trans-2-butenodioico o fumárico



Ácido o-bencendicarboxílico



Ácido 3-formilpentanodioico
Ácido 3-metanoilpentanodioico

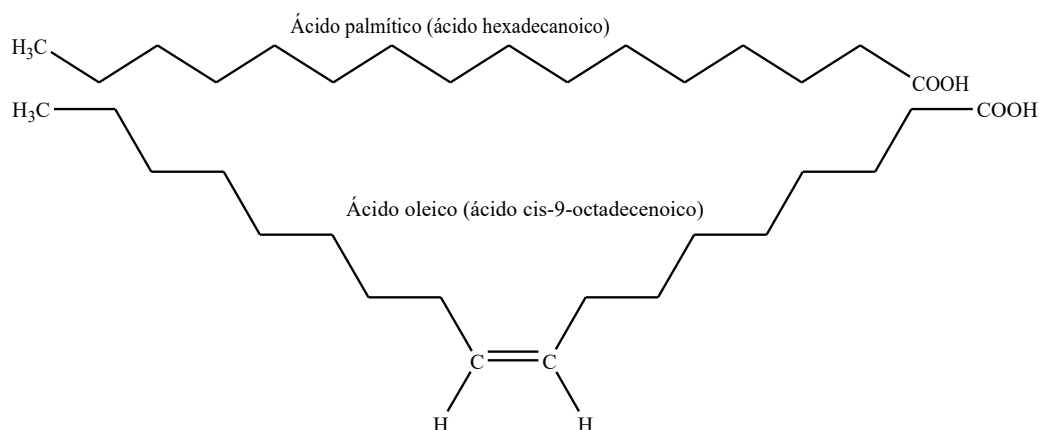


Ácido trans-2-butenodioico

Ácidos grasos:

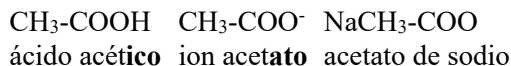
Los ácidos grasos en los seres vivos son ácidos carboxílicos de cadena lineal (no ramificados), saturados (C-C) o insaturados (C=C), con un número par de átomos de carbono que oscila entre 12 y 24. Todos los ácidos grasos aislados poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo (-COOH) terminal. Ejemplo general de saturado: $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$. Ejemplo general de insaturado: $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$.

Son ácidos grasos *saturados* el ácido palmítico (16 átomos de C), el esteárico (18 átomos de C). Son ácidos grasos *insaturados* el ácido oleico y linoleico, los dos con 18 átomos de C.



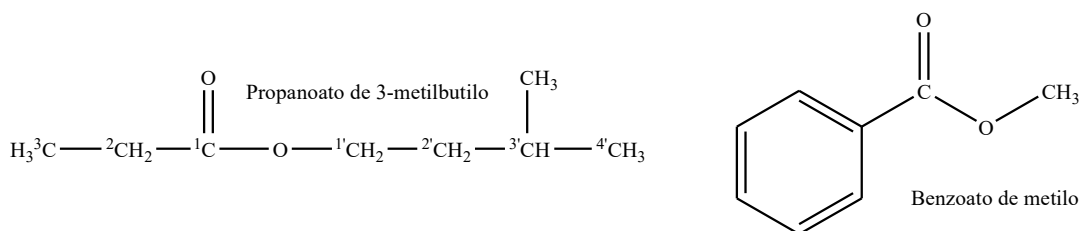
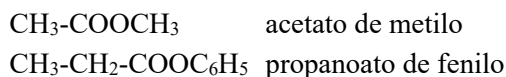
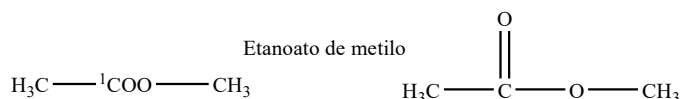
Los puntos de fusión dependen del empaquetamiento de las moléculas, que a su vez depende de la forma molecular. Los ácidos grasos insaturados poseen la configuración cis, que impone una forma de U en la molécula, por lo que disminuye el empaquetamiento y, por tanto, los puntos de fusión son inferiores que los de los ácidos grasos saturados, que poseen una estructura más compacta. Una estructura más compacta supone que las moléculas están más próximas.

