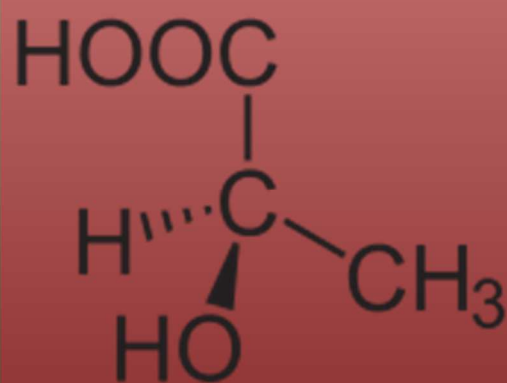
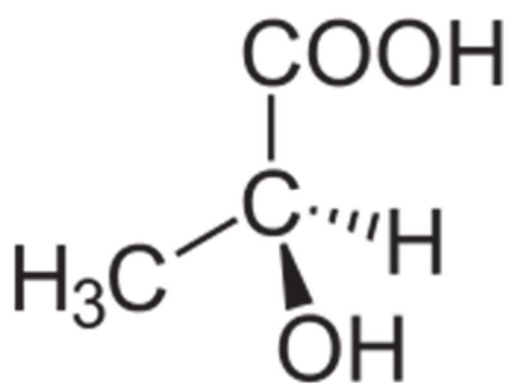


Introducción a la Química Orgánica



INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA ORGÁNICA.

1. INTRODUCCIÓN

En 1807, el químico sueco, Berzelius, designó por primera vez con el nombre de compuestos orgánicos al conjunto de sustancias que se obtenían de la materia viva, y con el nombre de compuestos inorgánicos a las sustancias características de la materia no viva.

En 1828, Wöhler realizó un experimento que es considerado, en general, como el hecho que marcó el principio del fin de la teoría de la «fuerza vital». Este químico alemán trató cianato de plomo, $(\text{CNO})_2\text{Pb}$, con amoníaco a fin de obtener cianato de amonio, CNONH_4 , según la reacción: $(\text{CON})_2\text{Pb} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CNONH}_4$.

En efecto, este compuesto se formó pero, al hervir la disolución para cristalizar esta sustancia, el cianato de amonio se transformó en urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, de acuerdo con la reacción: $\text{CNONH}_4 \xrightarrow{\text{calor}} \text{CO}(\text{NH}_2)_2$. La urea, que había sido aislada de la orina humana por Roulle en 1780, era una sustancia orgánica; por tanto Wöhler había obtenido una sustancia orgánica, la urea, a partir de una sustancia inorgánica como es el cianato de amonio. Podemos decir, por tanto, que fue la urea la primera sustancia orgánica sintetizada en el laboratorio.

En 1938 Wöhler y Liebig llegaron a la conclusión de que todos los compuestos orgánicos se pueden sintetizar en el laboratorio. Esto llevó a realizar la síntesis de un gran número de sustancias orgánicas.

En 1861, el químico alemán Kekulé definió a la Química Orgánica, simplemente, como la Química de los compuestos del carbono. Actualmente se sigue usando esta definición dada por Kekulé y se considera que la Química Orgánica es *la parte de la Química que estudia los compuestos del carbono*, si bien hay que señalar que hay compuesto de carbono que son estudiados por la Química Inorgánica, tales como el monóxido de carbono, CO , el dióxido de carbono, CO_2 , o los carbonatos.

2. GRUPOS FUNCIONALES Y SERIES HOMÓLOGAS

Grupo funcional: Se puede definir como *un átomo o conjunto de átomos cuya presencia en una molécula le confiere a ésta un comportamiento químico característico*. Por ejemplo, los dos compuestos orgánicos siguientes:



presentan un comportamiento químico similar, característico del grupo -CHO . Por lo tanto el grupo funcional de estos dos compuestos es el grupo aldehído.

Algunos compuestos poseen más de un grupo funcional en su molécula, son los llamados **compuestos polifuncionales**, y su comportamiento deriva de la existencia de dichos grupos funcionales.

Serie homóloga: Se define como *el conjunto o familia de compuestos que posee el mismo grupo funcional, y cada término de la serie difiere del anterior y del posterior en un grupo metileno $-CH_2-$* .

Por ejemplo los compuestos:

CH_3-CHO (*Etanal*) y CH_3-CH_2-CHO (*Propanal*) y $CH_3-CH_2-CH_2-CHO$ (*Butanal*), pertenecen a la misma serie homóloga (*aldehídos*) y cada uno se diferencia del anterior o posterior en un grupo metileno, $-CH_2-$.

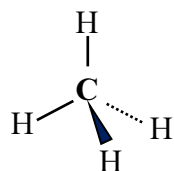
Los compuestos de una misma serie homóloga tienen un comportamiento químico similar y sus propiedades físicas varían gradualmente.

Series homólogas de compuestos orgánicos y grupos funcionales más importantes

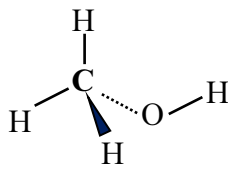
Grupo funcional	Nombre grupo funcional	Fórmula general	Función (clase de compuestos)	Ejemplo	Nombre
>C=C<	Alqueno	$R-CH=CH-R'$	Alquenos u olefinas	$CH_3CH=CH_3$	Propeno
$-C\equiv C-$	Alquino	$R-C\equiv C-R'$	Alquinos	$CH_3C\equiv CH$	Propino
$-X$	Haluro	$R-X$	Derivados halogenados	CH_3Cl	Clorometano
$-OH$	Hidroxilo	$R-OH$	Alcoholes	CH_3CH_2OH	Etanol
$-O-$	Oxi	$R-O-R'$	Éteres	$CH_3CH_2OCH_3$	Etilmetiléter
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -C- \\ \\ H \end{array}$	Carbonilo	$R-CHO$	Aldehídos	CH_3CHO	Etanal
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -C=O \end{array}$	Carbonilo	$R-CO-R'$	Cetonas	CH_3COCH_3	Propanona
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -C- \\ \\ OH \end{array}$	Carboxilo	$R-COOH$	Ácidos	CH_3CH_2COOH	Ácido propanoico
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -C- \\ \\ O- \end{array}$	Éster	$R-COO-R'$	Ésteres	$CH_3CH_2COOCH_3$	Propanoato de metilo
$-N<$	Amino	$R-NH_2$	Aminas	CH_3NH_2	Metilamina
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -C- \\ \\ N- \\ \\ I \end{array}$	Amido	$R-CO-NH_2$	Amidas	CH_3CONH_2	Etanamida
$-C\equiv N$	Nitrilo (Ciano)	$R-CN$	Nitrilos	CH_3CN	Etanonitrilo
$-NO_2$	Nitro	$R-NO_2$	Nitrocompuestos	$CH_3CH_2NO_2$	Nitroetano

- **Fórmulas tridimensionales.** Representan en un plano la ordenación espacial de los enlaces existentes en la molécula. Para ello se adopta el convenio de representar con trazo continuo los enlaces que se encuentran en el plano de representación; con trazo discontinuo, los que están dirigidos hacia detrás de dicho plano y, con una especie de cuña, los que están dirigidos hacia delante del mismo plano.

