

SESIÓN 12 — Hidrogenación, halogenación e hidratación de alquenos

Química III · U1 RAP1 — Mecanismos y reacciones orgánicas (20 sesiones de 1h)

Generado por PDF Project

Datos de la sesión

- Unidad Didáctica 1: Reacciones químicas de compuestos orgánicos
- RAP 1: Explica las reacciones químicas de los hidrocarburos a partir de su estructura
- Duración: 1 hora
- Tema: Las tres adiciones fundamentales al doble enlace

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar la sesión, el estudiante será capaz de:

- Escribir y balancear las ecuaciones de hidrogenación, halogenación e hidratación de alquenos.
- Identificar las condiciones de reacción y el catalizador requerido en cada caso.
- Explicar el mecanismo del ion halonio en la halogenación y su consecuencia estereoquímica.
- Usar la decoloración del agua de bromo como prueba de identificación de insaturaciones.
- Relacionar la hidrogenación con la industria alimentaria y las grasas trans.

Recurso de aula

Lleve una etiqueta de margarina y una de aceite vegetal. Pida al grupo que localice la frase "aceites parcialmente hidrogenados". Esa etiqueta conecta la reacción del pizarrón con el refrigerador de su casa y sostiene el interés durante toda la hora.

Activación de conocimientos previos (7 minutos)

Recupere de la sesión anterior:

- El enlace pi es la zona reactiva del alqueno y actúa como nucleófilo.
- La adición electrofílica ocurre en dos pasos vía carbocatión.
- La regla de Markovnikov orienta la adición de reactivos asimétricos.

Pregunta puente: si el reactivo es simétrico, como H_2 o Br_2 , ¿aplica Markovnikov? No: la regla solo tiene sentido cuando los dos fragmentos que se adicionan son distintos.

Desarrollo (36 minutos)

Hidrogenación catalítica

1

Consiste en la adición de una molécula de hidrógeno al doble enlace para dar el alcano correspondiente. No ocurre de manera espontánea: requiere un catalizador metálico finamente dividido (platino, paladio o níquel) y, en el caso del níquel, presión y temperatura elevadas. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{(\text{Pt})} \text{CH}_3-\text{CH}_3$ $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{(\text{Ni}, \text{calor}, \text{presión})} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ El mecanismo es de superficie: tanto el H_2 como el alqueno se adsorben sobre el metal, el enlace H-H se debilita y los dos hidrógenos se transfieren por la misma cara de la molécula. Por eso la hidrogenación es una adición sin (los dos hidrógenos entran del mismo lado). Es una reacción exotérmica. El calor liberado, llamado calor de hidrogenación, ronda los 120 kJ por mol de doble enlace y sirve para comparar la estabilidad de alquenos isómeros: mientras menor sea el calor liberado, más estable era el alqueno de partida.

Halogenación

2

La adición de Cl_2 o Br_2 al doble enlace produce un dihalogenuro vecinal, es decir, con los dos halógenos en carbonos contiguos. Ocurre a temperatura ambiente, en la oscuridad y en un disolvente inerte como el tetracloruro de carbono o el diclorometano. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$ El producto es el 1,2-dibromoetano. $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CHCl}-\text{CH}_2\text{Cl}$ El producto es el 1,2-dicloropropano.

Contraste importante: el alcano necesita luz UV y da sustitución con desprendimiento de HX; el alqueno reacciona en la oscuridad y da adición sin subproductos. Esta diferencia es la base de la prueba de identificación.

El ion halonio

3

El mecanismo de la halogenación no pasa por un carbocatión abierto. Al acercarse la molécula de Br_2 al doble enlace, la nube pi la polariza: el bromo más cercano adquiere carga parcial positiva. Ese bromo se une simultáneamente a los dos carbonos formando un anillo de tres miembros cargado positivamente, llamado ion bromonio cíclico. Después el ion bromuro ataca por el lado opuesto al anillo (ataque dorsal), lo abre y se obtiene el producto con los dos bromos en caras contrarias: es una adición anti. Paso 1: $\text{C}=\text{C} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{ion bromonio cíclico} + \text{Br}^-$ Paso 2: $\text{ion bromonio} + \text{Br}^- \rightarrow \text{dibromuro vecinal (anti)}$ Esta estereoquímica es la evidencia experimental de que el intermediario es cíclico y no un carbocatión libre, que permitiría el ataque por ambas caras.