Sales de los ácidos carboxílicos: Las sales de los ácidos carboxílicos se forman reemplazando el hidrógeno del grupo carboxilo por un metal. Los iones de los ácidos carboxílicos se nombran reemplazando la terminación **-ico** del ácido por la terminación **-ato** y quitando la palabra ácido inicial.

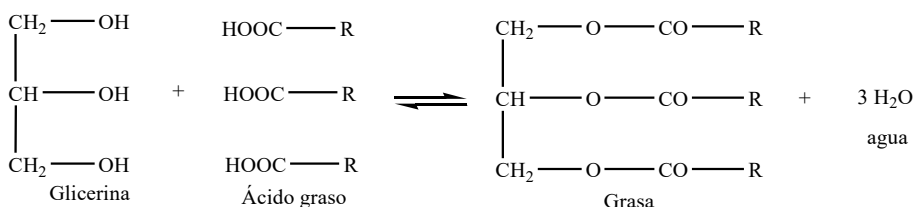


Ésteres o alcanosatos de alquilo

Los ésteres tienen de grupo funcional $\text{RCOO-R}'$ y son **alcanosatos de alquilo**.



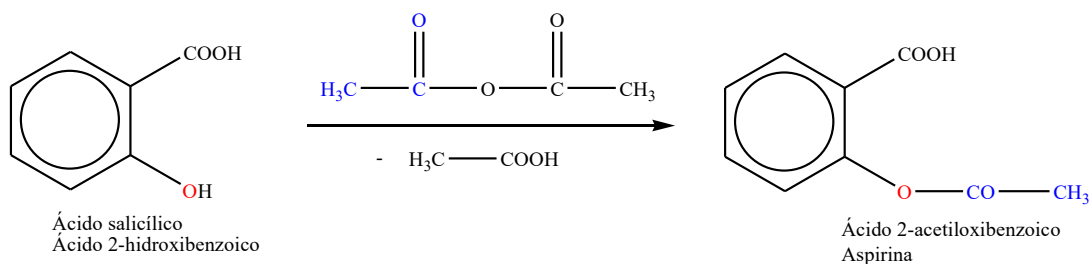
Grasas: Son ésteres de los ácidos grasos con la glicerina (glicerol). Se forman cuando reaccionan tres moles de ácidos grasos con un mol de glicerina, esta reacción se llama esterificación.



Las grasas, experimentan hidrólisis cuando se hierven con ácidos o con bases (álcalis), o bien por la acción de las lipasas en el jugo pancreático. La hidrólisis alcalina llamada saponificación da lugar a una mezcla de glicerina y jabones.

La función biológica principal de las grasas es almacenar energía.

Radicales de los ésteres: Pueden ser de dos tipos **Alcoxicarbonilo** ($-\text{COOR}$) o **Aciloxi** ($\text{RCOO}-$). Por ejemplo: $-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_3$ metoxicarbonilo; $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{O}-$ acetiloxi ó etanoiloxi.



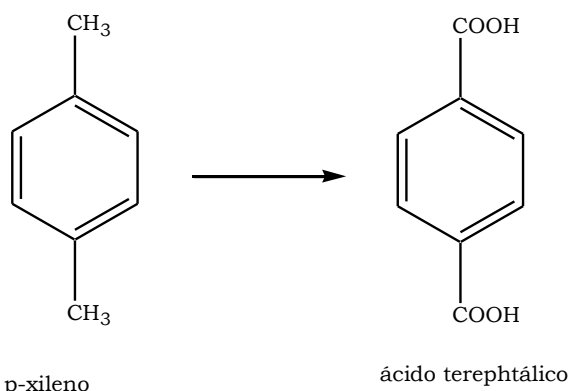
Radicales de los ésteres

Pueden ser de dos tipos **Alcoxicarbonilo** (-COOR) o **Aciloxi** (RCOO-).

Por ejemplo: -CO-O-CH₃ metoxicarbonilo; CH₃-CO-O- acetiloxi ó etanoiloxi.