Ejemplos:



Metano



Metanol

Recordatorio: Se dice que un carbono es **primario** si sólo va unido a otro átomo de carbono (carbonos extremos). Un carbono es **secundario** cuando va unido a 2 átomos de carbono; **terciario** si va unido a tres y **cuaternario** si va unido a cuatro átomos de carbono. Por ejemplo en la molécula: **2,2,4-trimetilhexano**

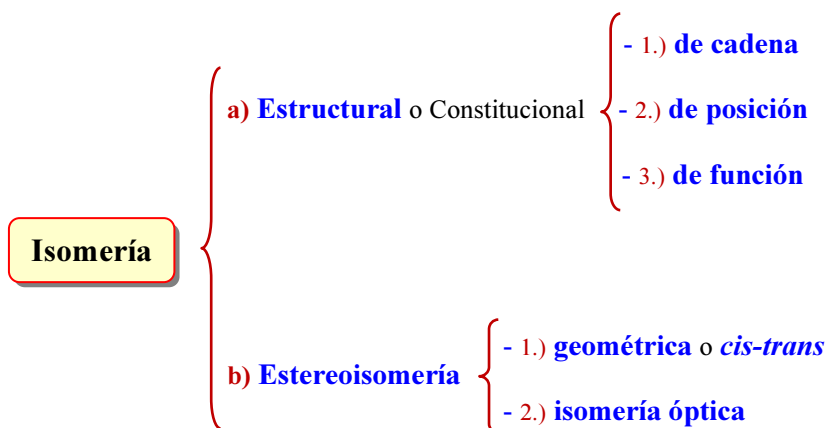
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-C}(\text{CH}_3)_2\text{-CH}_3$ los carbonos de color **C** son **primarios**, los carbonos **C** secundarios, el **C** es **terciario** y el **C** **cuaternario**.

5. CONCEPTO DE ISOMERÍA: TIPOS

Isomería: Es el fenómeno por el que dos o más compuestos tienen la misma fórmula molecular, pero distintas estructuras moleculares; esto hace que dichos compuestos tengan diferentes propiedades físicas y químicas. A los compuestos que presentan el fenómeno de la isomería se les denominan **isómeros**.

Por ejemplo: **etanol** ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$) y **dimetil éter** ($\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$). Ambos tienen de fórmula molecular, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, sin embargo son dos compuestos distintos con propiedades físicas y químicas muy distintas. El etanol es líquido con punto de ebullición de $78,4^\circ\text{C}$, mientras que del dimetil éter es un gas con un punto de ebullición de -24°C . Son **isómeros** porque tienen la misma fórmula molecular pero difieren en su estructura molecular.

- **Tipos de isomería**



Veamos cada uno de estos tipos de isomería:

a) **Isomería estructural.** Este tipo de isomería *se debe a diferencias existentes en la unión y en la ordenación de los átomos en las moléculas*. Estos isómeros difieren en la secuencia de sus enlaces, es decir, en la forma en que están conectados sus átomos.

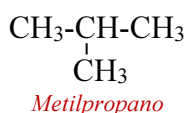
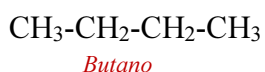
Esta isomería estructural se clasifica en **3 tipos**:

1.) Isomería de cadena. Los isómeros de este tipo se caracterizan por la *diferente posición de los átomos de carbono que forman la cadena carbonada*, es decir es el átomo de carbono el que cambia su posición en la cadena.

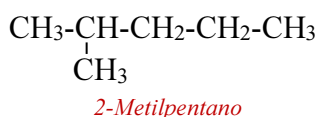
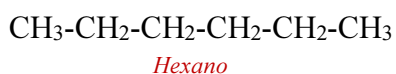
Presentan este tipo de isomería todos los compuestos de 4 ó más átomos de carbono.

Los isómeros de cadena se diferencian principalmente en las propiedades físicas; sin embargo, también se aprecian diferencias en las propiedades químicas, debido a la distinta reactividad de los carbonos primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios.

Ejemplos:



Ambos compuestos tienen la misma fórmula molecular, C_4H_{10} , por eso son isómeros, pero son compuestos distintos con diferentes propiedades. Son isómeros de cadena.



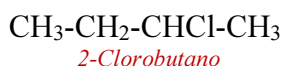
El *n*-hexano y el 2-metilpentano, son isómeros de cadena ya que su fórmula molecular es la misma, C_6H_{14} , pero el carbono ha cambiado de posición en la cadena. También sería un isómero de cadena el 3-metilpentano.

2.) Isomería de posición. Se caracteriza por que los isómeros tienen la misma fórmula molecular, pero se diferencian en la **posición** en la que se encuentra el grupo funcional. Por lo tanto, en este tipo de isomería es el grupo funcional el que cambia de posición.

Ejemplos:



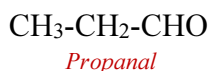
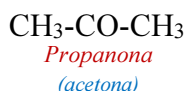
Estos dos alcoholes son *isómeros de posición*, ya que presentan la misma fórmula molecular, $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, pero el grupo funcional (-OH) ha cambiado de posición.



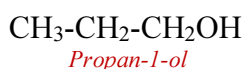
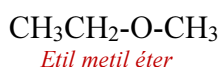
En este otro ejemplo, estos dos derivados halogenados presentan *isomería de posición* pues tienen la misma fórmula molecular, $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$, pero el grupo funcional (-Cl) ha cambiado su posición en la cadena carbonada.

3.) Isomería de función. *Este tipo de isomería la presentan los compuestos que teniendo la misma fórmula molecular poseen grupos funcionales distintos, por lo tanto pertenecen a series homólogas o familias distintas.* La diferencia en las propiedades, en este caso, está aun más acentuada, ya que al tratarse de grupos funcionales distintos presentan diferente reactividad.

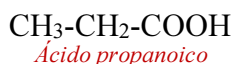
Ejemplos:



Estos dos compuestos presentan *isomería de función* (a veces se le llama funcional), pues tienen la misma fórmula molecular, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, pero tienen grupos funcionales distintos y por lo tanto pertenecen a familias distintas; el primero es una cetona y el segundo un aldehído.



En este nuevo ejemplo, ambos compuestos presentan *isomería de función* al tener la misma fórmula, $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, y poseer diferentes grupos funcionales y pertenecer a series homólogas distintas (éter y alcohol).



En este otro ejemplo, ambos compuestos presentan *isomería de función* al tener la misma fórmula, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$, pero presentan diferentes grupos funcionales y por ello pertenecen a series homólogas distintas (ácido carboxílico y éster).

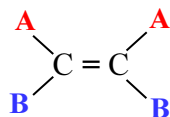
Son isómeros de función: los **éteres con los alcoholes**; los **aldehídos con las cetonas**; los **ácidos carboxílicos con los ésteres**.

b) Estereoisomería. En este tipo de isomería, *los compuestos presentan la misma fórmula molecular y se diferencian en la orientación espacial de sus átomos, es decir, en la disposición de sus átomos en el espacio.* A cada disposición espacial de una molécula se le llama **configuración**. Para entender esta isomería hemos de considerar las representaciones de las fórmulas tridimensionales de las moléculas.

Los estereoisómeros se denominan **enantiómeros** cuando uno es imagen especular (espejo) del otro (como lo son la mano izquierda y la derecha). En caso de que no lo sean, se denominan **diastereómeros**. Una molécula sólo puede tener un enantiómero, pero puede tener más de un diastereómero.

