

Descripción de experiencias innovadoras para el trabajo experimental, gráfico, teórico o tecnológico y para la resolución de problemas. En este número un artículo sobre quiralidad, tema sobre el que también se entregó el Premio Nobel de química en el año 2001.

Ejemplificando la quiralidad con un clip

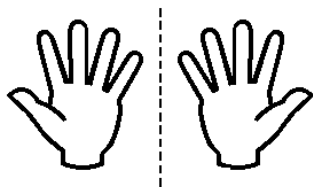
Aarón Pérez-Benítez*

Abstract

Chirality, from the Greek *cheir*, that means hand-like, is the property of some objects to be non-superimposable with their mirror images. Chirality can be due to chiral atoms, chiral axes or chiral planes.¹ This paper relates with the easy conversion of a planar (symmetric) clip into a non-planar (asymmetric) clip, which is very useful for teaching chirality due to chiral plane. This type of chirality is present in molecules such as (*E*)-cyclooctene and substituted *p*-cyclophanes. Moreover, the *PU/Mi* descriptors for prochiral faces of a planar spiral are suggested.

Introducción

La palabra quiral, proveniente de la voz griega *cheir* que significa *mano*, se usa para denotar a los objetos que, como nuestras manos, no son superponibles con su objeto imagen.



La quiralidad puede deberse a la presencia de centros de quiralidad, ejes de quiralidad o planos de quiralidad;¹

no obstante, cualquiera que sea el caso, la propiedad que permanece invariante en un objeto quiral es la no superponibilidad con su objeto imagen. En este artículo propongo la simple conversión de un clip simétrico (plano) en un clip asimétrico (no plano), a manera de introducción a la enseñanza de la quiralidad debida a un plano de quiralidad, la cual se presenta en moléculas tales como el (*E*)-cicloocteno y los *p*-ciclofanos sustituidos.

* Centro de investigación de la Facultad de Ciencias Químicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 14 Sur y Av. San Claudio. Col. San Manuel. Puebla, Pue. C. P. 72570. Dirección electrónica: aaronperez@yaho.com

Recibido: 18 de febrero de 2001; aceptado: 4 de julio de 2001.

¹ <http://www.dq.fct.unl.pt/QOF/stereo3.html>

¿Qué es un plano de quiralidad?

Si la existencia de un plano de simetría en un objeto o en una molécula se ve impedida por la presencia de un elemento estructural en uno de los lados del plano, entonces el plano se convierte en un *plano de quiralidad*. Como ejemplo se presenta el caso de los *p*-ciclofanos (figura 1a), en los que la sustitución de un hidrógeno por un sustituyente *R* en uno de los anillos aromáticos (figura 1b) convierte al plano de simetría en un plano de quiralidad y, por consiguiente, a la molécula aquiral en una molécula quiral.

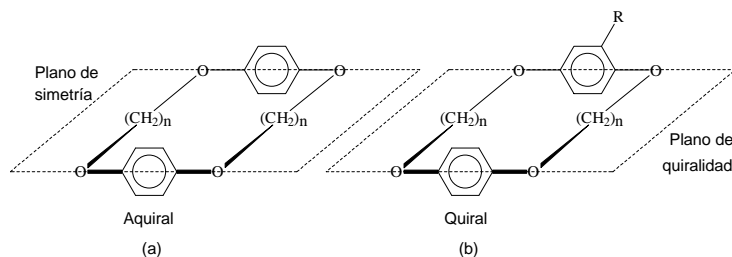


Figura 1. Conversión de un *p*-ciclofano aquiral en un *p*-ciclofano sustituido quiral.

La aquiralidad en un clip

Cuando aplicamos una definición casi siempre tenemos el problema de que algo se escapa a ella. Por ejemplo, para un clip encontré la siguiente:

Clip —dice el diccionario de la real academia española²— (del ing. *clip*) m. Utensilio hecho con una barrita de metal o de plástico, doblada sobre sí misma, que sirve por presión, para sujetar papeles.