Preparación y propiedades de los ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos se preparan por oxidación de los alcoholes primarios y los aldehídos. Se usa una disolución acuosa ácida de permanganato de potasio o aire con un apropiado catalizador. En algunos casos los grupos alquilo se pueden oxidar directamente a grupos carboxilo.

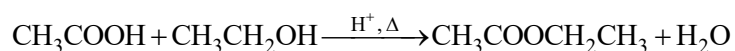


En el grupo carboxilo, el enlace del grupo hidroxilo O-H está debilitado por la electronegatividad del oxígeno del carbonilo, que retira electrones parcialmente del grupo vecino hidroxilo O-H. Por lo que los ácidos carboxílicos son ácidos débiles de Brönsted.

Los ácidos carboxílicos, con cadenas de hidrocarburos largas, se encuentran en los aceites y en las grasas.

Preparación y propiedades de los ésteres

El producto de la reacción entre un ácido carboxílico y un alcohol se llama un éster. El ácido acético y el etanol reaccionan, a unos 100°C y cuando la mezcla se acidifica con un ácido fuerte que actúa como catalizador



Muchos ésteres tienen olores de fragancias y contribuyen al olor de las frutas. En la Naturaleza se encuentran algunos ésteres de ácidos grasos y aceites. Estos pertenecen a una clase de sustancias llamadas lípidos, que se caracterizan porque se disuelven en compuestos no polares pero en el agua.

La formación de un éster es un ejemplo de reacción de condensación, en la que dos moléculas se combinan para formar una mayor y una pequeña molécula se elimina.

Los polímeros formados por la reacción entre ácidos carboxílicos y alcoholes se llaman poliésteres y son muy usados para fabricar fibras artificiales.

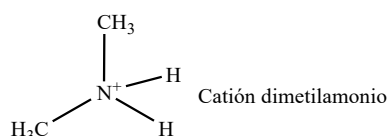
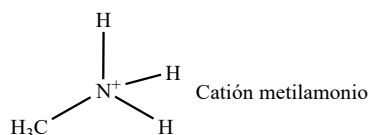
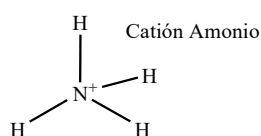
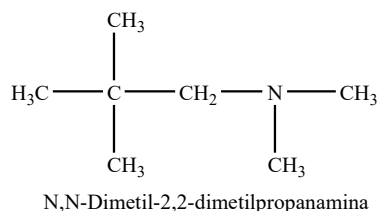
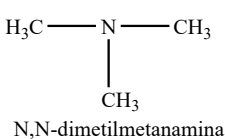
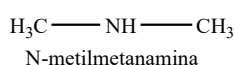
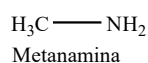
8.8 Grupos funcionales conteniendo nitrógeno

Compuestos que contienen C, H y N, algunos también O.

Aminas y sales de amonio:

Las aminas y sus correspondientes sales derivan del amoníaco NH_3 al sustituir un H (amina primaria), dos hidrógenos (secundaria), o los tres hidrógenos (terciaria), por grupos alquil o aril. Se nombran sustituyendo la **-o** del alcano por **-amina**. La posición del grupo funcional se indica por un prefijo designando el átomo de C al que está unido.

Ejemplos	Nombres
NH_3	Amoníaco
CH_3NH_2	Metanamina Metilamina
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	N-metilmetanamina Dimetilamina
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	Bencenamina Fenilamina o anilina
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_3$	N-metilpropanamina N-metilpropilamina
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-N(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CH}_3$	N-etil-N-metilpropanamina N-etil-N-metilpropilamina
$\text{CH}_2\text{=CH-N(CH}_3\text{)}_2$	N,N-dimetilvinilamina
NH_4Cl	Cloruro de amonio
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl}$	Cloruro de metilamonio
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2\text{Cl}$	Cloruro de dimetilamonio