La estereoisomería se clasifica en **2 tipos**:

1.) Isomería geométrica o isomería cis-trans. *La presentan compuestos que tienen dobles enlaces en sus moléculas (es típica de los alquenos). Es debida a la rigidez del doble enlace para girar sobre sí mismo. Para que se dé este tipo de isomería, se tiene que cumplir que los sustituyentes unidos a los átomos de carbono que forman el doble enlace sean distintos, ya que si son iguales se trata del mismo compuesto.*

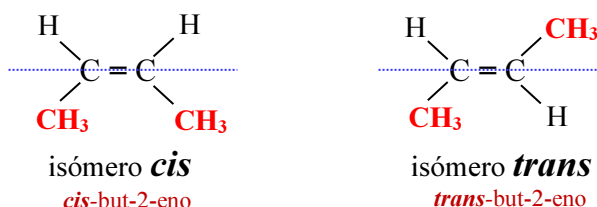


El sustituyente **A** tiene que ser distinto de **B** en los carbonos del doble enlace.

Existen **2 tipos** de **isómeros geométricos**:

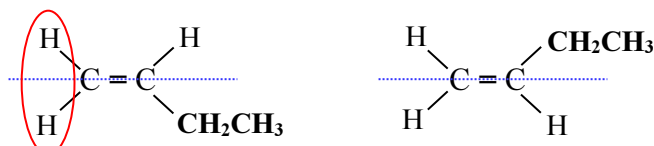
- El isómero **cis**, es aquel que tiene los grupos iguales (o de mayor volumen) **del mismo lado del doble enlace** (si trazamos una línea imaginaria, en la dirección del doble enlace, que divida a la molécula en dos partes).
- El isómero **trans**, es aquel que tiene los grupos iguales (o de mayor volumen) **en distinto lado del doble enlace** (si trazamos una línea imaginaria, en la dirección del doble enlace, que divida a la molécula en dos partes).

- Veamos un ejemplo: el **but-2-eno** tiene de fórmula: **CH₃-CH=CH-CH₃** y presenta dos estructuras tridimensionales:



Observamos que en este compuesto, but-2-eno, los sustituyentes de cada carbono del doble enlace son distintos (CH₃ y H), y por ello presenta la isomería geométrica.

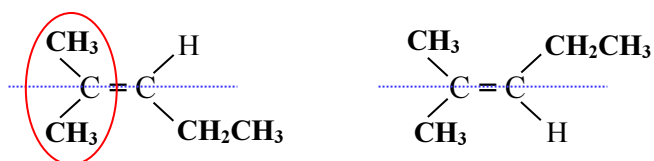
- Veamos ahora un ejemplo en el que no existe isomería geométrica, pues los sustituyentes del carbono del doble enlace son iguales, **but-1-eno**: CH₂=CH-CH₂-CH₃:



En este caso, se trata del **mismo compuesto**, y por lo tanto no existe isomería geométrica porque los sustituyentes de uno de los carbonos del doble enlace son iguales: H y H.

Basta que en uno de los dos carbonos del doble enlace sus sustituyentes sean iguales, para que la molécula no presente isomería geométrica.

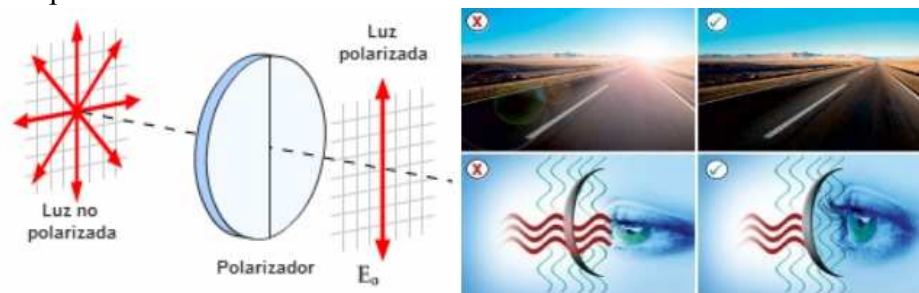
Otro ejemplo de un alqueno que no presenta isomería geométrica es **2-metilpent-2-eno**: (CH₃)₂-C=CH-CH₂-CH₃, en este compuesto ocurre lo mismo que en el anterior, **los sustituyentes de uno de los carbonos del doble enlace son iguales** (-CH₃) y por lo tanto no presenta isomería geométrica:



Se trata del **mismo compuesto**, y por lo tanto no existe isomería geométrica.

2.) Isomería óptica. Este tipo de isomería está basada en la asimetría natural de la hibridación sp^3 del átomo de carbono en los enlaces simples. Para que un compuesto orgánico presente isomería óptica, debe tener en su molécula un **carbono quiral** o **asimétrico**, es decir, **un carbono unido a cuatro sustituyentes distintos** (se le suele identificar con un *). Las moléculas que contienen un carbono quiral se les denomina **moléculas quirales**.

Si sólo hay un C quiral en la molécula, los dos isómeros son **enantiómeros** (imagen especular uno del otro). Los enantiómeros tienen las mismas propiedades químicas y físicas, sólo difieren en su **actividad óptica**, es decir, en su comportamiento frente a la luz polarizada.



Si el compuesto **desvía el plano de luz polarizada hacia la derecha** o en el sentido de las agujas del reloj, se le denomina dextrógiro, dextrorrotatorio o simplemente **dextro** lo cual se indica como (+) o **d, D** (del latín, dexter).

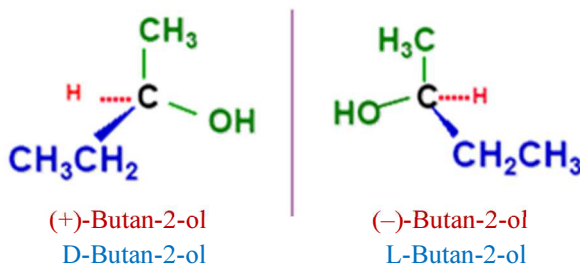
Por el contrario, si el compuesto **desvía el plano de luz polarizada hacia la izquierda** o en el sentido contrario a las agujas del reloj, se le denomina levógiro, levorrotatorio o simplemente **levo** lo cual se indica como (–) o **l, L** (del latín, laevus).

A la mezcla de los dos isómeros de un compuesto, *dextro* y *levo*, en la misma proporción (50%), se le denomina **racémico** y no desvía el plano de la luz polarizada, es decir, dicha mezcla es ópticamente inactiva.

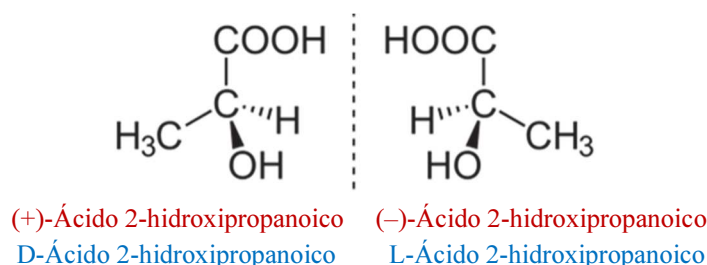
Para saber si un compuesto orgánico presenta isomería óptica hemos de buscar si contiene algún *carbono quiral*, es decir, un carbono con enlaces simples y que está unido a cuatro sustituyentes distintos.

