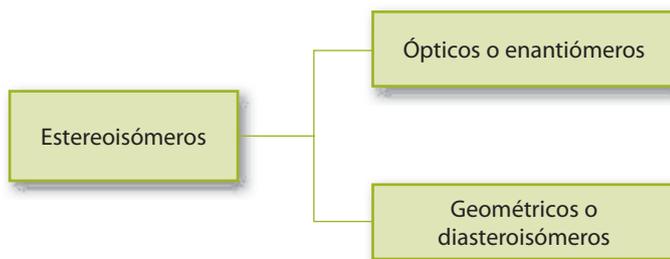


## b. Estereoisómeros

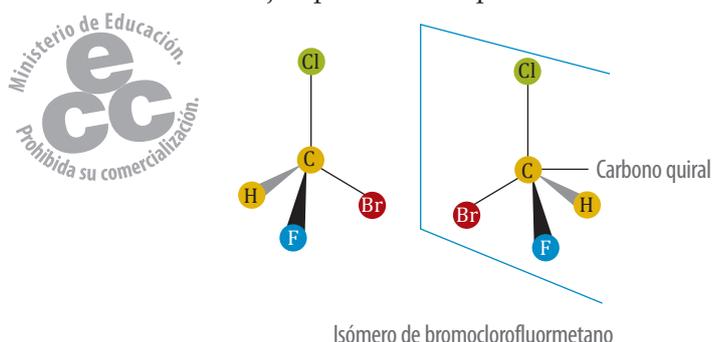
Son compuestos que presentan fórmulas moleculares iguales, pero disposiciones espaciales distintas, lo que puede observarse a través de su fórmula desarrollada en el espacio. En este modelo de isomería se pueden distinguir:



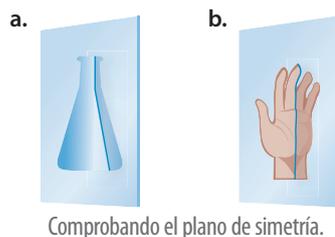
### b.1 Estereoisómero óptico o enantiómero

Se denomina **enantiómeros** a las moléculas que guardan entre sí una relación objeto-imagen especular, pero que no son superponibles el objeto y su imagen. Así, cuando los átomos o grupos de átomos que se unen al carbono son todos diferentes, se dice que es un **carbono quiral**.

El término quiral deriva de la palabra griega *cheir*, que significa “mano”. La quiralidad hace referencia a la mano izquierda y a la mano derecha de una persona, que son imágenes reflejadas en un espejo una de otra (imagen especular), pero que no pueden superponerse, es decir, son diferentes. **¿Recuerdas las preguntas iniciales?, ¿qué puedes decir al respecto ahora con tus nuevos conocimientos?** La figura presentada a continuación es un ejemplo de este tipo de isómero.



**¿Cómo se puede determinar si una molécula es quiral o no?** Una molécula no es quiral si contiene un **plano de simetría**. Por ejemplo, un matraz Erlenmeyer tiene un plano de simetría, es decir, si se corta en forma vertical, una sería la imagen especular de la otra. Sin embargo, una mano no tiene plano de simetría, una mitad no es la imagen especular de la otra como se señala en la figura.



## SABÍAS QUE

La diferencia de olor entre las naranjas y los limones se debe a la conducta bioquímica de los enantiómeros del limoneno. Por ejemplo, (–)- limoneno es una sustancia con aroma limón, mientras que el (+)- limoneno es una sustancia con aroma a naranja.



## MÁS DE QUÍMICA



Jean Baptiste Biot  
(1774-1862)

Fue quien descubrió las propiedades ópticas únicas de la mica y del mineral basado en la mica denominado biotita. El nombre del mineral se puso en su honor. A comienzos del siglo XIX estudió la polarización de la luz cuando pasa a través de disoluciones químicas. En 1804 elaboró un globo y ascendió con Joseph Gay-Lussac a una altura de cinco kilómetros, en lo que serían las primeras investigaciones sobre la atmósfera terrestre.