A esta definición se le escapa por ejemplo, la forma en que se dobla la barrita de metal y que da origen a diversos tipos de clips (*e.g.* el clip tipo mariposa); y también se le escapa el hecho de que hay otros clips de plástico y de metal que son fabricados con moldes. Por esta razón especifico que el

² <http://www.rae.es>



Figura 2. Clipo, el simpático ayudante de microsoft office.

tipo de *sujetapapeles* al que me estoy refiriendo es al más sencillo de todos, el clip común o básico descrito en la definición, y del que *Microsoft Office* ha hecho un simpatiquísimo ayudante en dibujos animados (figura 2).

En cierta manera, un clip me recuerda a una espiral plana (figura 3), la cual se puede elaborar enrollando, a partir del centro,³ un alambre de derecha a izquierda (sentido contrario al de las manecillas del reloj: figura 3a), o de izquierda a derecha (en el mismo sentido al de las manecillas del reloj: figura 3b).

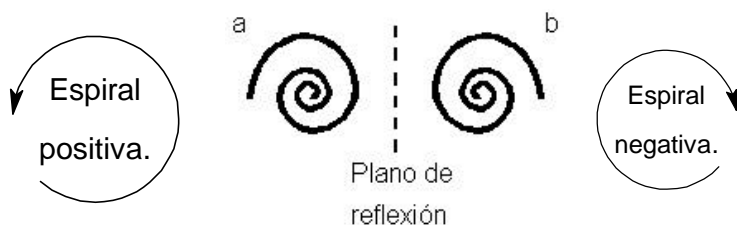


Figura 3. Espirales planas: a) Espiral positiva: crece en sentido contrario al de las manecillas del reloj; b) Espiral negativa: crece en el sentido de las manecillas del reloj.⁴

Debido a la presencia de ese plano de simetría, una espiral enrollada de derecha a izquierda y su imagen especular son iguales; es decir, a partir de una podemos llegar a la otra, mediante una rotación de 180° realizada sobre un eje contenido en el plano de la espiral.⁵

Lo anteriormente expresado puede verificarlo con ayuda de un par de clips.⁶ Ponga los clips como se ilustra en la figura 4a-b. Observe que están colocados en relación de imagen especular y verifique usted mismo que pueden superponerse al voltear uno de los clips. Con esta operación comprobará que los clips enrollados en sentidos contrarios son

iguales; en otras palabras: *un clip plano es un objeto aquiral*.

Convirtiendo un clip aquiral en un objeto quiral

Para convertir un clip aquiral en un objeto quiral lo único que necesitamos hacer es deformar el clip para eliminar su plano de simetría.⁷ De las distintas posibilidades que existen para deformar a un clip me referiré solamente a dos, las cuales he denominado *deformación angular* y *deformación espirálica*.⁸

1) Deformación angular

Para explicar este tipo de deformación necesito redefinir arbitrariamente a nuestro clip como un objeto formado por dos semirectángulos coplanares de distinto tamaño. Así, para eliminar la planaridad lo único que necesitamos es cambiar el ángulo entre los dos semirectángulos. En la figura 4c-d se muestran como ejemplo, los clips en relación de imagen especular, con el semirectángulo mayor a 90° del semirectángulo menor.

Partiendo de sus clips colocados como se muestra en la figura 4a-b, presione el semirectángulo menor y jale hacia arriba el mayor.⁹ Compruebe usted mismo que **a ángulos en los que se pierde la planaridad entre los semirectángulos (ángulos diferentes de 0°, 180° y 360°), los clips son objetos quirales**; es decir, *un clip con deformación angular y su clip imagen no son superponibles*.

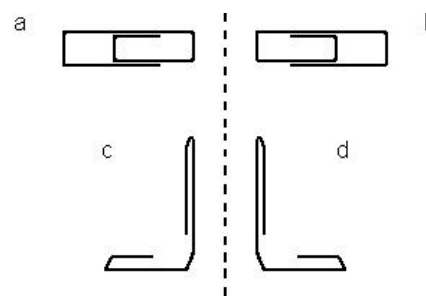


Figura 4. (a-b) Clips planos (aquirales); (c-d) Clips con deformación angular (quirales).

³ Para evitar ambigüedades es necesario indicar que la espiral se inicia desde el centro.