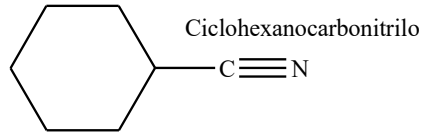
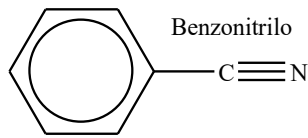
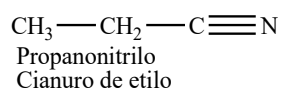
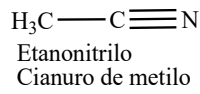
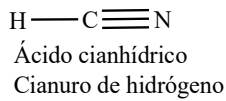


Nitrilos o cianuros:

Los nitrilos $\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$ se consideran derivados de los ácidos carboxílicos porque el carbono está en el mismo estado de oxidación (III) que el carbono carboxílico y porque los nitrilos se convierten en otros derivados de los ácidos. La nomenclatura de la IUPAC nombra a los nitrilos desde los alcanos y serán **alcanonitrilos**.

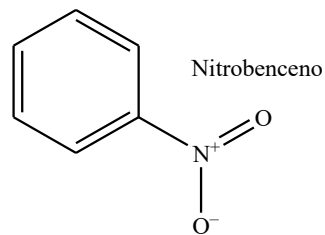
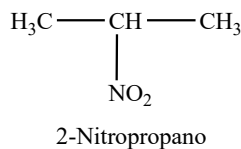
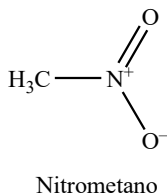
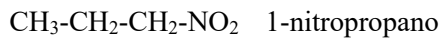
En los nombres comunes se sustituye la terminación **-ico** del ácido carboxílico por **-nitrilo**. El **sustituyente CN** se llama **ciano**. Los cianocicloalcanos se llaman cicloalcanocarbonitrilos.

$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	Etanonitrilo ó acetónitrilo	cianuro de metilo
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$	Propanonitrilo	cianuro de etilo
$\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$	3-metilbutanonitrilo	cianuro de isobutilo
$\text{C}_6\text{H}_5\text{-C}\equiv\text{N}$	benzonitrilo	cianuro de fenilo
$\text{N}\equiv\text{C-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$	Butanodinitrilo	



Nitroderivados

Los compuestos que contienen el grupo $-\text{NO}_2$ se designan mediante el prefijo nitro-

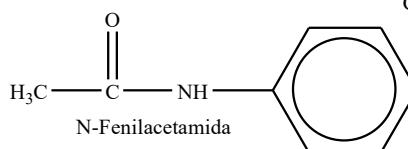
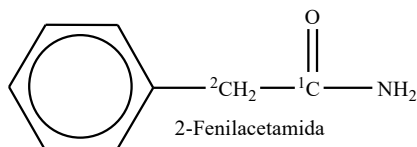
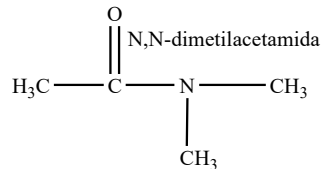
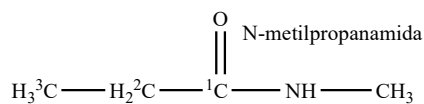
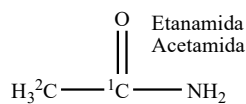


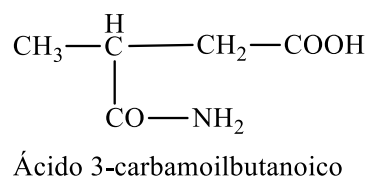
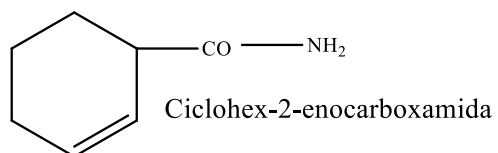
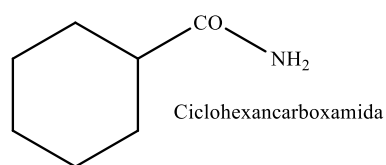
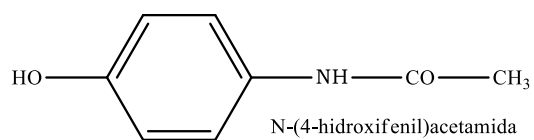
Amidas

Cuando una amina reacciona con un ácido carboxílico el producto es una amida carboxílica: RCONR'_2 . Las amidas se nombran como **alcanamidas**, la terminación -o del alcano se sustituye por -amida. En los nombres comunes, la terminación -ico del ácido se sustituye por el sufijo -amida.