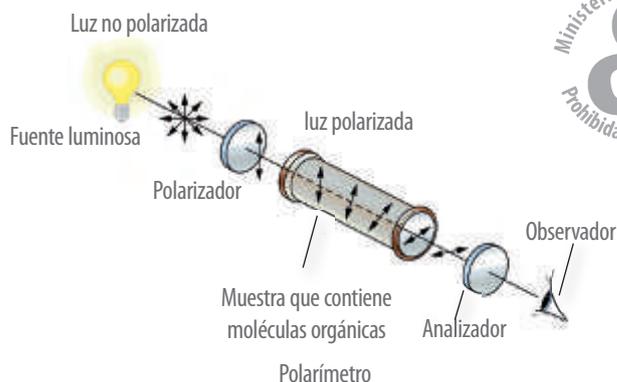




Jean Baptiste Biot

## ¿Quién se encargó del estudio de la estereoquímica? ¿Cómo lo realizó?

Me encargue de estudiar la naturaleza de la luz polarizada en un plano, **¿saben cómo está formada la luz?** La luz está formada por ondas electromagnéticas que oscilan en una cantidad infinitas de planos y sus direcciones forman ángulos rectos con la dirección de propagación de la luz. Sin embargo al utilizar un instrumento llamado **polarizador**, como el mostrado a continuación:



El comportamiento de un haz de luz era distinto. Solo lo atravesaban las ondas luminosas que oscilaban en un plano, de ahí el nombre de luz polarizada en un plano, **¿entienden?** En cambio las ondas luminosas en los demás planos eran detenidas.

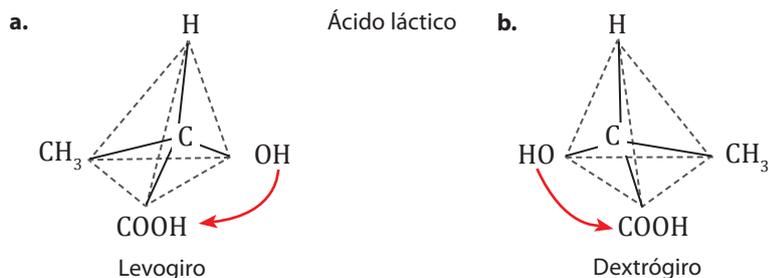
Esto me hizo pensar **¿Qué pasaría si hago pasar luz polarizada en una solución orgánica?** Mis resultados fueron:

Cuando un haz de luz polarizada en un plano atraviesa una solución de ciertas moléculas orgánicas, como azúcar y el alcanfor, el plano de polarización **gira**. Deduje también que no todas las sustancias orgánicas tienen esta propiedad, pero las que la presentan se recibirán el nombre de sustancias **ópticamente activas**.

**¿Qué te pareció mi trabajo?** Te invito ampliar estos conocimientos, utilizando el libro Química orgánica John Mc Murry, el cual puedes encontrar en internet

El polarizador además de determinar el grado de rotación, también se puede conocer la dirección cuando una molécula ópticamente activa hace girar la luz polarizada.

Los enantiómeros se denominan también **isómeros ópticos** debido a que al ser sometidos a luz polarizada en un plano, girarán a la derecha o **dextrógiro (+)** y otro girará a la izquierda o **levógiro (-)**. Un ejemplo es el comportamiento del ácido láctico, expuesto a la luz polarizada, como se observa en la siguiente figura.



Isómeros ópticos del ácido láctico **a.** Fermentación del azúcar y **b.** Fermentación láctica del músculo.



## b.2 Designación de la configuración: sistema R y S

El tipo de estereoisomería más interesante es el que da lugar a la actividad óptica. A principios de siglo XIX, Biot señaló que algunas sustancias orgánicas de origen natural poseían la propiedad de girar el plano de la luz polarizada. Este fenómeno consiguió explicarse cuando los químicos comenzaron a considerar la disposición tridimensional de las moléculas en el espacio y la configuración tetraédrica del átomo de carbono. Las propiedades geométricas de un carbono con hibridación  $sp^3$  hacen que, en el caso de que esté unido a cuatro átomos o grupos de átomos diferentes, la molécula no tenga plano de simetría y que existan dos maneras diferentes de ordenar a los cuatro átomos o grupos de átomos. **¿Qué pasaría con el plano de luz polarizada, si las moléculas no presentaran configuración tetraédrica?**

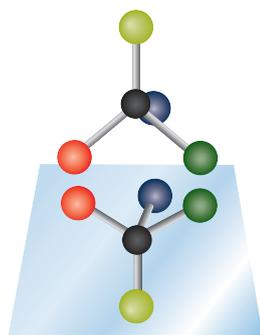
Estas dos ordenaciones o configuraciones generan dos formas isoméricas denominadas **enantiómeros**, que son imágenes especulares entre sí, pero que no son superponibles, como lo recordarás.

