

La sección "Cómo se..." incluye propuestas de orden práctico para nuestros lectores.

# Enseñando helicidad y quiralidad con vasos de unicel

R. E. Arroyo-Carmona y A. Pérez-Benítez<sup>1</sup>

## Abstract

Helicity and chirality can be easily explained by using Styrofoam tumblers with holes describing positive and negative slopes perpendicular to the rotation (chiral) axis. Model construction and some natural and artificial examples are mentioned.

En nuestro curso de Química Orgánica I abordamos por primera vez, los conceptos básicos de estereoquímica, la parte de la química que tiene que ver con los aspectos tridimensionales de las moléculas, con su forma y su volumen, con el arreglo espacial de sus sustituyentes, y con los fenómenos fisicoquímicos que éste provoca. Sin embargo, algunos(as) estudiantes tienen problemas para entenderlos. Y es que a menudo se enseñan los tópicos tridimensionales de la química con elementos bidimensionales, como proyecciones en los libros de texto o en el pizarrón.

En el mejor de los casos, el profesor resuelve parcialmente esta paradoja mediante el uso de sus modelos moleculares. Pero con todo y eso, el recurso sigue siendo muy limitado. Sería deseable que cada estudiante tuviera sus propios modelos de trabajo para un correcto aprendizaje, pero para muchos(as), los modelos comerciales son demasiado caros.

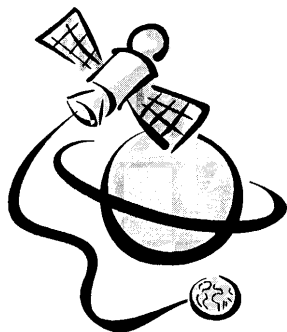


Figura 1. La estereoquímica, la química del espacio.

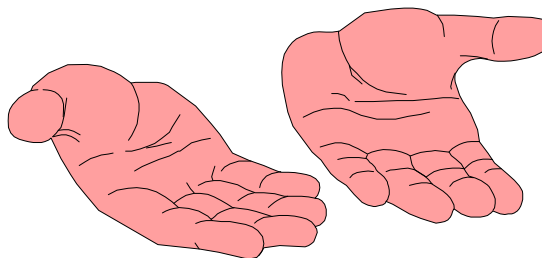
Entonces: ¿Por qué no se construye uno sus propios modelos con materiales baratos (tal vez reciclables) y un poco de imaginación?

Supongamos que queremos enseñar, por ejemplo, los conceptos de superponibilidad, quiralidad y enantiomería. Definamos primero:



1. **Superponibilidad.** Se dice que dos objetos son superponibles cuando todas sus partes coinciden hasta en los más mínimos detalles, es decir, son **objetos** idénticos o **isomorfos**.

2. **Quiralidad.** Se dice que dos objetos son quirales si uno es la imagen especular del otro y no pueden superponerse haciendo coincidir cada una de sus partes, es decir, **son objetos enantiomorfos**.<sup>1</sup>



3. **Enantiomería.** Se dice que dos moléculas son enantioméricas cuando guardan relación de imagen especular pero no son superponibles.

Estos conceptos tan básicos en estereoquímica pueden parecer complicados, pero son fáciles de entender trabajando simplemente con un par de vasos de unicel que no tengan ningún grabado en su exterior.

Si los vasos son iguales entonces uno es la imagen especular del otro y el plano de reflexión o espejo imaginario se encuentra entre los dos vasos (figura 2a-b). La superponibilidad se demuestra sim-

<sup>1</sup> Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 14 Sur y Av. San Claudio. Col. San Manuel. CP 72570. Puebla, Pue. México. E-mail: aaronperez@yahoo.com

Recibido: 14 de agosto de 2000; aceptado: 20 de febrero de 2001.

<sup>1</sup> El término quiral proviene del griego "cheir" que significa "mano" y se usa para denotar objetos que, como nuestras manos, guardan relación de imagen especular pero no son superponibles entre sí.

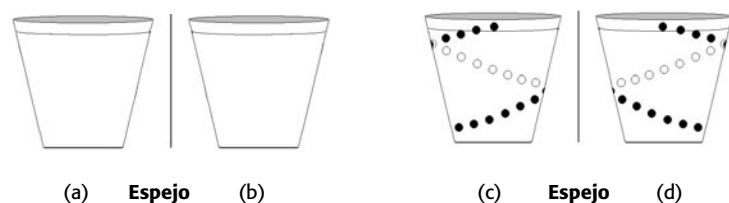


Figura 2. Vasos isomorfos (a-b) y vasos enantiomorfos (c-d).

plemente metiendo un vaso dentro del otro. Entonces podemos decir que **los vasos iguales son objetos isomorfos**.