En los sistemas cíclicos, la terminación del ácido -carboxílico se sustituye por **-carboxamida**. Cuando exista **otro grupo funcional de mayor prioridad** se nombra con el prefijo **carbamoil**.

Los sustituyentes del nitrógeno se indican con el prefijo N- o N,N-. Ejemplos:



**Prioridad en la nomenclatura de los grupos:**

Ácido carboxílico>Anhídrido>Éster>Amida>Nitrilo>Aldehído>Cetona>Alcohol>Amina

8.9 Cuestiones y problemas propuestos de «Química del carbono»

- 1) Dibuja un esquema de la hibridación y enlace del catión metilo CH_3^+ y del anión metilo CH_3^- . [el catión no cumple la regla del octeto y el C tiene hibridación sp^2 y el anión sp^3]
- 2) Escribe y nombra todos los isómeros de C_4H_{10} ; C_5H_{12} ; $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$; $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.
- 3) ¿Son isómeros el ciclopropilciclopentano y el ciclobutilciclobutano?. [Tienen la misma fórmula molecular C_8H_{14} por lo que son isómeros]
- 4) Explica la hibridación de los orbitales usados por el átomo de carbono 2 y la geometría a su alrededor en los siguientes compuestos: pentano, 2-penteno y 2-pentino. [sp^3 , sp^2 y sp]
- 5) Escribe las fórmulas estructurales de los siguientes compuestos: cis-2-buteno; trans-2-buteno; cis-1,2-dicloroetano; trans-2-penteno.
- 6) Escribe las fórmulas estructurales y nombra tres alkenos isómeros que tienen la fórmula C_4H_8 . [1-buteno; cis-2-buteno y trans-2-buteno]
- 7) Dibuja los isómeros del diclorobenceno y del triclorobenceno e indica cuáles son polares.
- 8) Representa los dos enantiómeros del 2-metoxibutano (1-metilpropil metil éter) sabiendo que el átomo asimétrico es el C número 2 del butano.
- 9) En la naturaleza existen muchos compuestos orgánicos formando sólo un enantiómero, y algunos formando los dos. Por ejemplo, la alanina natural (ácido 2-aminopropanoico) es un aminoácido que se encuentra en una forma y el ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanoico) se encuentra en la sangre y en los músculos como un sólo enantiómero, pero en la leche cortada y en algunas frutas y plantas como una mezcla de los dos. Dibuja las representaciones de los dos enantiómeros de cada molécula.
- 10) Escribe la fórmula estructural de moléculas de fórmula C_4H_{10} que reaccionan con el cloro, en presencia de luz, para dos isómeros de fórmula $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$. [2-metilpropno]
- 11) Un alkeno C_6H_{14} reacciona con el cloro, en presencia de luz, para dar dos isómeros de fórmula $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Cl}$. Cuando uno de estos isómeros se trata con hidróxido de potasio en un disolvente orgánico, produce un alkeno, C_6H_{12} , pero el otro isómero produce dos alkenos isómeros. Determina las fórmulas para todos los compuestos. [2,3-dimetilbutano da 1-cloro-2,3-dimetilbutano (y luego 2,3-dimetil-1-buteno) y 2-cloro-2,3-dimetilbutano (y luego 2,3-dimetil-2-buteno y 2,3-dimetil-1-buteno)]
- 12) Un hidrocarburo contiene 88% de masa de C y un 12% de masa de H y su masa molar es de 82 g/mol. Decolora el agua de bromo y 1,5 g del hidrocarburo reacciona con 400 mL (C.N.) de hidrógeno en presencia de un catalizador de Ni. Identifica el hidrocarburo y escribe la fórmula estructural. [hexadieno]
- 13) Predice los productos de las siguientes reacciones y clasifica cada reacción como una adición o sustitución: a) hidróxido de sodio se calienta con 2-bromopropano; b) se mezcla bromo con etileno. [propeno y eliminación; 1,2-dibromoetano y adición]
- 14) Escribe las ecuaciones de las reacciones que ocurren cuando el cloro se mezcla: a) con etano y se expone a la luz del sol; b) con etileno; c) con etino. Clasifica cada una de las reacciones. [1,2-dicloroetano y sustitución; 1,2-dicloroetano y adición; 1,1,2,2-tetracloroetano y adición]