Cuando esto ocurre se dice que la molécula es quiral y ópticamente activa, puesto que es capaz de desviar el plano de la luz polarizada. Dos enantiómeros desvían el plano de la luz polarizada en la misma magnitud, pero en sentidos opuestos.

Al carbono con hibridación  $sp^3$  que está unido a cuatro átomos o grupos de átomos diferentes se le denomina **estereocentro** o **centro estereogénico**.

En la siguiente figura se dibuja un compuesto de carbono con hibridación  $sp^3$  unido a cuatro grupos diferentes, representados por cuatro colores distintos. El reflejo de esta estructura genera su enantiómero:

Carbono  $sp^3$  y su imagen especular



Carbono  $sp^3$



La quiralidad no es una propiedad exclusiva de las moléculas orgánicas que contienen estereocentros. En la vida diaria se pueden encontrar objetos quirales, y por tanto no superponibles con su imagen especular, como la mano derecha y la mano izquierda, el pie derecho y el izquierdo, el zapato derecho y el izquierdo, etc.

### ¿Pero cómo nombrar a estas moléculas orgánicas?

El sistema más aceptado para denominar la configuración de un centro estereogénico es la convención de **Cahn, Ingold** y **Prelog**, que asigna una letra **R** o **S** a cada centro estereogénico de una molécula quiral.



Las reglas que hay que seguir para asignar una configuración *R* o *S* son las siguientes:

### Paso 1: Clasificación de los sustituyentes por prioridad

El primer paso involucra la clasificación de diversos átomos o grupos de átomos en orden de prioridad. Si examinamos los cuatro átomos fijos directamente al centro de quiralidad y asignamos las prioridades en orden creciente del número atómico, tendremos que a mayor número atómico, mayor es la prioridad. Esto proporciona el siguiente orden de prioridad decreciente:

I, Br, Cl, S, P, F, O, N, C, H, par electrónico no compartido

Mayor prioridad

Menor prioridad



### Paso 2: Clasificación por prioridad de grupos de átomos

Si no es posible jerarquizar mediante la regla 1, se comparan los números atómicos de los segundos átomos de cada sustituyente y se continúa con el tercero o cuarto átomo hasta llegar a la primera diferencia. Por ejemplo:

Comparemos el etil ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ) con la molécula de clorometano ( $\text{CH}_3-\text{Cl}$ ). Ambos poseen carbono y por lo tanto son idénticos, de manera que regresamos a los átomos de ( $-\text{Cl}$ ) y ( $-\text{CH}_3$ ). El cloro en el ( $\text{CH}_3-\text{Cl}$ ) tiene un número atómico mayor que el carbono en el ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ), por lo que presenta mayor prioridad el ( $\text{CH}_3-\text{Cl}$ ).

Un número atómico mayor siempre toma la delantera al determinar la prioridad, aun cuando pueden unirse números diferentes de sustituyentes.

### Paso 3: Designación *R* y *S* con base en las prioridades

La estructura tridimensional de la molécula se debe visualizar de manera que el grupo de mínima prioridad esté lo más lejos posible de la vista del observador. Entonces, se observa el orden de los átomos o grupo de átomos restantes dirigidos hacia nosotros, y se designa la configuración con base en las prioridades relativas de estos átomos o grupo de átomos.

La configuración *R* existe cuando la secuencia de los otros tres grupos (en orden decreciente de prioridad) es vista como si estuviera en el **sentido de las manecillas del reloj** (derecha); la letra *R* se refiere a la palabra latina *rectus* que significa derecha.

La configuración *S* existe cuando la secuencia obtenida es considerada como de **sentido contrario a las manecillas del reloj** (izquierda). La letra *S* se refiere a la palabra latina *sinister* que significa izquierda.

Ahora revisaremos un ejemplo propuesto para ilustrar en qué forma se aplica esta designación.

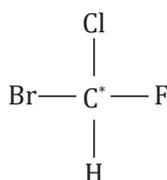
## EJERCICIO RESUELTO

Lee y analiza el siguiente ejemplo:

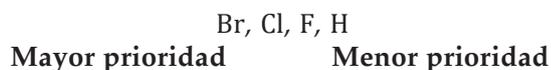
¿Cuál es la designación *R* y *S* para los enantiómeros del bromoclorofluorometano



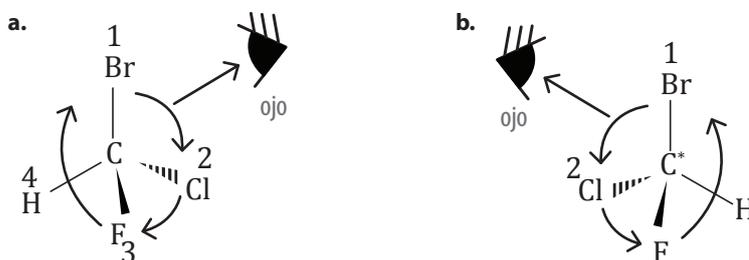
**Paso 1.** Lo primero que se debe realizar es escribir la fórmula desarrollada de dicho compuesto.