⁴ Para saber más acerca de las espirales puedes consultar el *Manual de matemáticas para ingenieros y estudiantes*, de Bronshtein, I. y Semendiaev, K. Ed. Mir. Moscú, 1982. 4a. Edición, p. 122-125 y 270-271.

⁵ Nótese que dicho eje de rotación no es una operación de simetría.

⁶ Como modelos de trabajo recomiendo usar los clips de metal forrado con plástico.

⁷ El clip del que estamos hablando tiene como único elemento de simetría a un plano de reflexión, por lo que pertenece al grupo puntual C_s .

⁸ Esta nomenclatura la acuñé basándome en el tipo de cambio en la planaridad del clip.

⁹ Debemos indicar hacia donde jalamos el alambre, porque a partir de la misma posición de la espiral se obtienen resultados opuestos al jalar hacia arriba que al jalar hacia abajo.

2) Deformación espiralica

Para explicar este tipo de deformación voy a recurrir a la analogía de la espiral. Cuando una espiral está hecha de un material maleable o deformable, como en el caso de una espiral de alambre, la espiral plana puede convertirse en una espiral cónica. Para ello debe mantenerse fijo el extremo interior de la espiral y jalar hacia arriba el extremo exterior, para obtener:

- Si se parte de una espiral plana positiva, entonces en cualquier segmento de la espiral cónica, la parte más baja estará a la izquierda y la más alta a la derecha, lo cual corresponde, en palabras más técnicas, a una pendiente positiva.
- Si se parte de una espiral negativa, entonces en cualquier segmento de la espiral, la parte más baja estará a la derecha y la parte más alta a la izquierda, lo cual corresponde a una pendiente negativa.

Las espirales cónicas podemos encontrarlas por ejemplo en los tornillos de madera: la espiral con pendiente positiva en los tornillos derechos (figura 5a) y la espiral con pendiente negativa en los tornillos izquierdos (figura 5b).

Afortunadamente no tenemos que pasar por el difícil trabajo de conseguir un tornillo izquierdo para mostrar la diferencia. En su lugar podemos practicar una *deformación espiralica* en nuestros clips de trabajo. Partiendo de dos clips dispuestos como se ilustra en la figura 6a-b, defórmelos sujetando la punta interna y jalando hacia arriba la punta externa. Confirme que el clip enrollado en sentido opuesto al de las manecillas del reloj produce una “espiral cónica” con pendiente positiva, y que el clip enrollado en sentido de las manecillas del reloj produce una “espiral cónica” con pendiente negativa. Compruebe también que *un clip con deformación angular y su clip imagen no son superponibles*.

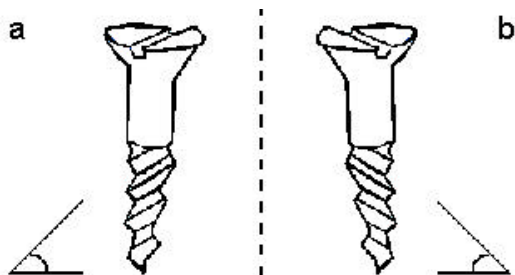


Figura 5. Tornillos para madera: (a) con pendiente positiva o derecho, y (b) con pendiente negativa o izquierdo.

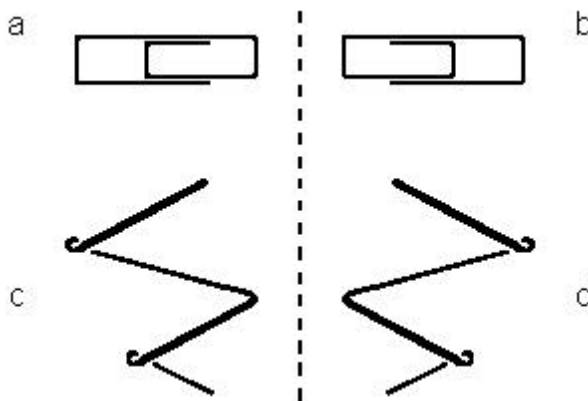


Figura 6. Clips aquirales de espiral positiva (a) y negativa (b), y clips quirales con deformación espiralica de pendiente positiva (c) y de pendiente negativa (d).¹⁰

Nombrando a los clips quirales

Desde mi punto de vista, la forma más conveniente de identificar a los clips con deformación angular y espiralica es mediante los descriptores quirales que se usan para nombrar a las moléculas helicoidales,¹¹ esto es: el descriptor **P** (del latín *plus* que significa *más*) para las hélices con pendiente positiva, y el **M** (del latín *minus* que significa *menos*) para las hélices con pendiente negativa. De esta manera, los clips 4c y 6c, provenientes de la espiral enredada en contrasentido de las manecillas del reloj, son *clips quirales P*, y los clips 4d y 6d provenientes de la espiral enredada en sentido de las manecillas del reloj, son *clips quirales M*.