Veamos algunos ejemplos:

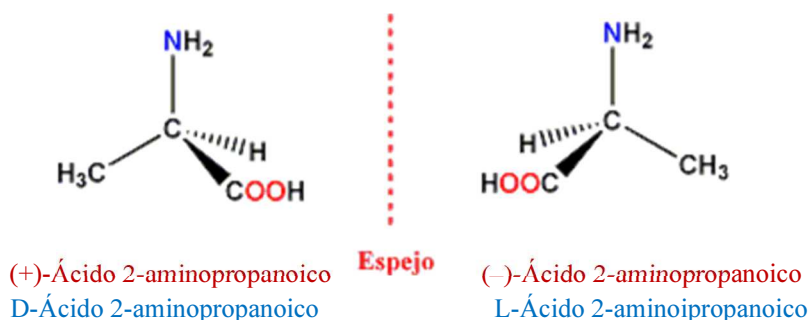
- Ejemplo 1: Butan-2-ol, $\text{CH}_3\text{-}\overset{*}{\text{C}}\text{HOH-CH}_2\text{-CH}_3$. Este compuesto presenta un **carbono quiral** (el carbono 2), pues está unido a cuatro sustituyentes distintos: H, OH, CH_3 y CH_2CH_3 . Se indica con un asterisco, *. Para representarlos, se utiliza las fórmulas tridimensionales reflejadas en un espejo imaginario. Uno de ellos será el **dextro** y el otro el **levo**:



- **Ejemplo 2:** Ácido 2-hidroxipropanoico (ácido láctico): $\text{CH}_3\text{-}\overset{*}{\text{C}}\text{HOH-COOH}$. El ácido láctico contiene un **carbono quiral** (el carbono 2), al estar unido a cuatro sustituyentes distintos. Por lo tanto este compuesto presenta isomería óptica, es decir, tiene actividad óptica y desviará el plano de luz polarizada, uno de los enantiómeros será el **dextro** y el otro el **levo**:



- **Ejemplo 3:** ácido 2-aminopropanoico: $\text{CH}_3\text{-}\overset{*}{\text{C}}\text{(NH}_2\text{)-COOH}$. Esta molécula presenta un carbono quiral (unido a 4 sustituyentes distintos) y por lo tanto tiene isomería óptica, un enantiómero será el **dextro** y el otro es el **levo**:



Por el contrario si un compuesto orgánico **no presenta un carbono quiral** o asimétrico, podemos afirmar que **no presenta isomería óptica** y por lo tanto no tendrá actividad óptica y no desviará el plano de luz polarizada.

En el compuesto: **ácido 3-bromopropanoico**, no hay ningún carbono quiral, pues ninguno de ellos va unido a 4 sustituyentes distintos, podemos concluir que esta molécula no presenta isomería óptica: $\text{CH}_2\text{Br-CH}_2\text{-COOH}$. Su estructura sería:



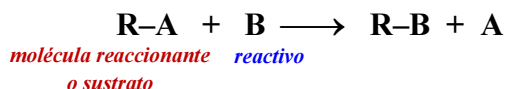
6. TIPOS DE REACCIONES ORGÁNICAS

Una gran parte de las reacciones en Química Orgánica se pueden clasificar en:

1. Reacciones de sustitución
2. Reacciones de adición
3. Reacciones de eliminación

1. Reacciones de sustitución

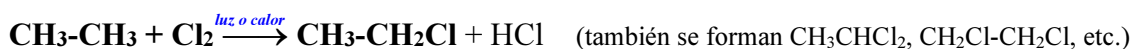
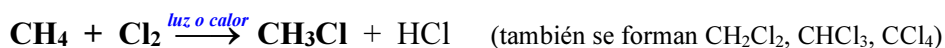
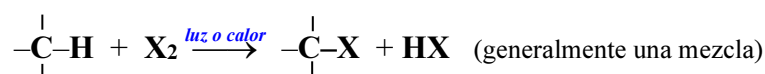
Son aquellas en las que un átomo o un grupo de átomos de una molécula reaccionante (sustrato) es **sustituido** por otro átomo o grupo de átomos suministrados por el reactivo.



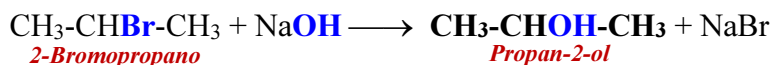
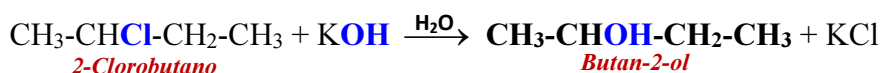
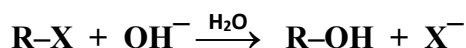
- **Ejemplos de reacciones de SUSTITUCIÓN:**

a) Halogenación de alcanos. Este tipo de reacciones se realizan en presencia de *luz* ($h\nu$) o *calor*. En ellas un hidrógeno del alcano es sustituido por un halógeno (-F, -Cl, -Br, -I). Se obtiene el **derivado monohalogenado** o **haluro de alquilo**; pero si la reacción continúa en presencia de más cantidad de halógeno (X_2) se van obteniendo mezclas de los derivados dihalogenados, trihalogenados y tetrahalogenados, cuya composición depende de la cantidad de halógeno y de las condiciones de la reacción.

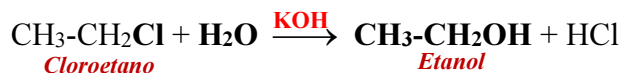
En este tipo de reacción, nosotros sólo vamos a escribir el derivado monohalogenado que se forma, es decir se sustituye un solo hidrógeno por un halógeno:



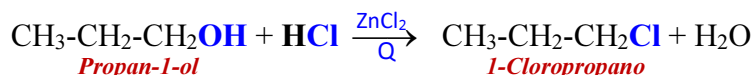
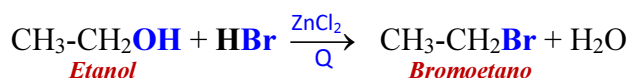
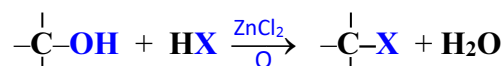
b) Hidrólisis de haluros de alquilo. Este tipo de reacción se hace en presencia de hidróxidos como NaOH o KOH. Se sustituye el halógeno (-X) por el grupo -OH. Se obtienen **alcoholes**.



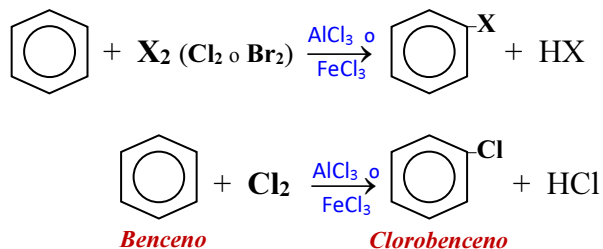
También se pueden escribir añadiendo H_2O en presencia del hidróxido correspondiente:



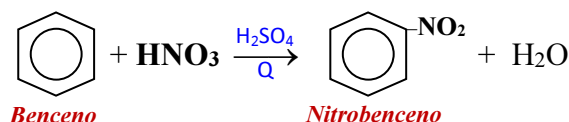
c) Reacción de un alcohol con haluros de hidrógeno (HX= HCl; HBr). Este tipo de reacción se hace en presencia de $ZnCl_2$ y calor (Q). En ellas se sustituye el -OH del alcohol por el halógeno del HX. Se obtienen **derivados monohalogenados**.



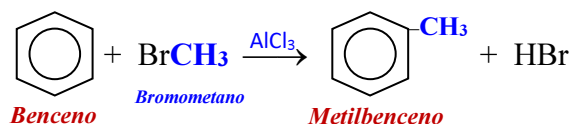
d) Halogenación del benceno. A este tipo de reacciones se les denominan de sustitución aromática electrofílica. Esta reacción está catalizada y se usan como **catalizadores: AlCl_3 o FeCl_3** . En esta reacción se sustituye un hidrógeno del benceno por un halógeno (-X), generalmente cloro o bromo y el producto que se obtiene es el *derivado monohalogenado del benceno*.