- 15) Sugiere una serie de reacciones que convertirán el ciclopentano en ciclopenteno. [formar cloro-ciclopentano (cloro y luz) y luego ciclopenteno (potasa en disolvente orgánico)]
- 16) Sugiere un método de preparar ciclohexeno a partir de benceno. [obtener clorobenceno (cloro y FeCl_3), luego clorociclohexano (hidrogenando con Ni) y ciclohexeno (potasa)]
- 17) Escribe las reacciones ajustadas del benceno: a) con cloro en presencia de cloruro de aluminio; b) con cloroetano en presencia de cloruro de aluminio; c) para obtener 1-fenilbutano; d) con 2-clorobutano en presencia de cloruro de aluminio. [a) se obtiene clorobenceno; b) se obtiene etilbenceno; c) reacciona con 1-clorobutano; d) se obtiene 2-fenilbutano]
- 18) Qué test podemos usar para distinguir entre butano, 1-buteno y 1-butino. [Una solución de bromo que es marrón-anaranjada. Por cada mol de 1-butino reaccionan dos moles de bromo, por cada mol de 1-buteno reacciona un mol de bromo y el butano no reacciona]
- 19) Determina si el ciclopentano y el penteno son isómeros. Analiza la reactividad de cada uno. [Son isómeros. La principal reacción del ciclopentano es la sustitución y la del penteno la adición]
- 20) Escribe la reacción del 2-metil-2-cloropentano con el hidróxido de potasio en caliente. [se obtiene 2-metil-2-penteno]
- 21) Sugiere un método para convertir el 2-clorobutano en 2-bromobutano. [con potasa se obtiene 2-buteno y a este se le adiciona bromuro de hidrógeno]
- 22) Cuando el bromuro de hidrógeno reacciona con 2-penteno se obtienen dos isómeros. Escribe las reacciones y las fórmulas estructurales. [2-bromopentano y 3-bromopentano]
- 23) Escribe las fórmulas de los siguientes compuestos e identifica si cada uno es un alcohol primario, secundario o terciario o un fenol: a) ácido p-hidroxibenzoico; b) 2-butanol; c) 1-butanol; d) 2-metil-2-propanol; e) 1-propanol; f) o-hidroxitolueno.
- 24) Nombra y escribe la fórmula de los productos de la reacción que tiene lugar cuando: a) el etanol es calentado con ácido sulfúrico concentrado; b) el etanol es calentado con ácido clorhídrico; c) el alcohol ter-butílico (2-metil-2-propanol) se calienta con ácido bromhídrico; d) el dicromato de sodio actúa sobre el 1-propanol. [a) eteno y agua; b) cloroetano y agua; c) 2-bromo-2-metilpropano y agua; d) propanal]
- 25) Escribe las fórmulas químicas o los nombres de: metanal, propanona, 2-heptanona, 3,5-dihidroxi-4-octanona, CH_3COCH_3 , $(\text{CH}_3\text{CH}_2)\text{CO}$, HCHO.
- 26) Sugiere un alcohol que se pueda usar para la preparación de cada uno de los siguientes compuestos e indica cómo se podrá realizar la reacción: a) etanal; b) 2-octanona; c) 5-metiloctanal. [a) etanol; b) 2-octanol; c) 5-metil-1-octanol. Se realizan con un agente oxidante como dicromato de potasio acidificado]
- 27) Sugiere un método para preparar ácido etanoico y ácido 2-metilbutanoico desde un alcohol. [oxidación catalítica con Co(III) de etanol y de 2-metil-1-butanol]
- 28) Considera los siguientes datos: CH_3COOH ($\text{pK}_a=4,74$); CH_2ClCOOH ($\text{pK}_a=2,85$); CHCl_2COOH ($\text{pK}_a=1,29$); CCl_3COOH ($\text{pK}_a=0,52$). Sugiere una explicación para la tendencia en las constantes de ionización de los ácidos. [El Cl es más electronegativo que el H. El Cl atraerá el par de electrones del enlace O-H, así debilitando el enlace el ion H^+ se separa fácilmente. Mientras más átomos de Cl ocurrirá con más facilidad].

