

# ALQUENOS

Autores: Antonio Matthew Méndez, José Guillermo Penieres Carrillo y Fernando Ortega Jiménez Proyecto DGAPA-PAPIME UNAM PE206117

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

Departamento de Ciencias Químicas  
Sección de Química Orgánica





**D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

*Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).*

ENTIDAD EDITORA

**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

**FORMA SUGERIDA DE CITAR:** Méndez, Antonio Matthew, Penieres Carrillo, José Guillermo y Ortega Jiménez, Fernando (septiembre 2023). Alquenos (monografía). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM

## Contenido

Objetivo .....	1
Introducción.....	1
Alquenos: estructura.....	1
Nomenclatura de los alquenos.....	2
Nomenclatura de los isómeros <i>cis-trans</i> .....	3
Nomenclatura <i>E-Z</i> .....	3
Reacciones de alquenos .....	4
Adición de haluros de hidrógeno a alquenos .....	5
Reacciones de hidratación .....	5
Hidratación por oximercuración-desmercuración.....	6
Hidroboración de alquenos.....	7
Adición de halógenos a alquenos.....	7
Formación de halohidrinas.....	8
Hidrogenación catalítica de los alquenos .....	8
Referencias .....	9

## Objetivo

Facilitar a las estudiantes de las licenciaturas en Ciencias Químico-Biológicas y áreas afines un material de apoyo sobre el tema de alquenos, que abarque el estudio de su estructura, su nomenclatura, métodos de síntesis y reactividad, a través de un recurso didáctico en forma digital que les permite una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## Introducción

Los alquenos son hidrocarburos con enlaces dobles carbono-carbono. En ocasiones se les llama olefinas, un término que se deriva de gas olefiante, que significa “gas formador de aceite”. Este término se originó cuando los primeros investigadores se dieron cuenta de la apariencia aceitosa de los derivados de alquenos. Se encuentran entre los compuestos industriales más importantes, y muchos de ellos también están en las plantas y animales. El etileno es el compuesto orgánico de mayor volumen industrial y se utiliza para fabricar polietileno y una variedad de productos químicos industriales y de consumo.

Debido a que un enlace doble carbono-carbono es relativamente reactivo, es considerado como un grupo funcional, y los alquenos se caracterizan por las reacciones de sus enlaces dobles.

Los alquenos son importantes intermediarios en la síntesis de diferentes productos orgánicos, ya que el doble enlace presente puede reaccionar fácilmente y dar lugar a otros grupos funcionales. Además, son intermediarios importantes en la síntesis de polímeros, productos farmacéuticos y otros productos químicos.

Entre los alquenos de mayor importancia industrial se encuentran el eteno y el propeno, también llamados etileno y propileno respectivamente. Ambos se utilizan para sintetizar cloruro de vinilo, polipropileno, tetrafluoroetileno.

## Alquenos: estructura

Los alquenos son hidrocarburos con enlaces dobles carbono-carbono de fórmula molecular  $C_nH_{2n}$ . Se les denomina también olefinas. El alqueno más simple es el etileno, cuya fórmula molecular es  $C_2H_4$ . El doble enlace se representa en una estructura de Lewis, mediante dos pares de electrones entre los átomos de carbono. La longitud del enlace C=C en el etileno es de 1.33 Å, mucho más corto que el enlace simple C-C del etano, que es de 1.54 Å. La longitud del enlace C-H en el etileno es de 1.08 Å, ligeramente menor que el enlace C-H en el etano que es de 1.09 Å. Los ángulos de enlace de C-CH y H-C-H son de 121.7° y 116.6° respectivamente (Figura 1).

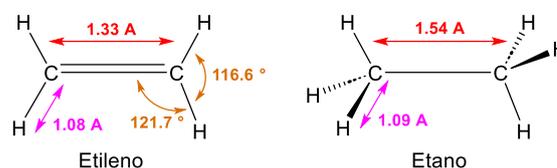


Figura 1. Estructura del etileno y etano. Fuente: elaboración propia.

En el etileno cada átomo de carbono está enlazado a otros tres átomos (un carbono y dos hidrógenos), y no hay electrones no enlazados. Se necesitan tres orbitales híbridos, lo que implica una hibridación  $sp^2$ .

Los orbitales restantes  $sp^2$  se traslapan en la región que se encuentra entre los núcleos de carbono, lo que genera un orbital de enlace. El par de electrones de este orbital de enlace forma uno de los enlaces de los átomos de carbono. Este enlace es sigma, ya que su densidad electrónica se centra a lo largo de la línea de unión de los núcleos. El enlace C=C del etileno es mucho más corto que el enlace C—C del etano (ver Figura 1), debido en parte a que el enlace sigma del etileno está formado por orbitales  $sp^2$  (con más carácter s), y en parte a que hay dos enlaces que mantienen juntos a los átomos. El segundo enlace carbono-carbono es uno de tipo pi (Figura 2).