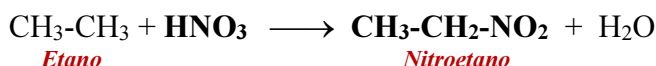
e) Nitración del benceno. Se usa como reactivo ácido nítrico, HNO_3 , en presencia de ácido sulfúrico, H_2SO_4 y calor. Se obtienen *nitroderivados del benceno*.



f) Alquilación de Friedel-Crafts. Se usa como reactivo un derivado halogenado **R-X**. Como catalizador se utiliza tricloruro de aluminio, AlCl_3 . Se obtiene *un hidrocarburo aromático del benceno sustituido*.



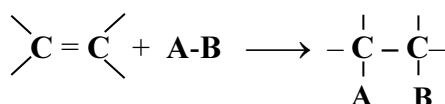
g) Nitración de alcanos. Se usa como reactivo ácido nítrico, HNO_3 , y se obtienen *nitroderivados*.



2. Reacciones de adición

Son típicas de moléculas orgánicas insaturadas, es decir, **moléculas con dobles o triples enlaces**: $\text{C}=\text{C}$; $\text{C}\equiv\text{C}$; $\text{C}=\text{O}$. En estas reacciones de adición la molécula reaccionante (sustrato) **gana 2 átomos o grupo de átomos** (procedentes del reactivo) y se obtienen moléculas más saturadas.

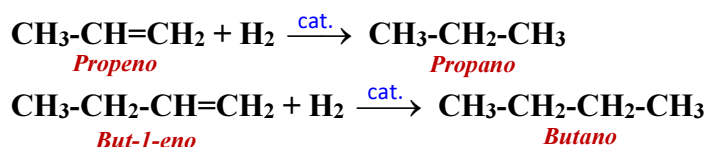
La presencia del doble enlace en los alquenos hace que éstos **sean más reactivos que los alcanos**, ya que los alquenos experimentan estas reacciones de adición, en las que **se rompe** el enlace π del doble enlace y se forman dos enlaces σ .



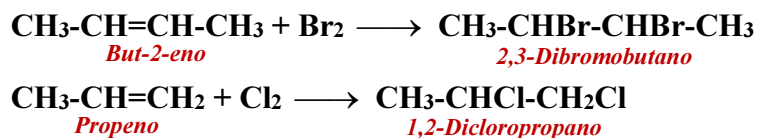
- Ejemplos de reacciones de ADICIÓN:

- ALQUENOS

a) Adición de hidrógeno: Hidrogenación de alquenos. En estas reacciones se **adiciona H₂** al doble enlace del alqueno. La reacción se lleva a cabo en presencia de un **catalizador** (se puede abreviar **cat.**) y los que se suelen utilizar son Ni, Pd o Pt. Al adicionar H₂ se rompe el doble enlace y se obtiene *el correspondiente alcano*.



b) Adición de halógenos: Halogenación de alquenos. En estas reacciones se rompe el doble enlace del alqueno y se adiciona el halógeno (X₂) y se obtienen *derivados dihalogenados*.

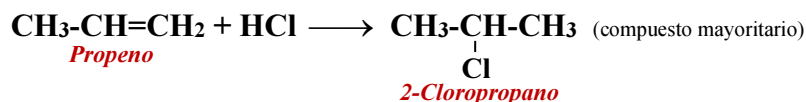


c) Adición de haluros (halogenuros) de hidrógeno (HX). Los haluros o halogenuros de hidrógeno (HX) se adicionan al doble enlace obteniéndose el correspondiente *derivado monohalogenado* (llamado también *haluro o halogenuro de alquilo*).

Existe una **regla** empírica para predecir cuál es el **compuesto mayoritario** que se obtiene en este tipo de reacciones:

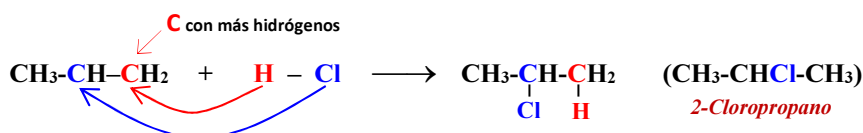
Regla de Markovnikov (químico ruso Vladimir Markovnikov, 1869):

En general, en la adición de un reactivo asimétrico (significa que al romperse el reactivo quedan 2 partes diferentes: HX, se rompe en H⁺ y X⁻; H₂O, se rompe en H⁺ y OH⁻) **a un alqueno asimétrico** (es el alqueno que a cada lado del doble enlace tiene estructura distinta, por ejemplo el **propeno** es asimétrico CH₂=CH-CH₃ ya que a cada lado del doble enlace quedan estructuras diferentes; el **but-1-eno** también es asimétrico CH₂=CH-CH₂-CH₃; por el contrario el **but-2-eno** CH₃-CH=CH-CH₃ es simétrico pues a cada lado del doble enlace hay la misma estructura) **el hidrógeno del reactivo se adiciona al C del doble enlace que tenga mayor número de hidrógenos**.

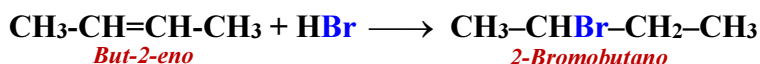


Aclaración: Como el propeno es un alqueno asimétrico, al romperse el doble enlace $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$

el **H** del reactivo **HCl** se adiciona al **carbono del doble enlace con mayor número de hidrógenos** (para que recuerdes la regla de Markovnikov, los hidrógenos se van con los hidrógenos):



Veamos un ejemplo de adición de bromuro de hidrógeno, **HBr**, a un **alqueno simétrico** y por lo tanto no es necesario aplicar la regla de Markovnikov, pues sólo se obtiene un compuesto, independientemente del carbono en el que se adicione el halógeno:

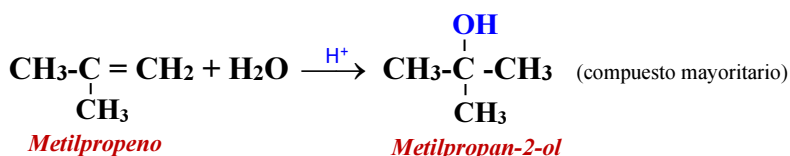


En este caso el **Br** se adiciona al carbono 2, y sea numerando por uno u otro extremo.

d) Adición de agua: Hidratación de alquenos. El agua se adiciona a los alquenos en presencia de ácidos (H^+) como catalizadores, se suele utilizar H_2SO_4 . Se obtienen **alcoholes**. Esta reacción **sigue la regla de Markovnikov** si el alqueno es asimétrico.

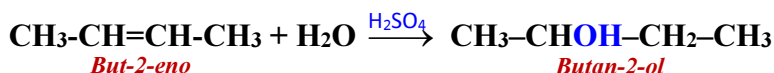


En este caso hemos aplicado la **regla de Markovnikov**, ya que el propeno es asimétrico: el **H** se adiciona al carbono 1 de mayor número de hidrógenos y el **OH** al carbono 2 que tiene menos hidrógenos, obteniéndose propan-2-ol como compuesto mayoritario. En aquellos ejercicios en los que sea necesario la aplicación de la regla de Markovnikov ha de indicarse en la respuesta correspondiente.