Los vasos se pueden convertir rápidamente en imágenes especulares no superponibles haciéndoles agujeros en forma helicoidal; a uno se le hacen hacia la derecha y al otro hacia la izquierda (figura 2c-d). Los vasos seguirán siendo imágenes especulares pero si metemos uno dentro del otro veremos que los agujeros no coincidirán, entonces diremos que los vasos no son superponibles, o en otras palabras, que **los vasos con agujeros en forma de hélices opuestas son objetos enantiomorfos**.

Este tipo de enantiomorfismo debido a hélices lo podemos encontrar en la naturaleza o en productos manufacturados por el ser humano.



*Lonicera japonica* (madreselva): Una enredadera de rosca izquierda.



Figura 3. Representación esquemática de la doble hélice del ADN.

En la naturaleza se puede observar en las enredaderas, pues aunque la gran mayoría de estas plantas trepan sobre estacas, árboles u otras plantas, enrollándose en forma de hélices derechas (por ejemplo el dondiego de día), también hay miles de ellas que se enrollan a la izquierda (por ejemplo la madreselva).

Es fascinante hacer hincapié en que el enantiomorfismo se presenta en algunas especies de este tipo de plantas que tienen ambas varie-

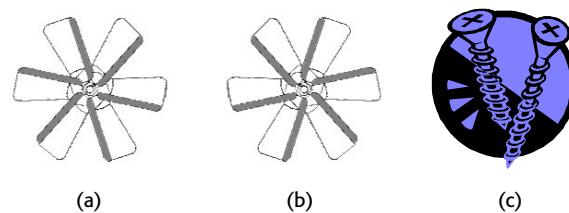


Figura 4. Ventiladores de hélice izquierda (a), y hélice derecha (b). Tornillos de rosca izquierda y derecha (c).

dades, una que se enreda hacia la izquierda y la otra hacia la derecha.

¿Hélices, hélices...? ¡Sí!... ¿Por qué no mencionar de paso a la doble hélice derecha del ADN (figura 3),<sup>2</sup> o la triple hélice izquierda de dos venas y una arteria del cordón umbilical humano?<sup>3</sup>

En los objetos artificiales, el enantiomorfismo debido a la helicidad, quizá es más fácil de encontrar,<sup>4</sup> por ejemplo en los ventiladores industriales (figura 4a-b), en algunos tornillos de rosca izquierda o derecha (figura 4c), e incluso hay libretas con espiral que se enrolla a la izquierda, y otras con espiral que se enrolla a la derecha.

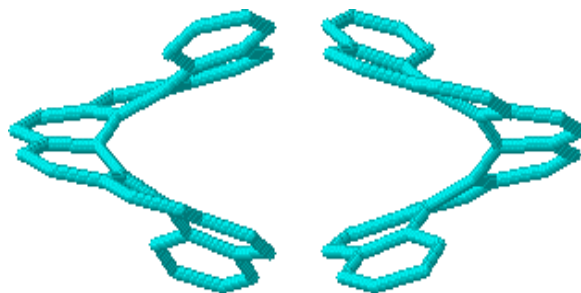


Figura 5. Los helicenos son compuestos químicos que deben su quiralidad a la formación de hélices. Los átomos de hidrógeno y los dobles enlaces de los anillos aromáticos se han omitido para mayor claridad.<sup>5</sup>

<sup>2</sup> Para saber más acerca de la estructura de la doble hélice del ADN consulta la página:

<http://www2.alcala.es/biomodel/model/dna/2frmcont.htm>

<sup>3</sup> Para tópicos interesantísimos de la quiralidad, te recomendamos el libro: *Izquierda y derecha en el cosmos*, de Martin Gardner. Editorial Salvat. Barcelona 1985.

<sup>4</sup> En el portal y en la fachada de la iglesia *La Parroquia de Quecholac*, Puebla, casi destruida por las inclemencias del tiempo, todavía se pueden observar, a la izquierda y a la derecha, columnas adornadas con motivos helicoidales izquierdos y derechos, respectivamente.