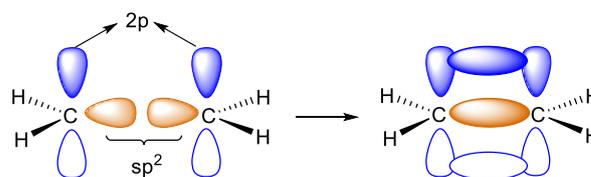


Figura 2. El enlace pi del etileno. Fuente: elaboración propia basado en (McMurry, 2018).

## Nomenclatura de los alquenos

Los alquenos se nombran utilizando una serie de reglas similares a aquellas para los alcanos, con el sufijo -eno utilizado en lugar de -ano para identificar la familia. Hay tres pasos:

**Paso 1.** Nombre al hidrocarburo principal. Encuentre la cadena de carbono más larga que contenga el enlace doble y nombre al compuesto adecuadamente, utilizando el sufijo -eno:



Nombre como un penteno, NO como un hexeno, debido a que el enlace doble no está contenido en la cadena con seis carbonos.

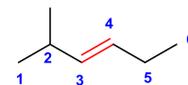
**Paso 2.** Numere los átomos de carbono en la cadena. Comience en el extremo más cercano al enlace doble o, si el enlace doble es equidistante de los dos extremos, comience en el extremo más cercano al primer punto de ramificación. Esta regla asegura que los carbonos en el enlace doble reciban los números más bajos posibles.



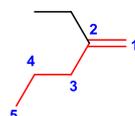
**Paso 3.** Escriba el nombre completo. Nombre los sustituyentes de acuerdo con sus posiciones en la cadena y lístelos en orden alfabético. Indique la posición del enlace doble dando el número del primer carbono del alqueno y posicione el número directamente antes que el nombre del hidrocarburo principal. Si se presenta más de un enlace doble, indique la posición de cada uno y utilice los sufijos -dieno, -trieno, y así sucesivamente.



2-hexeno



2-metil-3-hexeno

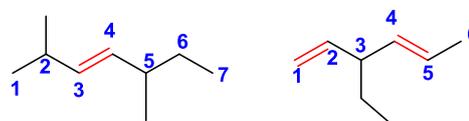


2-etil-1-penteno



2-metil-1,3-butadieno

Es importante hacer notar que la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) cambió sus recomendaciones de nomenclatura en 1993 para colocar el número que indica la posición del enlace doble inmediatamente antes del sufijo -eno en lugar de antes del nombre del hidrocarburo principal, por ejemplo, but-2-eno en lugar de 2-buteno; sin embargo, este cambio no ha sido del todo aceptado por la comunidad de químicos por lo que nos quedaremos con la nomenclatura antigua, aunque hay que tomar en cuenta que ocasionalmente podemos encontrarnos con el nuevo sistema.



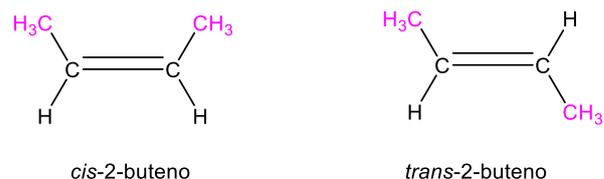
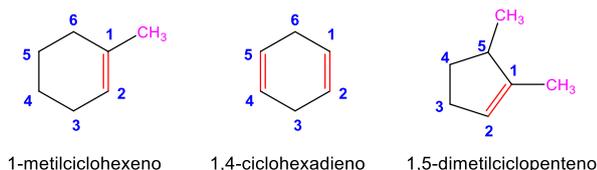
*Antiguo sistema de nomenclatura*

2,5-dimetil-3-hepteno    3-etil-1,4-hexadieno

*Nuevo sistema de nomenclatura*

2,5-dimetilhept-3-eno    3-etilhexa-1,4-dieno

Los cicloalquenos se nombran de manera similar a los alquenos de cadena abierta, pero, debido a que no hay un extremo de la cadena de dónde iniciar, numeramos a los cicloalquenos de tal forma que el enlace doble entre C1 y C2 y el primer sustituyente tenga un número lo más bajo posible. Nótese que no es necesario indicar la posición del enlace doble en el nombre porque siempre está entre C1 y C2. Al igual que con los alquenos de cadena abierta, las nuevas, pero aún no ampliamente aceptadas reglas de nomenclatura colocan los números que indican la posición del dieno inmediatamente antes del sufijo.