También en esta reacción hemos aplicado la **regla de Markovnikov**, ya que el metilpropeno es asimétrico.

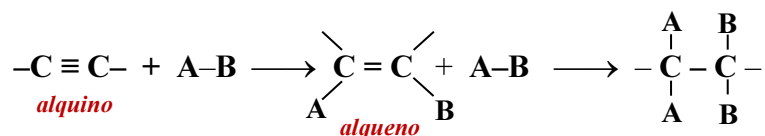
Veamos ahora una reacción de adición de H_2O a un **alqueno simétrico**, por ello no habrá que aplicar la regla de Markovnikov:



- ALQUINOS

Los alquinos experimentan **las mismas reacciones de adición que los alquenos**. Primero se rompe el triple enlace, dando lugar a un compuesto con doble enlace y si hay más cantidad de reactivo, se adiciona al compuesto del doble enlace, obteniéndose un compuesto saturado.

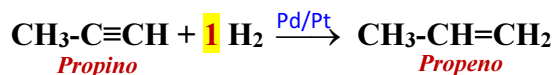
Advertencia: En las reacciones de adición a un alquino hemos de tener presente el número de moles del reactivo que se va a adicionar. Si el alquino y el reactivo están **en la misma proporción de moles**, sólo se produce una adición y se obtendrá el compuesto de doble enlace. Pero si hay **doble** número de moles de reactivo que de alquino, se produce una doble adición y se obtiene el compuesto saturado. Lo podemos esquematizar de la siguiente manera:



- **Ejemplos de reacciones de ADICIÓN a ALQUINOS:** (son las mismas que en alquenos)

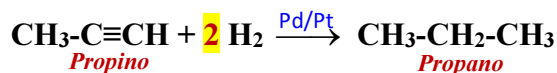
a) Adición de hidrógeno: Hidrogenación de alquinos. En estas reacciones se **adiciona H₂** al triple enlace del alquino, obteniéndose el **alqueno** correspondiente y si la reacción sigue, porque haya más cantidad de reactivo, se llega al **alcano** correspondiente. La reacción se lleva a cabo en presencia de un **catalizador** (se puede abreviar **cat.**) y los que se suelen utilizar son Ni, Pd, Pt o mezcla de ellos.

Caso 1: Los moles de alquino y reactivo (H₂) están en **igual proporción**: Se **obtiene el alqueno**. Se rompe el triple enlace, se adiciona hidrógeno y se obtiene el compuesto de doble enlace. **COMPROBAR** siempre que la reacción está ajustada.



Caso 2: Los moles de reactivo (H₂) están en **doble proporción** que la del alquino: Se **obtiene el alcano correspondiente**. Se rompe el triple enlace completamente, se adiciona todo el H₂ y se obtiene el compuesto saturado, alcano.

COMPROBAR siempre que la reacción está ajustada.

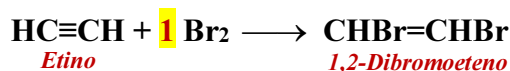


En una sola reacción se pueden resumir los dos casos:

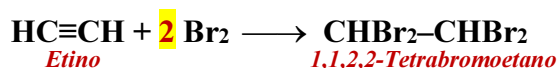


b) Adición de halógenos: Halogenación de alquinos. En estas reacciones se rompe el triple enlace del alquino y se adiciona el halógeno (X₂) y se obtienen **alquenos dihalogenados** y posteriormente los correspondientes **derivados tetrahalogenados**. En estas reacciones ocurre igual que en la adición de H₂, hay que **tener presente la cantidad de moles de reactivo** que interviene en la reacción.

Caso 1: Los moles de alquino y reactivo (X₂) están en **igual proporción**: Se **obtiene el alqueno dihalogenado**. Se rompe el triple enlace, se adiciona el halógeno y se obtiene el compuesto de doble enlace dihalogenado. **COMPROBAR** siempre que la reacción está ajustada.



Caso 2: Los moles de reactivo (X₂) están en **doble proporción** que la del alquino: Se **obtiene el derivado tetrahalogenado correspondiente**. Se rompe el triple enlace completamente, se adiciona todo el X₂ y se obtiene el compuesto tetrahalogenado. **COMPROBAR** siempre que la reacción está ajustada.



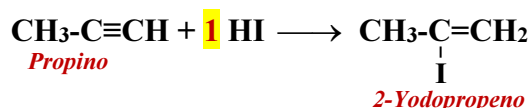
En una sola reacción se pueden resumir los dos casos:



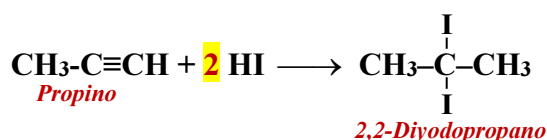
c) Adición de halogenuro de hidrógeno (HX) a alquinos. En estas reacciones se rompe el triple enlace del alquino y se adiciona el halogenuro de hidrógeno (HX) y se obtienen *alquenos monohalogenados* y posteriormente los correspondientes *derivados dihalogenados*. **Esta reacción sigue la regla de Markonikov.**

En estas reacciones ocurre igual que en las adiciones anteriores, hay que **tener en cuenta la cantidad de moles de reactivo (HX)** que interviene en la reacción.

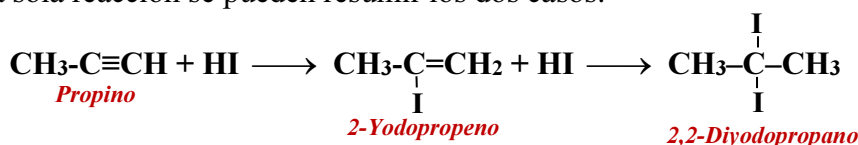
Caso 1: Los moles de alquino y reactivo (HX) están en **igual proporción**: Se *obtiene el alqueno monohalogenado*. Si el alquino es asimétrico, se aplica la regla de Markovnikov, se rompe el triple enlace y se adiciona el hidrógeno al C del triple enlace con mayor cantidad de hidrógeno y se obtiene el compuesto de doble enlace monohalogenado. **COMPROBAR** siempre que la reacción está ajustada.



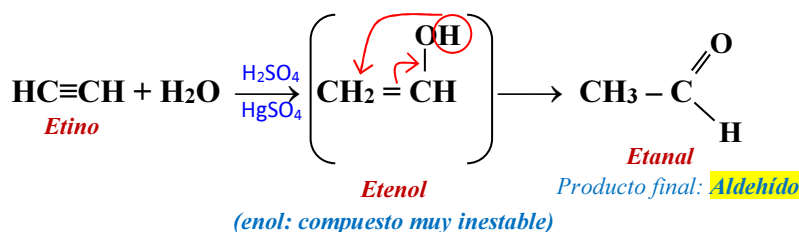
Caso 2: Los moles de reactivo (HX) están en **doble proporción** que la del alquino: Se *obtiene el derivado dihalogenado correspondiente*. Si el alquino es asimétrico sigue la regla de Markovnikov. Se rompe el triple enlace completamente, se adiciona todo el HX y se obtiene el compuesto dihalogenado. **COMPROBAR** siempre que la reacción está ajustada.