Prueba del agua de bromo

TEST

Al agregar unas gotas de agua de bromo, de color rojo pardo, a un alqueno, el color desaparece de inmediato porque el bromo se consume al adicionarse al doble enlace. Con un alcano, el color persiste. Es una prueba rápida, visual y muy usada en el laboratorio escolar para detectar insaturaciones. Si el disolvente es agua, además del dibromuro puede formarse una bromohidrina, con Br y OH en carbonos vecinos, porque el agua compite como nucleófilo.

Hidratación en medio ácido

4

El agua sola no reacciona con los alquenos: la molécula de agua no es lo bastante electrofílica. Se requiere un ácido fuerte como catalizador, típicamente H_2SO_4 diluido o H_3PO_4 . El producto es un alcohol y la orientación sigue la regla de Markovnikov.

$$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH} \quad \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{(\text{H}^+)} \text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_3$$

En el segundo caso el producto mayoritario es el 2-propanol (alcohol secundario), no el 1-propanol. Mecanismo en tres pasos: 1. El doble enlace se protona y se forma el carbocatión más estable. 2. Una molécula de agua ataca el carbocatión y da un alcohol protonado. 3. Otra molécula de agua retira el protón y regenera el catalizador ácido. Observe que el H^+ se consume en el paso 1 y se recupera en el paso 3: por eso es catalizador y no reactivo.

Tres reacciones del 2-buteno

Tip aplicado: escriba primero la estructura desarrollada

Enunciado: Escriba las ecuaciones balanceadas y nombre los productos de la reacción del 2-buteno con: a) H_2 y níquel, b) Br_2 en CCl_4 , c) H_2O en medio ácido. Resolución: La estructura del 2-buteno es $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$. Es un alqueno simétrico respecto al doble enlace: ambos carbonos sp^2 tienen un hidrógeno cada uno. a) Hidrogenación: $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \xrightarrow{(\text{Ni})} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ Producto: butano. Ecuación condensada: $\text{C}_4\text{H}_8 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$ b) Halogenación: $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CHBr}-\text{CHBr}-\text{CH}_3$ Producto: 2,3-dibromobutano. Ecuación condensada: $\text{C}_4\text{H}_8 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2$ c) Hidratación: $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{(\text{H}^+)} \text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ Producto: 2-butanol. Como el alqueno es simétrico, ambas orientaciones dan el mismo compuesto y la regla de Markovnikov no genera ambigüedad. Ecuación condensada: $\text{C}_4\text{H}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$

Enfoque CTSA

La hidrogenación de aceites vegetales convierte grasas insaturadas líquidas en grasas sólidas o semisólidas: así se fabrican la margarina y las mantecas vegetales. El problema es que cuando la hidrogenación es parcial, el catalizador isomeriza algunos dobles enlaces de configuración cis a trans, generando ácidos grasos trans.

La evidencia científica acumulada asocia el consumo de grasas trans industriales con el aumento del colesterol LDL, la disminución del HDL y un mayor riesgo cardiovascular. Por esa razón la Organización Mundial de la Salud impulsó su eliminación, y en México la NOM-051 obliga al etiquetado frontal de advertencia en alimentos con exceso de grasas trans.

Reflexión para el grupo: una reacción química útil para conservar y abaratar alimentos generó, como efecto no previsto, un problema de salud pública. ¿Quién debe evaluar estos riesgos antes de que un proceso se masifique?

Cierre y resumen (10 minutos)

Pida a los estudiantes que elaboren en su cuaderno un mapa con el doble enlace al centro y tres flechas, una por reacción, indicando reactivo, catalizador y tipo de producto. Cierre con:

- Hidrogenación: H_2 con Pt, Pd o Ni; da alcanos; es adición sin y exotérmica.
- Halogenación: X_2 en la oscuridad; da dihalogenuros vecinales; pasa por el ion halonio y es adición anti.
- Hidratación: H_2O con H^+ ; da alcoholes; sigue Markovnikov.
- La decoloración del agua de bromo identifica insaturaciones.
- Toda tecnología química exige evaluar sus consecuencias sociales y sanitarias.

Tarea sugerida: buscar en tres productos del supermercado la mención de aceites hidrogenados y anotar su contenido de grasas trans por porción.