## Nomenclatura de los isómeros *cis-trans*

Aunque en esencia es posible la rotación libre entre los enlaces sencillos, no es verdad lo mismo en los enlaces dobles. Para que ocurra la rotación alrededor de un enlace doble debe romperse y volver a formarse el enlace  $\pi$  (Figura 3); por tanto, la barrera para la rotación de un enlace doble debe ser por lo menos tan grande como la fuerza del mismo enlace  $\pi$ , un estimado de 350 kJ/mol (84 kcal/mol). Cabe recordar que la barrera para una rotación del enlace en el etano es de sólo 12 kJ/mol.

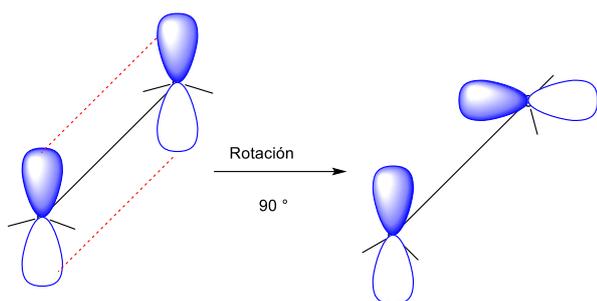


Figura 3. El enlace  $\pi$  debe romperse para que ocurra la rotación.  
Fuente: elaboración propia basada en (McMurry, 2018).

La ausencia de rotación alrededor de los enlaces dobles carbono-carbono produce algo más que solo interés teórico: también tiene consecuencias químicas. Imaginemos un alqueno disustituido como el 2-buteno. Los dos grupos metilo en el 2-buteno pueden estar en el mismo lado o en lados distintos del enlace doble. Dado que no tiene lugar la rotación del enlace, los dos 2-butenos no pueden interconvertirse espontáneamente, porque son compuestos aislados distintos.

A estos estereoisómeros se les conoce como estereoisómeros *cis-trans*, o bien isomería geométrica. El compuesto con los sustituyentes en el mismo lado del enlace doble se llama *cis*-2-buteno y el isómero con los sustituyentes en lados opuestos es *trans*-2-buteno.

No todos los alquenos pueden presentar isomería *cis-trans*. Si cualquiera de los carbonos del enlace doble tiene dos grupos idénticos, la molécula no puede tener formas *cis* y *trans*.

## Nomenclatura *E-Z*

En ciertas ocasiones la nomenclatura *cis-trans* para los isómeros geométricos nos da nombres ambiguos. Por ejemplo, los isómeros del 1-bromo-1-cloropropeno (Figura 4) no son claramente *cis* o *trans*, ya que no resulta evidente cuáles son los sustituyentes *cis* y cuáles los *trans*.



Figura 4. Isómeros del 1-bromo-1-cloropropeno. Fuente: elaboración propia basada en (Wade, 2017).

Para evitar este problema utilizamos el sistema de nomenclatura *E-Z* para los isómeros *cis-trans*, el cual fue diseñado a partir de la convención Cahn-Ingold-Prelog para los átomos de carbono asimétricos.

Asigna una configuración única, ya sea *E* o *Z*, a cualquier enlace doble capaz de presentar isomería geométrica. Para nombrar un alqueno mediante el sistema *E-Z* separe mentalmente el enlace doble en sus dos extremos, considere por separado cada extremo y utilice la convención Cahn-Ingold-Prelog para asignar la primera y segunda prioridades a los dos grupos sustituyentes de ese extremo. Haga lo mismo con el otro extremo del enlace doble. Si los átomos con las dos primeras prioridades están juntos (*cis*) del mismo lado del enlace doble, entonces tiene al isómero *Z*, de la palabra alemana *zusammen*, "junto". Si los átomos con las dos primeras prioridades se encuentran en lados opuestos (*trans*) del enlace doble, entonces tiene al isómero *E*, de la palabra alemana *entgegen*, "opuesto" (Figura 5).