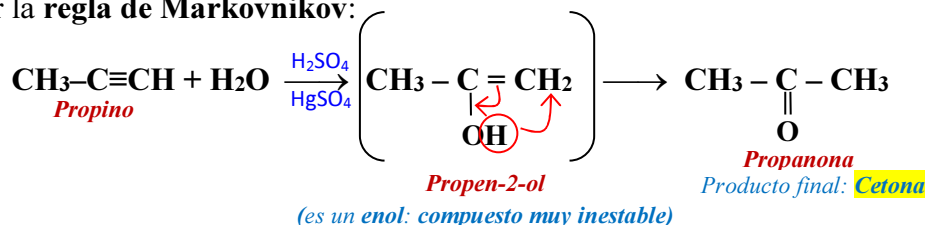
En una sola reacción se pueden resumir los dos casos:



d) Adición de agua a alquinos: Hidratación de alquinos. Esta reacción se cataliza con la presencia de ácidos (H⁺), generalmente H₂SO₄, y sales de mercurio(II), HgSO₄. Si al alquino es asimétrico también **sigue la regla de Markovnikov**. Se obtiene un compuesto denominado *enol* (alcohol con doble enlace) que es muy inestable y evoluciona hacia el compuesto carbonílico correspondiente: *aldehído* o *cetona*. Por lo tanto el compuesto final que se obtiene es un aldehído o una cetona, dependiendo de la posición del triple enlace en la molécula de alquino. Cuando el **alquino es asimétrico**, siguiendo la **regla de Markonikov**, se rompe el triple enlace y se adiciona el **H** (del H₂O) al **C** del triple enlace con más átomos de hidrógenos.

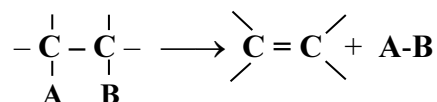


Veamos un ejemplo de hidratación con un alquino asimétrico, en la que tenemos que aplicar la **regla de Markovnikov**:



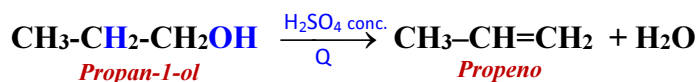
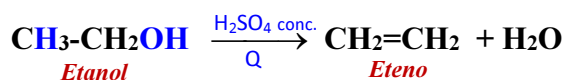
3. Reacciones de eliminación

Se puede considerar que las **reacciones de eliminación** son inversas a las reacciones de adición. *Consisten en la eliminación de 2 átomos o 2 grupos de átomos de la molécula reaccionante (sustrato), formándose, generalmente, dobles enlaces, pero a veces se pueden formar triples enlaces o ciclos.*

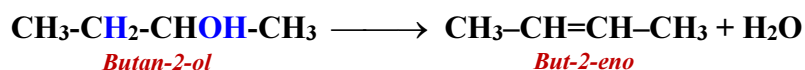


- Ejemplos de reacciones de **ELIMINACIÓN**:

a) **Deshidratación de alcoholes.** Los alcoholes en presencia de H_2SO_4 concentrado y calor (temperaturas altas: 200°C) se deshidratan, se elimina H_2O y se obtiene el **alqueno correspondiente**. Si hay varias posibilidades en la formación de alquenos se aplica la **regla de Saytzeff**: “En las reacciones de eliminación, el producto de reacción que predomina es el alqueno más sustituido, es decir, el hidrógeno sale del carbono adyacente al grupo funcional que tiene menos hidrógenos”.



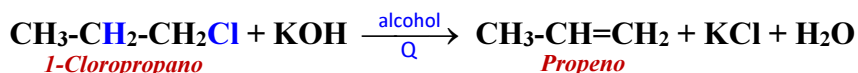
- Veamos un ejemplo en el que hemos de aplicar la **regla de Saytzeff**:



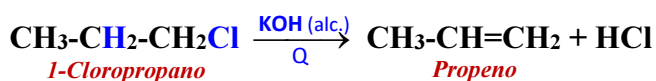
Aclaración: En la reacción sólo escribiremos el compuesto mayoritario obtenido (*but-2-eno*), aplicando la **regla de Saytzeff**: el **H** sale del **C** adyacente (junto) al grupo funcional (**-OH**) que **tiene menos hidrógenos** (que es el **-CH₂-** pues el otro es un **-CH₃**).

b) Deshidrohalogenación de haluros de alquilo. Los haluros de alquilo también experimentan reacciones de eliminación. Se lleva a cabo en presencia de una base fuerte, generalmente se utiliza **KOH en disolución alcohólica** (etanol: CH₃-CH₂OH, se puede abreviar: alc. o EtOH) y en caliente (se le suele llamar **potasa alcohólica**). Se obtiene el **alqueno correspondiente**. Si hay varias posibilidades, se aplica la **regla de Saytzeff**.

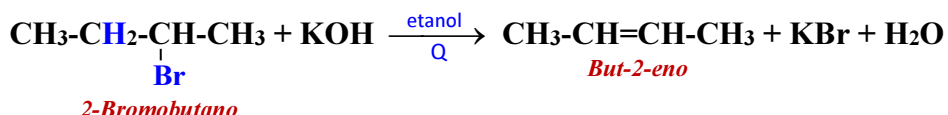
IMPORTANTE: No confundir con una reacción de sustitución: *Hidrólisis de haluros de alquilo* (apartado b. de las reacciones de sustitución). En éstas se utiliza H₂O y no etanol (alcohol).



Esta misma reacción nos la podemos encontrar escrita de la siguiente forma:

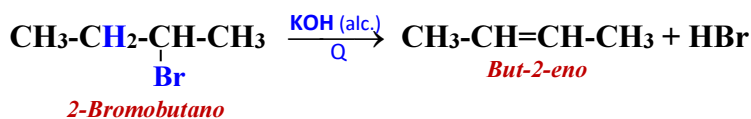


- En el caso de que en la reacción de eliminación haya varias posibilidades de formación de alquenos, se aplica la **regla de Saytzeff**, para ver cuál es el alqueno mayoritario que se obtiene:



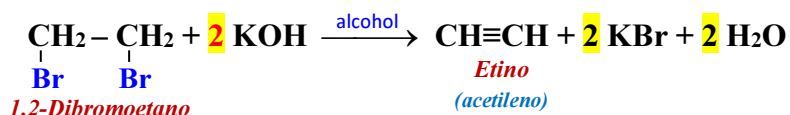
Aclaración: En la reacción también se forma **but-1-eno**, pero en una menor proporción (19%). En la reacción sólo escribiremos el compuesto mayoritario obtenido, aplicando la **regla de Saytzeff**: el **H** sale del **C** adyacente (junto) al grupo funcional (**-Br**) que **tiene menos hidrógenos** (que es el **-CH₂-** pues el otro es un **-CH₃**).

Esta misma reacción nos la podemos encontrar escrita de la siguiente forma: sin escribir el KOH como reactivo y poniéndolo encima de la $\longrightarrow$ de la reacción:



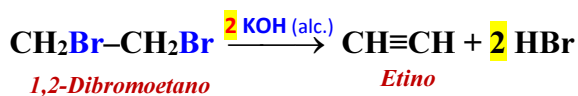
c) Deshidrohalogenación de dihaluros de alquilo. Los **dihaluros de alquilo vecinales** (significa que los 2 sustituyentes halógenos están en carbonos contiguos o en el mismo átomo de carbono) por acción de la potasa alcohólica, KOH en alcohol, eliminan dos moles de haluro de hidrógeno, formándose el **correspondiente alquino**.

Aclaración: Se distinguen este tipo de reacción de las anteriores por dos razones: **1ª.** la molécula reaccionante es un **dihaluro**. **2ª.** La cantidad de reactivo utilizada es **2 KOH**.