- 29) Escribe la fórmula del producto principal formado en la reacción del ácido benzoico con 2-propanol. $[C_6H_5COOCH(CH_3)_2]$.
- 30) Escribe las fórmulas de las siguientes aminas e indica si son primarias, secundarias o terciarias: o-metilfenilamina; trietilamina; dimetilamina; N-metiletanamina; N,N-dimetil-1-propanamina.
- 31) Sugiere un método experimental para demostrar que en la formación de un éster, el átomo de oxígeno en la molécula de agua eliminada procede del grupo carboxilo. [Usar el átomo ^{18}O , que es radiactivo, en lugar del normal ^{16}O en el grupo $-OH$ del alcohol, con lo que los ^{18}O estarán en el éster y no en el agua]
- 32) a) Escribe las fórmulas estructurales de los isómeros dietil éter y 1-butanol. b) Explica por qué existen diferencias en el punto de ebullición del 1-butanol ($117^\circ C$) y del dietil éter ($37^\circ C$), sin embargo, la solubilidad en agua es igual en los dos ($8g/100 mL$). [Las fuerzas principales entre estos compuestos y el agua son la causa de la solubilidad, y son fuerzas de London. Como las dos moléculas son parecidas tienen fuerzas de London similares con el agua, ya que tienen los mismos átomos en una distribución similar. Sin embargo, las moléculas de 1-butanol puede formar enlaces de hidrógeno entre ellas y unirse fuertemente en estado líquido con lo que el punto de ebullición aumenta]
- 33) Establecer las relaciones estructurales y diferencias entre las funciones orgánicas oxigenadas: alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos y ésteres.
- 34) Concepto general de isomería: tipo y ejemplos.
- 35) Aldehídos y cetonas. Estructura y propiedades.
- 36) Indique cuáles de las siguientes parejas están integradas por compuestos pertenecientes a la misma función química. Especifique, en cada caso, de qué función se trata: a) $CH_3CH_2CH_2CHO$ y $CH_3COCH_2CH_3$; b) CH_3CH_2COOH y CH_3COOCH_3 ; c) $CH_3CH_2NH_2$ y CH_3NHCH_3 .
- 37) Complete las siguientes reacciones e indique de qué tipo de reacción se trata: a) $CH_2=CH_2 + H_2O$ (medio ácido) $\rightarrow \dots$; b) $CH_2=CH_2 + HCl \rightarrow \dots$ c) $C_6H_6 + Cl_2$ (catalizador $AlCl_3$) $\rightarrow \dots$
- 38) Justifique cuáles de los siguientes compuestos puede presentar isomería cis-trans:
- a) $CH_3 - C \equiv C - CH_2OH$; b) $(CH_3)_2C = CH - CH_3$; c) $ClCH = CHCl$
- 39) Cuando 10 g de un carbonato de calcio impuro se calientan a $900^\circ C$ se descompone en dióxido de carbono gaseoso y óxido de calcio sólido. El dióxido de carbono desprendido ocupa, a $27^\circ C$ y 740 mm Hg, un volumen de 2,02 L. Calcule: a) la pureza del carbonato de calcio; b) el pH de la disolución de hidróxido de calcio resultante al disolver en agua el óxido de calcio obtenido, siendo el volumen total de la misma un litro.
- 40) Complete las siguientes reacciones e indique el tipo al que pertenecen: a) $CH_4 + Cl_2 \rightarrow \dots$; b) $CH_2=CH-CH_3 + HI \rightarrow \dots$
- 41) Complete las siguientes reacciones: a) $C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{AlCl_3} \dots$; b) $CH_3-CH=CH-CH_3 + HBr \rightarrow \dots$; c) $CH_3-CHOH-CH_2-CH_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2O + \dots$
- 42) ¿Cuáles de los siguientes compuestos son óptimamente activos?. Razone las respuestas: a) $CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_3$; b) $CH_3-CH_2-CHOH-CHO$; c) $CH_2Cl-CH_2-CHBr-COOH$