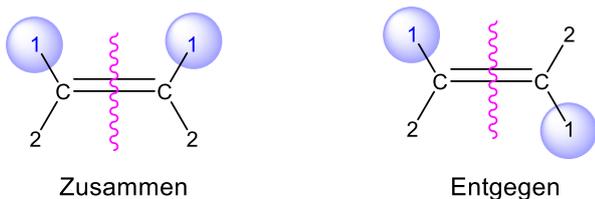
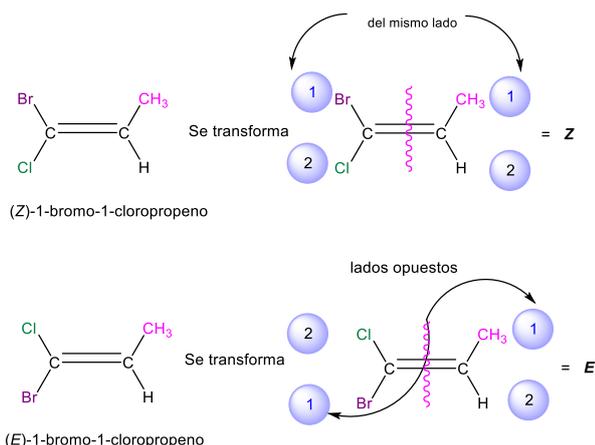


Figura 5. Isomería E/Z. Fuente: elaboración propia basado en (McMurry, 2018).

Por ejemplo.



## Reacciones de alquenos

Todos los alquenos tienen una característica común: un enlace doble carbono-carbono. Las reacciones de los alquenos ocurren por la reactividad de este enlace. Una vez más el concepto de grupo funcional es útil para organizar y simplificar el estudio de las reacciones químicas. Al estudiar las reacciones características del enlace doble podemos predecir reacciones de alquenos.

Debido a que los enlaces sencillos (sigma) son más estables que los enlaces pi, las reacciones más comunes de los enlaces dobles transforman el enlace pi en uno sigma. La hidrogenación es un ejemplo de una reacción de adición al doble enlace. Cuando un alqueno participa en una adición se agregan dos grupos a los átomos de carbono del doble enlace y los carbonos se saturan (Figura 6).

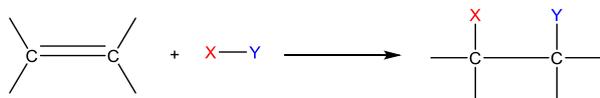


Figura 6. Reacción general de adición al doble enlace. Fuente: elaboración propia basado en (Wade, 2017).

En principio, muchos reactivos diferentes pueden adicionarse a un enlace doble para formar productos

más estables; las reacciones son muy favorables en energía, sin embargo, no todas presentan una rapidez conveniente.

Algunos reactivos reaccionan con enlaces dobles carbono-carbono sin la ayuda de un catalizador; para comprender cuáles, considere la estructura del enlace pi. Aunque los electrones del esqueleto de enlaces sigma están muy unidos, el enlace pi se deslocaliza por arriba y por abajo del enlace sigma. Los electrones enlazantes pi se extienden más allá de los núcleos de carbono y están menos unidos. Un electrófilo fuerte tiene afinidad por estos electrones poco unidos y puede atraerlos para formar un nuevo enlace (Figura 7), y dejar a uno de los átomos de carbono con sólo tres enlaces y una carga positiva: un carbocatión. En efecto, el enlace doble ha reaccionado como un nucleófilo, donando un par de electrones al electrófilo.

La mayoría de las reacciones de adición involucran un segundo paso en el que un nucleófilo ataca al carbocatión para formar un producto estable de adición, en el cual, tanto el electrófilo como el nucleófilo están enlazados a los átomos de carbono que estaban conectados por el enlace doble. En el mecanismo aparece dibujada esta reacción, con el electrófilo marcado como E<sup>+</sup> y el nucleófilo como Nuc<sup>-</sup>; este tipo de reacción necesita un electrófilo fuerte que atraiga los electrones del enlace pi y genere un carbocatión en el paso limitante de la rapidez. La mayoría de las reacciones de alquenos caen dentro de esta gran clase de adiciones electrofílicas a alquenos.

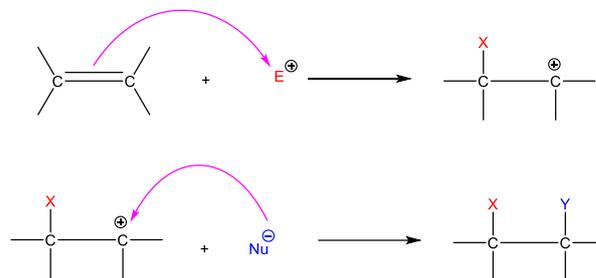
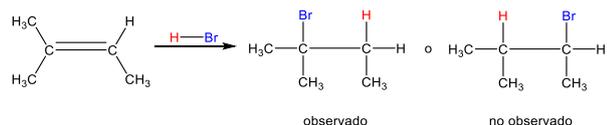


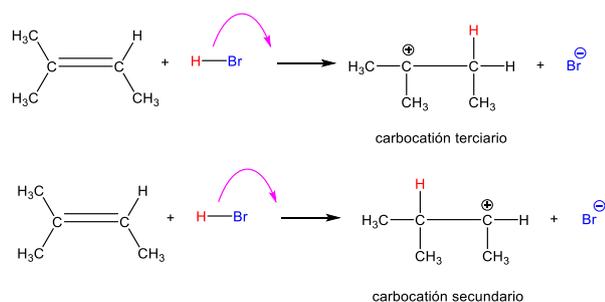
Figura 7. Adición electrofílica a alquenos. Fuente: elaboración propia basado en (Wade, 2017).