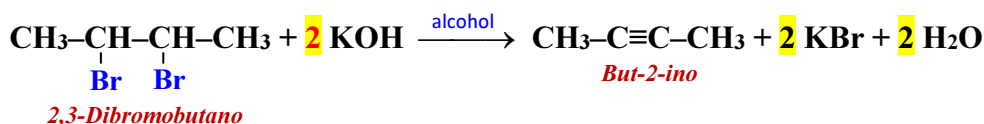


COMPROBAR siempre que la reacción está ajustada.

Esta misma reacción nos la podemos encontrar sin escribir el **2 KOH** como reactivo y poniéndolo **encima de la** $\longrightarrow$ de la reacción:

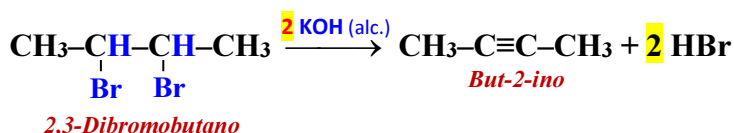


Veamos otro ejemplo:

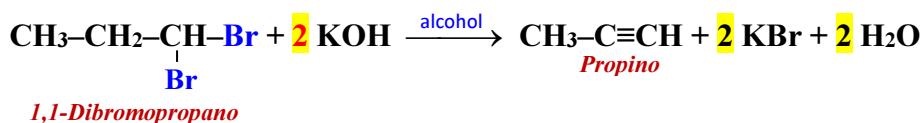


COMPROBAR siempre que la reacción está ajustada.

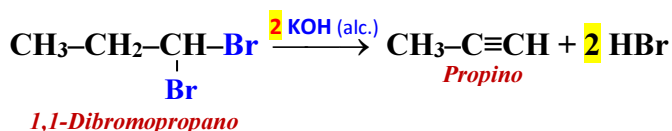
Esta misma reacción nos la podemos encontrar sin escribir el **2 KOH** como reactivo y poniéndolo **encima de la** $\longrightarrow$ de la reacción:



Veamos otro ejemplo en el que los halógenos están en el mismo carbono:



Al igual que en los ejemplos anteriores, esta misma reacción nos la podemos encontrar sin escribir el **2 KOH** como reactivo y poniéndolo **encima de la** $\longrightarrow$ de la reacción:



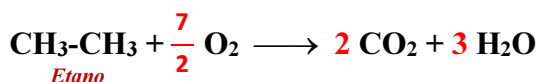
COMPROBAR siempre que las reacciones están ajustadas.

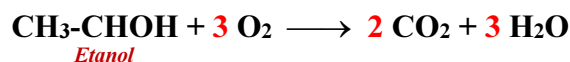
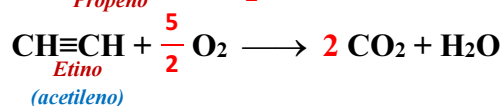
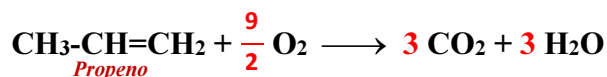
7. OTRAS REACCIONES ORGÁNICAS

1. Reacciones de combustión

Los compuestos orgánicos como hidrocarburos y compuestos oxigenados como los alcoholes, por combustión, en presencia de O_2 , dan como productos de reacción CO_2 y H_2O . Es una reacción **redox** en la que se desprende calor, es un proceso extremadamente **exotérmico**, por ello muchos de ellos se utilizan como combustibles.

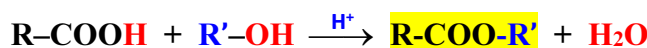
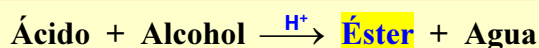
Ejemplos: **COMPROBAR** siempre que las reacciones están ajustadas.



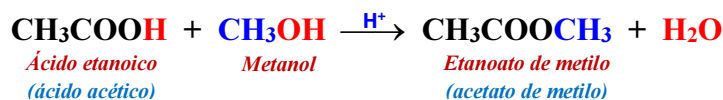
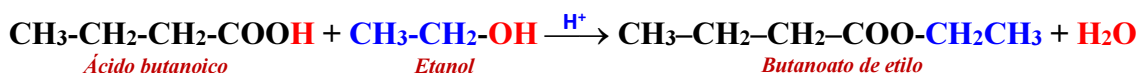
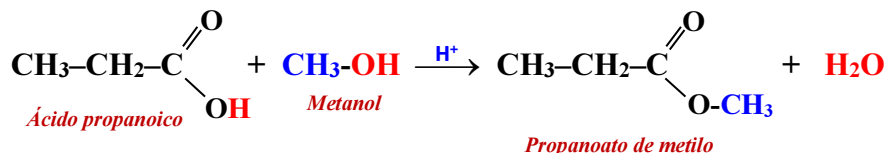


2. Reacciones de esterificación

La reacción entre **un ácido carboxílico** y **un alcohol** conduce a la formación de **un éster** y agua. De ahí el nombre de reacción de esterificación (formación de éster). Esta reacción se lleva a cabo en presencia de un catalizador ácido (H^+):



Ejemplos:



8. OTRAS CONSIDERACIONES

1. Reactividad de hidrocarburos.

Los hidrocarburos insaturados (alquenos y alquinos) **son más reactivos que los alcanos**. La **presencia del doble o triple enlace** carbono-carbono existente en sus moléculas es lo que les confiere su mayor reactividad. Estos hidrocarburos insaturados experimentan **reacciones de adición**, en la que se rompen los enlaces π y se forman enlaces σ .

2. Solubilidad de alcoholes en agua.

Los alcoholes son compuestos muy solubles en agua. En efecto, la presencia del grupo **-OH**, que es **fuertemente polar** (repasar polaridad de las moléculas), hace que los alcoholes sean moléculas polares y por lo tanto soluble en disolventes polares como el agua (“*semejante disuelve a semejante*”).

Aquellos compuestos orgánicos, distintos de los alcoholes, cuyas moléculas **no son polares (apolares) no se disuelven en agua y sí en disolventes orgánicos** como el CCl_4 o benceno.

3. Elevación de la temperatura de fusión y ebullición en alcoholes.

La presencia del grupo **–OH** en los alcoholes hace que entre sus moléculas se establezcan **puentes de hidrógeno**, ya que el hidrógeno va unido al oxígeno, que es un átomo muy electronegativo y de pequeño volumen. Estos **puentes de hidrógeno** son los responsables de que los **puntos de fusión y ebullición en los alcoholes sean superiores** a los que tienen compuestos con igual números de átomos de carbono (repasar puentes de hidrógenos).

Así por ejemplo el etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, es un líquido que tiene una temperatura de ebullición de **78,4°C**, mientras que su isómero de función, el dimetil éter, CH_3OCH_3 , es un gas cuya temperatura de ebullición es de **–24°C**. La presencia de los puentes de hidrógeno en el etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, son los responsables de que su temperatura de ebullición sea tan alta con respecto al dimetil éter, aun teniendo la misma fórmula molecular ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) y por lo tanto la misma masa molecular.

Otro ejemplo lo tenemos en los isómeros butan-1-ol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, y el dietil éter, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$, ambos tienen la misma fórmula molecular, $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$, pero sin embargo sus temperaturas de ebullición son muy distintas. El butan-1-ol presenta un punto de ebullición de **117,7°C**, mientras que el dietil éter tiene una temperatura de ebullición de **34,6°C**. De nuevo justificamos esta diferencia en sus temperaturas de ebullición por la presencia de puentes de hidrógeno en el butan-1-ol.