<sup>5</sup> Si quieres saber algo más acerca de los motivos de la quiralidad te recomendamos la página:

<http://www.dq.fct.unl.pt/QF/stereo1.html>

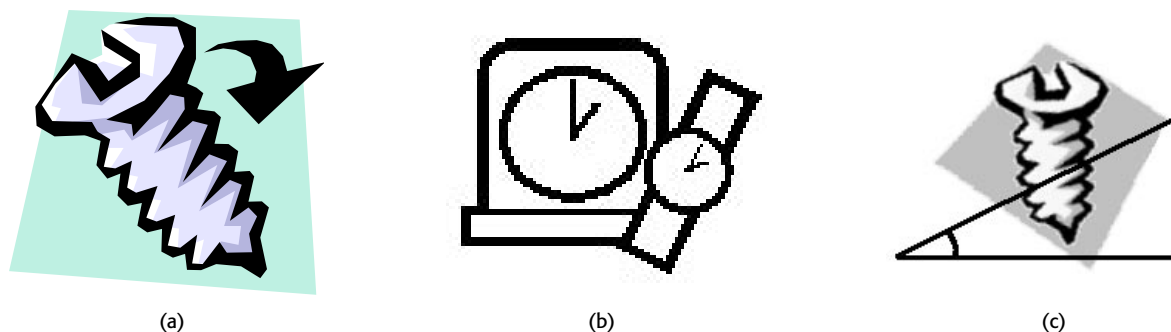


Figura 6. Los tornillos de hélice derecha se enroscan en el sentido de las manecillas del reloj y la rosca tiene pendiente positiva.

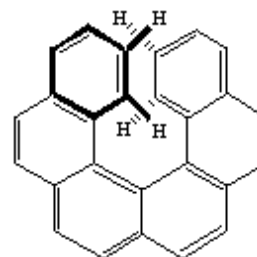
En química podemos encontrar ejemplos interesantes de compuestos que deben su quiralidad a la formación de hélices izquierdas y derechas. Los helicenos son un ejemplo de este tipo de enantiomerismo (figura 5).

¿Pero como se nombran y como se distinguen las hélices? El mejor modelo para explicar esto es nada menos que un tornillo. Los tornillos normalmente son de rosca o hélice derecha porque se atornillan de izquierda a derecha (figura 6a), siguiendo el movimiento natural de la mano derecha para ajustarlo. Este movimiento coincide con el sentido de las manecillas del reloj, y a la hélice se le denomina con la letra **P** (*plus*), lo cual indica que es una hélice dextrógira. En consecuencia, a los tornillos que se aprietan siguiendo el movimiento natural de la mano izquierda (contrasentido al de las manecillas del reloj), se les denomina con la letra **M** (*minus*), lo cual indica que son hélices levógiras (figura 6b).

En la clase podemos identificar rápidamente el tipo de hélice de un tornillo,<sup>6</sup> cogiendo el tornillo con las uñas de los dedos pulgar e índice de la mano izquierda, y haciéndolo girar con la mano derecha. Si empezando por la punta del tornillo llegamos a la cabeza después de haberlo hecho girar en sentido de las manecillas del reloj, sabremos que es un tornillo de rosca derecha.

A simple vista podemos caracterizar a una hélice, mirando el objeto perpendicularmente a su eje de giro.<sup>7</sup> Si con respecto al observador la hélice tiene pendiente positiva (figura 6c) será dextrógira (**P**). En cambio, si tiene pendiente negativa será levógira (**M**).

A las letras **P** y **M** se les conoce como descriptores quirales y han sido aceptadas internacionalmente para caracterizar este tipo de enantiomorfismo.<sup>8</sup> Así, al hexaheliceno de rosca izquierda se le llama correctamente como (*M*)-hexaheliceno.<sup>9</sup>



Finalmente, tenemos que diferenciar entre dos tipos de hélices: las cilíndricas y las cónicas. Las primeras tienen un eje de rotación  $C_2$  perpendicular al eje quiral (por ejemplo, la espiral de una libreta), en tanto que las segundas no presentan dicho eje (por ejemplo, un tornillo). Observa que la presencia o ausencia de este eje no es motivo de pérdida de la quiralidad: *la hélice y su imagen especular correspondiente siguen siendo insuperponibles*.<sup>10</sup>

### Conclusión

Esperamos que este artículo te haya gustado y que te sea de utilidad para la comprensión de los conceptos que te hemos mencionado, pero sobre todo, esperamos que te des cuenta que aprender estereoquí-

<sup>8</sup> Las reglas de nomenclatura para los helicenos puedes consultarlas en la página de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC): <http://www.chem.qmw.ac.uk/iupac/stereo/FM.html#11>.

<sup>9</sup> Para las hélices químicas (por ejemplo las de compuestos de coordinación) también se usan los descriptores quirales  $\Delta$  y  $\Lambda$ , para denotar a las hélices derecha e izquierda, respectivamente.