## Adición de haluros de hidrógeno a alquenos

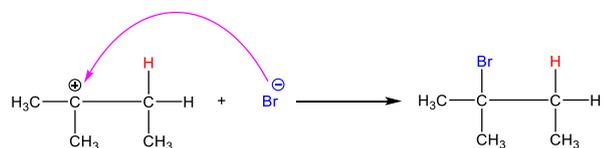
Cuando un alqueno se trata con HBr se obtiene un bromoalcano. Esta reacción es un claro ejemplo del proceso general de adición electrofílica al doble enlace. El protón del HBr es el electrófilo del proceso y el ion bromuro ( $\text{Br}^-$ ) es el nucleófilo. El mecanismo específico para la adición al 2-metil-2-buteno sería:



El primer paso es la protonación del enlace doble. Si el protón se adiciona al carbono secundario, el producto es diferente al que se forma si el protón se adiciona al carbono terciario.



Cuando el protón se adiciona al carbono secundario, el resultado es un carbocatión terciario. Si el protón se adiciona al átomo de carbono terciario, el resultado es un carbocatión secundario. El carbocatión terciario es más estable, por lo que se favorece la primera reacción. La segunda mitad del mecanismo genera el producto final de la adición del HBr al 2-metil-2-buteno.



Es importante observar que la protonación de un átomo de carbono de un enlace doble genera un carbocatión en el átomo de carbono que no fue protonado. Por lo tanto, el protón se adiciona al extremo del enlace doble que esté menos sustituido, para generar el carbocatión más sustituido (el más estable).

Existen muchos ejemplos de reacciones en las que el protón se adiciona al átomo de carbono menos sustituido del enlace doble para producir el carbocatión más sustituido. Se dice que la adición de HBr (y otros haluros de hidrógeno) es regioselectiva porque, en cada caso, una de las dos orientaciones de adición posibles resulta preferentemente sobre la otra. En 1869, el químico ruso Vladimir Markovnikov demostró por primera vez la orientación de adición del HBr a los alquenos. Markovnikov estableció:

**REGLA DE MARKOVNIKOV:** la adición de un protón ácido al enlace doble de un alqueno da como resultado un producto con el protón ácido enlazado al átomo de carbono que ya tiene el mayor número de átomos de hidrógeno.

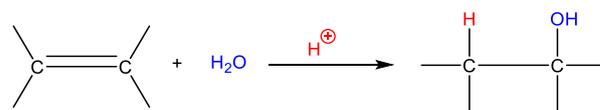
Esta es la versión original de la regla de Markovnikov. Se dice que las reacciones que siguen la orientación Markovnikov generan el producto Markovnikov.

Con frecuencia nos interesa la adición de electrófilos distintos a los protones ácidos, a los enlaces dobles de los alquenos. La regla de Markovnikov puede ampliarse para otras adiciones, de acuerdo con la adición del electrófilo, de tal forma que se produzca el carbocatión más estable.

**REGLA DE MARKOVNIKOV (ampliada):** en una adición electrofílica a un alqueno, el electrófilo se adiciona de tal forma que se genere el intermediario más estable.

## Reacciones de hidratación

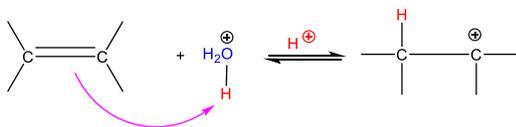
Cuando un alqueno reacciona con agua en presencia de un catalizador fuertemente ácido se obtiene un alcohol. A este proceso se le denomina reacción de hidratación de alquenos porque formalmente se agregan los elementos del agua (un átomo de hidrógeno H y un grupo hidroxilo OH) al doble enlace.