**Paso 2.** Usando los números de prioridad para los átomos, obtenemos la siguiente secuencia:



Construimos los enantiómeros con el átomo de mínima prioridad, el hidrógeno, tan lejos de nuestra vista como sea posible.



Enantiómeros del bromoclorofluorometano.

**Paso 3.** Las designaciones *R* y *S* para los enantiómeros del bromoclorofluorometano serían:

*R*- bromoclorofluorometano

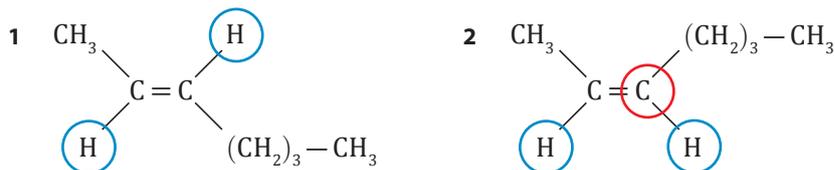
Rotación en sentido del reloj al ir de la prioridad máxima a mínima, configuración *R*.

*S*- bromoclorofluorometano

Rotación en sentido contrario al de las manecillas del reloj al ir de la prioridad máxima a mínima, configuración *S*.

### b.3 Estereoisómero geométrico o diastereoisómero

Se denomina así a los estereoisómeros con doble enlace que, entre sí, no guardan relación objeto–imagen, presentando diferencias solo en la disposición de sus átomos en el espacio. Por ejemplo, observa las siguientes moléculas:



## SABÍAS QUE

Las moléculas de la retina responden a la luz se conocen como rodopsina y sus componentes son 11-cisteína 8molécula fotosensible) y opsina 8molécula proteica).

Si el 11-cis retinal recibe un fotón en la región visible, este se isomeriza a retinal cuyos dobles enlaces son todos trans, debido a la ruptura del enlace pi carbono-carbono y el enlace sigma carbono-carbono restante es libre para girar y transformarse en el retinal, generándose en este punto un impulso eléctrico el que se transmite al cerebro formando una imagen visual.

Isómero con enlace trans



↓ LUZ

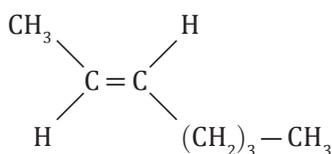
Isómero con enlace 11-cis



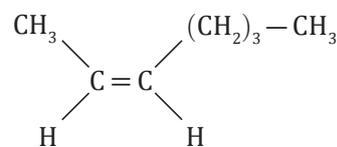
Chang, R. (2007). Química. (página 1014) (9ª ed.). México: Mc. Graw Hill/Interamericana.

Si ambas moléculas obedecen a la fórmula ( $C_7H_{14}$ ) y corresponden al 2-hepteno, ¿qué se podría hacer espacialmente para que sean idénticas? ¿Se podría girar el carbono encerrado en el círculo rojo para que sean iguales? Puede parecer esta una medida apropiada, pero la rotación alrededor del doble enlace es restringida, dando origen a los isómeros geométricos.

Cuando los grupos iguales (átomos de H en este ejemplo) están en partes opuestas de los átomos de C unidos por el doble enlace, el isómero se denomina **trans**, y cuando los grupos están en la misma zona espacial, se llama **cis**. Aplicando esta denominación al ejemplo anterior, se obtiene:



Trans-2-hepteno



Cis-2-hepteno

Existen compuestos que tienen más de un doble enlace en su estructura. Este hecho provoca que el compuesto presente estructuras combinadas cis-trans, cis-cis, trans-trans. Analiza atentamente el siguiente ejemplo resuelto:

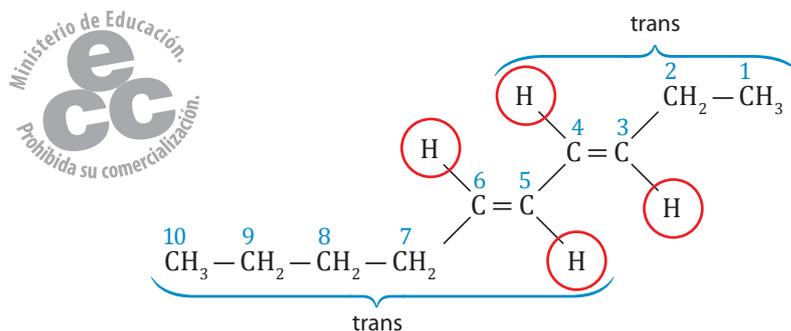
## EJERCICIO RESUELTO

Lee y analiza el siguiente ejemplo:

Observa atentamente la siguiente fórmula orgánica del 3,5-decadieno, y predice en qué estructura presentará cis o trans.

**Paso 1.** Lo primero que se debe realizar es escribir la fórmula desarrollada de dicho compuesto, el cual está formado por diez átomos de carbono y enlaces dobles en la posición 3 y 5.

**Paso 2.** Escribimos la fórmula, por lo tanto, la cadena tiene la siguiente forma:



**Paso 3.** En la fórmula se observan dos enlaces dobles (dieno) en los carbonos 3 y 5. El nombre de la cadena es trans-3,5-decadieno ¿Cómo sería la estructura de la cadena para el trans-trans-3,5-decadieno? Te desafiamos a realizarlo.



## MÁS DE QUÍMICA



**Emil Fischer**  
(1852-1919)

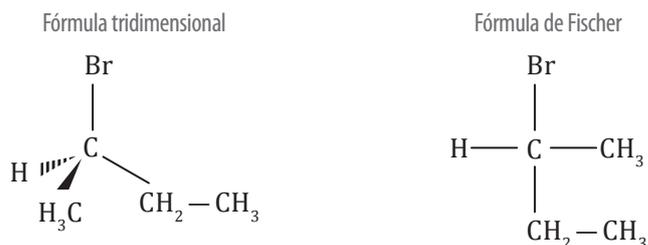
Químico alemán, premio Nobel de Química 1902 por sus trabajos sobre la síntesis de azúcares y purinas. Sus principales estudios corresponden a la estructura molecular de diversas moléculas bioquímicas, especialmente los azúcares. En 1876 descubrió la fenilhidracina, compuesto que le sería muy útil posteriormente y que le provocó un eczema crónico.

Hasta ahora se han empleado fórmulas de proyección tridimensionales para mostrar cómo los grupos se disponen alrededor de un átomo de carbono asimétrico. Aunque no son difíciles de dibujar en el caso de moléculas simples, pueden resultar difíciles para moléculas de mayor complejidad con dos o más carbonos asimétricos.

Para solucionar dicha dificultad, en 1900 el químico alemán **Emil Fischer**, a través de su trabajo acerca de la estructura de los azúcares, empleó un nuevo modelo para dibujar las fórmulas de proyección tridimensional. La convención para dibujar la representación de Fischer de las moléculas que contienen un átomo de carbono asimétrico es la siguiente:

- Se dibuja una cruz, y los cuatro grupos enlazados al átomo de carbono asimétrico se colocan en los cuatro extremos de la cruz. El punto donde las líneas horizontales y verticales se cruzan es el átomo de carbono asimétrico. Las líneas horizontales representan los enlaces que van detrás del plano de la página y que están lejos de nosotros. La estructura resultante parece ser bidimensional y recibe el nombre de **fórmula de proyección de Fischer**.

La figura presentada a continuación muestra la fórmula tridimensional y la fórmula de proyección de Fischer para el 2-bromobutano.



## QUÍMICA EN ACCIÓN

## Habilidades a desarrollar:

- Observar
- Aplicar
- Explicar
- Indagar

## Materiales

- mondadientes
- plastilina de diversos colores
- regla



## Procedimiento 1

Realiza la representación de Fischer para los siguientes compuestos:

- ácido-2-hidroxipropanoico
- 1,2-butanodiol
- 3-bromo-2-hidroxibutano

Luego, coloca estas moléculas frente a un espejo y anota lo observado.

## Responde en tu cuaderno.

- 1 ¿Las moléculas representadas se comportan como enantiómeros? Explica.
- 2 ¿Cuáles serían las designaciones *R* y *S* si las moléculas anteriores presentaran enantiómeros? ¿Por qué? Argumenta.
- 3 Investiga cuál es la importancia biológica del ácido-2-hidroxipropanoico y realiza un resumen de este.