<sup>10</sup> De hecho, el requisito de simetría para que dos objetos sean enantiomorfos es que no presenten ejes impropios de rotación-reflexión.

<sup>6</sup> ¡Con un tornillo, obviamente!

<sup>7</sup> A este tipo de quiralidad también se le conoce como quiralidad axial.

mica no es cosa del otro mundo, tan sólo se necesita creatividad y una gran capacidad de observación... Así que: "Ojo, mucho ojo..." Cuando utilices un sacacorchos o subas una escalera de caracol, fijate si es de hélice izquierda o derecha. Ah, y recicla tus vasos, perfóralos en forma de espiral o adórnalos con cuentas de colores, para que nunca olvides la quiralidad axial.

### Construcción del modelo

1. Consígúete dos vasos de unicel iguales y sin grabados en el exterior.
2. A un vaso hazle un hoyo con un bolígrafo a un 1 cm de la base.
3. Para una hélice derecha desplaza el bolígrafo 1.5 cm a la derecha y 0.5 cm hacia arriba y hazle el segundo hoyo, y así sucesivamente, hasta llegar a la boca del vaso.
4. En el segundo vaso haz lo mismo que para el primero, pero haz los hoyos desplazando el bolígrafo a la izquierda para obtener una hélice izquierda.

### Ejercicios y problemas (¿los primeros para poder resolver los segundos?)

*Modelos de trabajo:* En dos vasos de unicel iguales marca con una hilera de círculos o con una línea, una hélice derecha (**P**), procurando que tengan la misma pendiente. En un tercer vaso elabora una hélice igual a las anteriores, pero en sentido inverso (**M**). En el fondo de los vasos haz un orificio de un tamaño tal que puedas introducir ajustadamente un lápiz.<sup>11</sup>

- E1.** Generalmente los vasos de unicel tienen forma de cono truncado, y por lo tanto un eje de rotación propia infinito ( $C_n$ ) y un número infinito de planos verticales de simetría ( $\sigma_v$ ). Comprueba que el eje<sup>12</sup> pasa por el centro de los círculos y que los planos coinciden con el número infinito de diámetros de las bases.
- E2.** Verifica que tanto el eje de rotación como los planos de simetría desaparecen al realizar las espirales.<sup>13</sup> Observa que no obstante que se han perdido todos los elementos de simetría del vaso, el

sentido de la hélice se mantiene al colocar el vaso en su posición normal o en posición invertida.

- E3.** Coloca boca a boca los dos vasos de hélice derecha,<sup>14</sup> de manera que las dos hélices **P-P** se vean como una sola. Si analizas detalladamente los vasos, encontrarás que apareció un elemento de simetría nuevo, un eje de rotación propia  $C_2$ , que pasa por en medio de los vasos, y va desde donde termina una espiral y empieza la otra, hasta el extremo opuesto.
- E4.** Partiendo de la posición descrita en **E3**, desfasa las espirales rotando un vaso con respecto al otro, por ejemplo  $90^\circ$ . ¿Qué ha pasado con el eje  $C_2$ ?
- E5.** Cambia un vaso de hélice **P** por el de hélice **M**, y nuevamente colócalos boca a boca haciendo coincidir el final de una hélice con el principio de la otra.<sup>14</sup> Observa que aparece un nuevo elemento de simetría, un plano de reflexión ( $\sigma_h$ ) que pasa por el punto de unión de los vasos. Comprueba que la aparición del plano de simetría implica la desaparición de la quiralidad.
- E6.** Partiendo desde la posición descrita en **E5**, rota un vaso  $90^\circ$  con respecto al otro. ¿El plano de simetría se mantiene? ¿Aparece un elemento de simetría nuevo? ¿Se obtiene el mismo resultado al rotar  $90^\circ$  a la izquierda que al rotar  $90^\circ$  a la derecha?
- E7.** Partiendo desde la posición descrita en **E5**, efectúa ahora una rotación de  $180^\circ$ . Observa que en este caso el resultado de girar a la izquierda es idéntico al resultado que se obtiene al girar a la derecha. Si tus hélices **P** y **M** son imágenes especulares perfectas no tendrás problemas en encontrar un nuevo elemento de simetría, un centro de inversión ( $i$ ).

Las estructuras que se describen en la figura 7 corresponden a moléculas reales, las cuales han sido completamente caracterizadas.<sup>15</sup> De acuerdo a la convención establecida, las líneas discontinuas representan partes de la molécula alejadas del observador, en tanto que las líneas gruesas representan partes cercanas.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> Inserta el lápiz (o el popote) entre los orificios para mantener los vasos ensamblados.