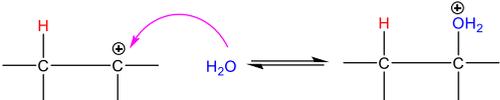
En las reacciones de hidratación de alquenos se emplean ácidos fuertes no nucleofílicos, como el

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. La reacción es un equilibrio y para aumentar la producción del alcohol (desplazamiento del equilibrio hacia los productos) se agrega un exceso de agua. El mecanismo de la reacción consta de tres pasos:

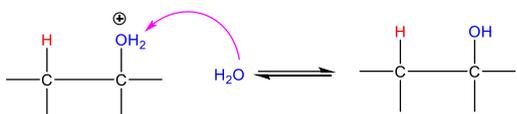
1) Protonación del doble enlace



2) Ataque nucleofílico del H<sub>2</sub>O al carbocatión

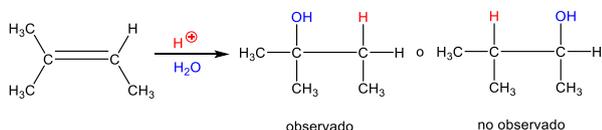


3) Pérdida de protón



En el paso 1 se produce la protonación del doble enlace, esta etapa es idéntica a la primera de la adición de HBr. En el paso 2 el agua ataca al carbocatión. El agua es el disolvente de la reacción y por tanto es la especie que tiene más probabilidad de colisionar con el carbocatión. En el paso 3 se produce la transferencia de protón desde el alcohol protonado a una molécula de agua, regenerándose el catalizador que se ha consumido en el primer paso.

Las reacciones de hidratación de alquenos catalizadas por ácidos también siguen la regla de Markovnikov:

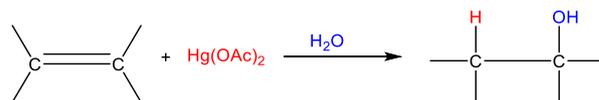


Muchos alquenos no se hidratan fácilmente en ácidos acuosos diluidos debido a que son poco solubles en el medio de reacción. En otros casos el equilibrio favorece al alqueno en vez del alcohol. Para favorecer el proceso de hidratación con orientación Markovnikov se pueden emplear dos métodos eficientes:

## Hidratación por oximercuración-desmercuración

La oximercuración-desmercuración es otro método para convertir alquenos en alcoholes con orientación Markovnikov. La oximercuración-desmercuración funciona con muchos alquenos que no experimentan fácilmente una hidratación directa, y ocurre bajo condiciones más suaves.

La reacción consta de un primer paso de oximercuración y un segundo de desmercuración reductiva 1<sup>o</sup>. El paso de oximercuración se lleva a cabo tratando el alqueno con Hg(OCOCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (acetato de mercurio Hg(OAc)<sub>2</sub> en un disolvente orgánico que contiene agua.



Existen varias teorías sobre cómo actúa este reactivo como un electrófilo; la más simple es que el acetato mercurio se disocia ligeramente para formar una especie de mercurio con carga positiva, <sup>+</sup>Hg(OAc).



El mecanismo de la oximercuración ejemplificada con el 2-metil-2-buteno (Figura 8) involucra un ataque electrofílico de la especie de mercurio con carga positiva sobre el enlace doble. El producto es un ion mercurinio, un catión organometálico que contiene un anillo de tres miembros. En el segundo paso, el agua del disolvente ataca al ion mercurinio para generar, después de la desprotonación, un alcohol organomercurial. Una reacción posterior es la desmercuración, para eliminar el mercurio. El borohidruro de sodio (NaBH<sub>4</sub>, un agente reductor) sustituye al fragmento de acetato mercurio con un átomo de hidrógeno.

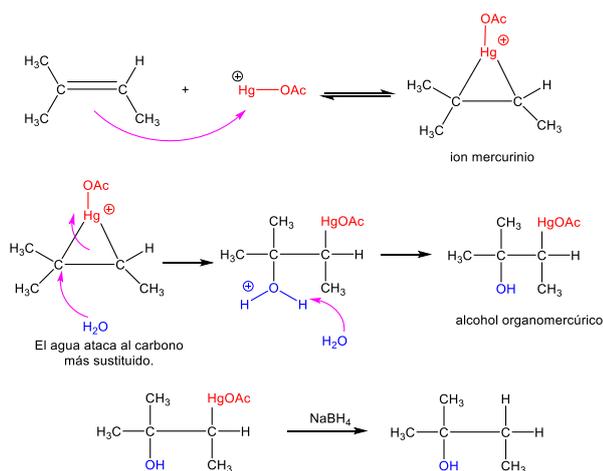


Figura 8. Mecanismo de la oximercuración-desmercuración. Fuente: elaboración propia basado en (Wade, 2017).