43) a) ¿Cuál es el alcano más simple que presenta isomería óptica?. b) Razone por qué la longitud del enlace entre los átomos de carbono en el benceno (C_6H_6) es 140 pm, en el etano (C_2H_6) es 154 pm y en el eteno (C_2H_4) es 134 pm.

44) Formula o nombra los siguientes compuestos:

- 1 Metano
- 2 Etano
- 3 2-Metilbutano
- 4 2-Metil-2-penteno
- 5 Metilciclobutano
- 6 2,2,4-Trimetilpentano
- 7 Ciclohexeno
- 8 4-Metil-2-pentino
- 9 2-Etil-4-metil-1-hexeno
- 10 Benceno
- 11 Metilbenceno (tolueno)
- 12 1,2-Dimetilbenceno
- 13 Difenilo
- 14 Etanol
- 15 3-Metil-1-butanol
- 16 Fenol
- 17 Metoxietano
- 18 Propanal
- 19 Benzaldehído
- 20 Butanona
- 21 Ácido etanoico
- 22 Ácido 2-metilbutanoico
- 23 1-Propanolato de sodio
- 24 Propanoato de sodio
- 25 Propanoato de metilo
- 26 3-Metilbutanoato de etilo
- 27 Acetato de fenilo
- 28 Benzoato de metilo
- 29 Metilamina
- 30 Trimetilamina
- 31 N-Metilpropilamina
- 32 2-Metilpropilamina
- 33 Fenilamina (anilina)
- 34 Difenilamina
- 35 Ácido 2-aminopropanoico
- 36 Ácido p-aminobenzoico
- 37 Ácido 2-amino-3-metilbutanoico
- 38 Propanonitrilo
- 39 Benzonitrilo
- 40 3-Metilbutanonitrilo
- 41 Nitrometano
- 42 2-Nitropropano
- 43 Nitrobenceno
- 44 Acetamida
- 45 Benzamida
- 46 2-Metilpropanamida

- 47 N-Metilacetamida
- 48 5-Metil-3-hepteno
- 49 3-Propil-1-penten-4-ino
- 50 2-Propen-1-ol
- 51 Ácido 4-cloro-3-metilbenzoico
- 52 Ácido 2-hidroxibutanoico
- 53 1,2-Dihidroxi-3,4-dimetilbenceno
- 54 3-Buten-2-ona
- 55 1,2,3-Propanotricarbaldehido
- 56 Ácido 4-oxopentanoico
- 57 3-Oxopentanal
- 58 Ácido 3-carboxihexanodioico
- 59 N,N-Dimetilacetamida
- 60 4-Bromo-3,5-octanodiona
- 61 2-Ciclohexiletilamina
- 62 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
- 63 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
- 64 $\text{H}_2\text{C=CH-CH}_3$
- 65 $\text{HC}\equiv\text{C-CH}_3$
- 66 $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
- 67 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$
- 68 $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$
- 69 $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
- 70 $\text{CH}_2\text{=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$
- 71 $\text{C}_6\text{H}_5\text{-O-CH}_3$
- 72 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHO}$
- 73 $\text{CH}_2\text{=CH-CHO}$
- 74 $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_3$
- 75 $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHO}$
- 76 $\text{CH}_3\text{-COOH}$
- 77 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$
- 78 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOC}_6\text{H}_5$
- 79 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$
- 80 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{N}$
- 81 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NO}_2$
- 82 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$
- 83 $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CO-NH}_2$
- 84 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_3$
- 85 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-N(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CH}_3$
- 86 $\text{CH}_3\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$