<sup>15</sup> Si quieres saber más acerca de estos compuestos consulta las referencias mencionadas en: Eliel, E.L.; Wilen, S.H.; Mander, L.N. *Stereochemistry of organic compounds*, Ed. John Wiley and Sons. USA, 1994.

<sup>16</sup> Por cuestiones de edición algunos dobles enlaces se omitieron en las estructuras.

<sup>11</sup> Utiliza un lápiz (o un popote) un poco más grande que dos veces el tamaño de un vaso.

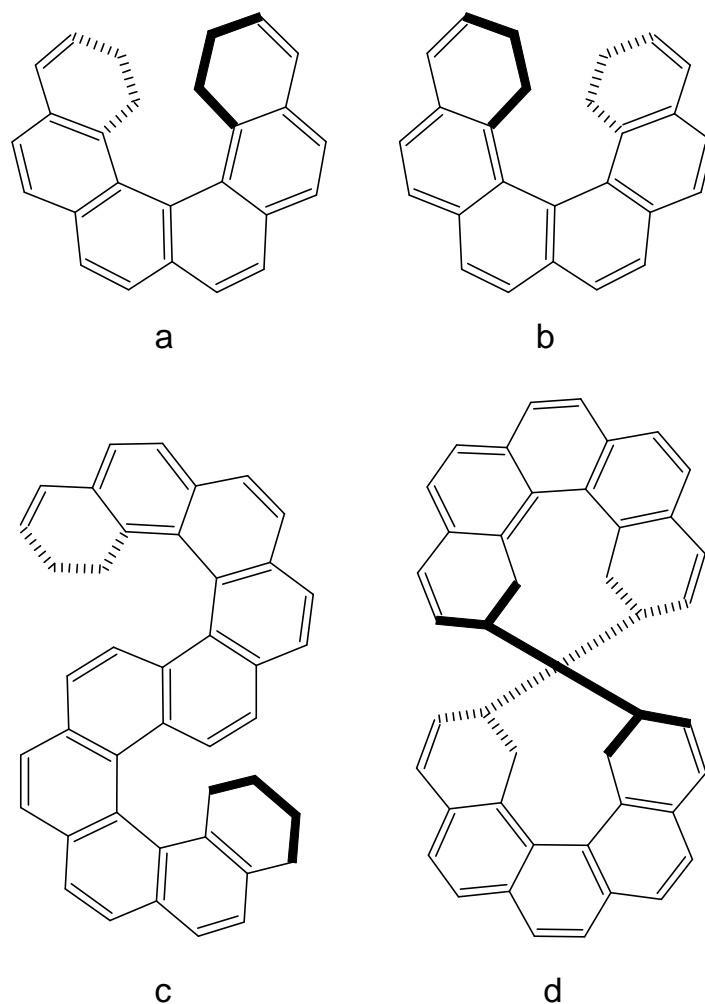
<sup>12</sup> El eje de simetría  $C_n$  queda representado por el lápiz (o el popote) insertado en el centro del fondo del vaso.

<sup>13</sup> De hecho, el eje de simetría  $C_n$  se convierte en un eje de quiralidad.

- P1.** Asigna los descriptores **P** y **M**, según corresponda, a los hexahelicenos de la figura 7a-b.
- P2.** Un heliceno doble se considera como la superposición de dos hexahelicenos a través de dos de sus anillos para dar un [10]-heliceno. ¿A cuál de las tres posibles combinaciones (**P-P**; **M-M** y **P-M**) corresponde la estructura de la figura 7c?
- P3.** ¿Es quiral el heliceno 7c?
- P4.** El bi-2,13-pentahelicenileno o propeliceno (figura 7d) resulta de la fusión de dos pentahelicenos, y constituye una auténtica hélice molecular de dos paletas. Determina:
- La quiralidad de cada pentaheliceno.
  - ¿Es quiral la hélice molecular?

c) Si la respuesta anterior es afirmativa, entonces ¿qué descriptor le asignarías?

- P5.** El propeliceno pertenece al grupo puntual  $D_2$ , el cual contiene tres ejes  $C_2$ . Uno de esos ejes es evidente en la figura, pues es perpendicular al plano del papel. Indica la posición de los ejes restantes.<sup>17</sup> ■



**Figura 7.** Estructuras de moléculas reales: hexahelicenos (a-b); un heliceno doble (c); y el propeliceno (d). Algunos dobles enlaces en los anillos terminales se han omitido por cuestiones gráficas.