La oximercuración-desmercuración de un alqueno asimétrico por lo general produce la orientación Markovnikov de una adición, como muestra la oximercuración del 2-metil-2-buteno del ejemplo anterior. El ion mercurinio tiene una cantidad considerable de carga positiva en sus dos átomos de carbono, pero hay más carga positiva sobre el átomo de carbono más sustituido, donde es más estable. El ataque del agua ocurre sobre este carbono más electrofílico, y se produce la orientación Markovnikov. El electrófilo  $^+\text{Hg}(\text{OAc})$  permanece enlazado al extremo menos sustituido del enlace doble.

## Hidroboración de alquenos

H. C. Brown descubrió que el diborano ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) se adiciona a alquenos con orientación anti-Markovnikov para formar alquiboranos, mismos que se oxidan para formar alcoholes con la misma orientación.

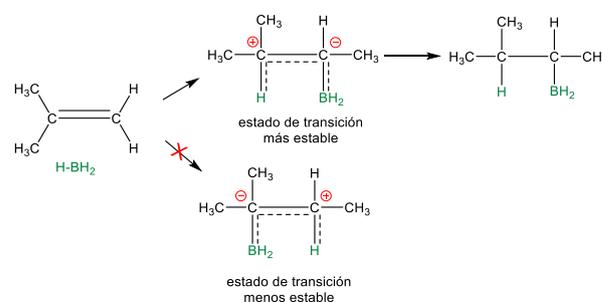
El reactivo  $\text{BH}_3 \cdot \text{TfH}$  es la forma en que se utiliza al borano en reacciones orgánicas.

El  $\text{BH}_3$  se adiciona al enlace doble de un alqueno para formar un alquiborano. El peróxido de hidrógeno en medio básico oxida al alquiborano para formar un alcohol. La hidroboración-oxidación convierte alquenos en alcoholes mediante la adición de agua a través del enlace doble, con orientación anti-Markovnikov.

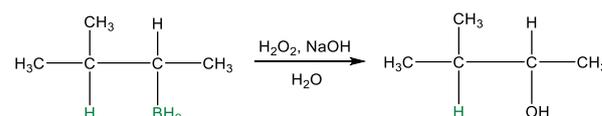
El mecanismo de la hidroboración es el siguiente:

Como un compuesto deficiente en densidad electrónica, el  $\text{BH}_3$  es un electrófilo fuerte, capaz de adicionarse a un enlace doble. El borano se adiciona al enlace doble en un solo paso.

En el estado de transición, el átomo de boro electrofílico extrae electrones del enlace pi, y el carbono en el otro extremo del enlace doble adquiere una carga parcial positiva. Esta carga parcial es más estable sobre el átomo de carbono más sustituido. El producto muestra al boro enlazado al extremo menos sustituido del enlace doble, y al hidrógeno enlazado al más sustituido. Además, el impedimento estérico favorece la adición del boro al extremo menos impedido, menos sustituido, del enlace doble.



El átomo de boro es removido mediante la oxidación, utilizando hidróxido de sodio acuoso y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) para sustituir al átomo de boro por un grupo hidroxilo ( $^-\text{OH}$ ).



La reacción de hidroboración-oxidación tiene una orientación anti-Markovnikov dado que el alcohol da lugar al átomo de carbono menos sustituido del enlace doble.

## Adición de halógenos a alquenos

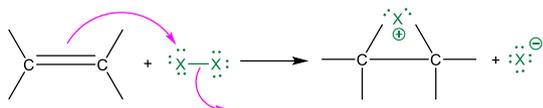
Todos los átomos de un ion halonio tienen octetos completos. Este ion contiene un anillo de tres miembros con una carga positiva sobre el átomo del halógeno ( $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{Cl}$ ).

El anillo de tres miembros tiene una considerable tensión, la cual, combinada con una carga positiva sobre el átomo electronegativo del halógeno, hace al

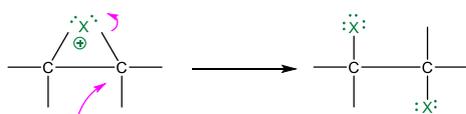
ion halonio muy electrofílico. El ataque de un nucleófilo, como un ion haluro, abre al ion halonio para formar un producto estable.

Esta reacción se fundamenta mediante los siguientes pasos:

Paso 1: el ataque electrofílico forma un ion halonio

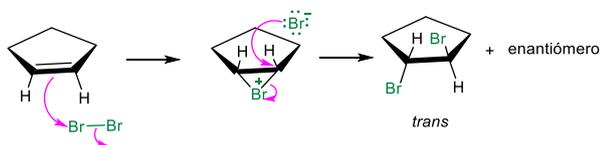


Paso 2: el ion haluro abre el ion halonio



El  $X^-$  ataca desde la parte posterior

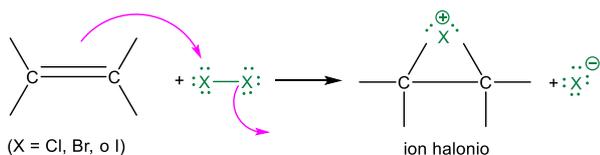
Del mecanismo del ion bromonio resulta una estereoquímica anti. Cuando un nucleófilo ataca a un ion halonio, debe hacerlo desde la parte posterior, de modo similar al desplazamiento  $S_N2$ . Este ataque por la parte posterior garantiza la estereoquímica anti de la adición.



## Formación de halohidrinás

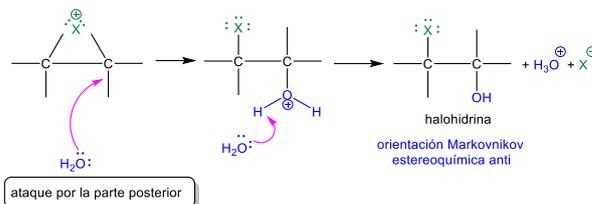
En presencia de agua, los halógenos se adicionan a alquenos para formar halohidrinás, definidas como un alcohol con un halógeno en el átomo de carbonon adyacente.

En el primer paso del mecanismo, el ataque electrofílico forma un ion halonio, el cual tiene propiedades electrofílicas.

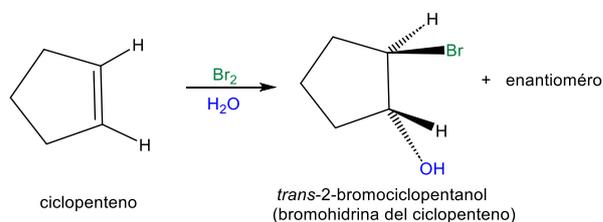


El segundo paso en la apertura del ion halonio se produce cuando, debido al agua, la desprotonación genera la halohidrina. El producto puede ser una

clorohidrina, una bromohidrina o una yodohidrina, de acuerdo con el halógeno.

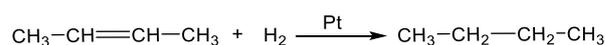


Cuando un alqueno reacciona con un halógeno en presencia de un disolvente nucleofílico como el agua, una molécula de disolvente es el nucleófilo más probable para atacar al ion halonio. Debido a que el mecanismo involucra un ion halonio, la estereoquímica de la adición es anti, como en la halogenación.



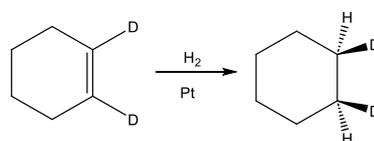
## Hidrogenación catalítica de los alquenos

La hidrogenación de un alqueno es una reducción, en donde se adiciona  $H_2$  al doble enlace para formar un alcano y requiere un catalizador que contenga Pt, Pd o Ni.



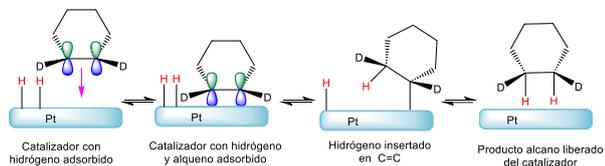
El alqueno se disuelve en un alcohol, un alcano o ácido acético y se adiciona una pequeña cantidad de catalizador. El hidrógeno gaseoso se adsorbe sobre la superficie del catalizador metálico, mismo que debilita el enlace H-H. La hidrogenación representa una catálisis heterogénea.

Como los dos átomos de hidrógeno se adicionan desde una superficie sólida, presentan una estereoquímica *sin*.



Reacción del 1,2-dideuteriociclohexeno

En la reacción anterior, una cara del enlace pi del alqueno se une al catalizador, el cual tiene hidrógeno adsorbido sobre su superficie. El hidrógeno se adiciona al enlace pi, liberando el producto del catalizador.



Estereoquímica *sin* en la hidrogenación catalítica. Un catalizador sólido heterogéneo adiciona dos átomos de hidrógeno a la misma cara del enlace pi (estereoquímica *sin*).

## Referencias

Carey, F.A y Giuliano, R.M. (2014). *Química Orgánica*. México: McGraw-Hill.

McMurry, J. (2018). *Química Orgánica*. México: Cengage Learning.

Wade, L.G. (2017). *Química Orgánica Vol. 1*. México: Pearson, México.

Morrison, R. T. y Boyd, R. N. (1998). *Química Orgánica*. México: Pearson Educación.

Smith, M.B. (2013). *March's Advanced Organic Chemistry. Reactions, Mechanisms and Structure*. New Jersey: John Wiley and Sons.