Aplicaciones de la conversión de un clip aquiral en un clip quiral

Además del aprendizaje de los conceptos mencionados (aquiralidad, quiralidad, plano de quiralidad y descriptores quirales **P** y **M**), un clip se puede utilizar para introducir el concepto de *proquiralidad* en los sistemas moleculares trigonales,¹² porque al convertir el clip en un objeto quiral, a los estudiantes les resulta más obvio que una molécula plana (e.g. $RR'C=O$) también puede dar lugar a dos moléculas de quiralidad opuesta, al ser atacada por una u otra de sus caras. Como ejemplo, en la figura 7 se presenta

¹⁰ La pendiente de la espiral siempre se determina observándola desde el exterior.

¹¹ Como ejemplo se puede citar al tetradecicleno: <http://www.ouc.bc.ca/chem/molecule/pdb/14-heli.pdb>

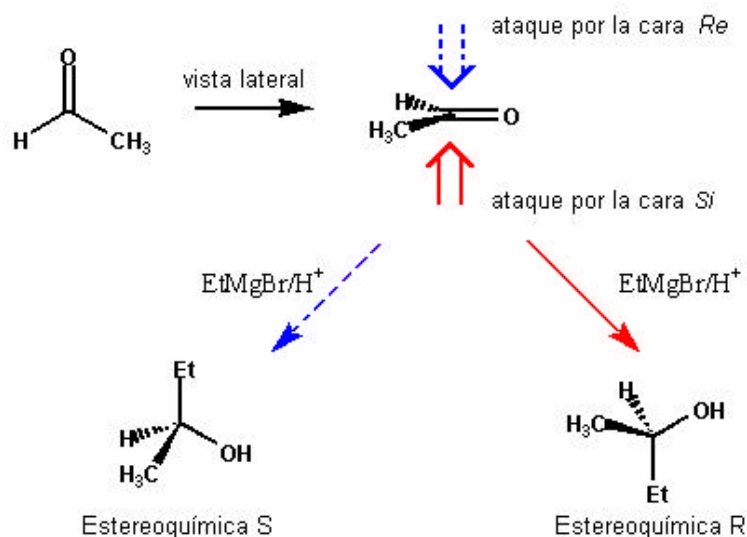


Figura 7. Proquiralidad en un sistema trigonal,¹³ ilustrada mediante la obtención del (*R*)-2-butanol y el (*S*)-2-butanol a partir del acetaldéhidido.¹⁴

la formación del (*R*)-2-butanol y el (*S*)-2-butanol, a partir del acetaldéhidido.

Finalmente, en analogía con la nomenclatura *Re* y *Si*, en donde se utilizan las dos primeras letras de las palabras latinas *Rectus* (derecha) y *Sinister* (izquierda) para denotar las caras proquirales de un sistema molecular trigonal (figura 7), me permito sugerir la nomenclatura *Pl* y *Mi* (donde se toman las dos primeras letras de *plus* y *minus*) para las caras proquirales de una espiral, siendo la cara *Mi* aquella en la que la espiral aparece enredada en sentido de las manecillas del reloj, y la cara *Pl* aquella en la que la espiral se enreda en sentido contrario (véase figura 6).

Conclusión

Un clip es un objeto muy común. Esta característica lo convierte en un modelo didáctico valiosísimo para la enseñanza de la helicidad, la proquiralidad y la quiralidad debida a un plano de quiralidad. La quiralidad del clip se logra rompiendo el plano de simetría del clip, por ejemplo deformándolo como se ilustra en las figuras 4c-d y 6c-d.

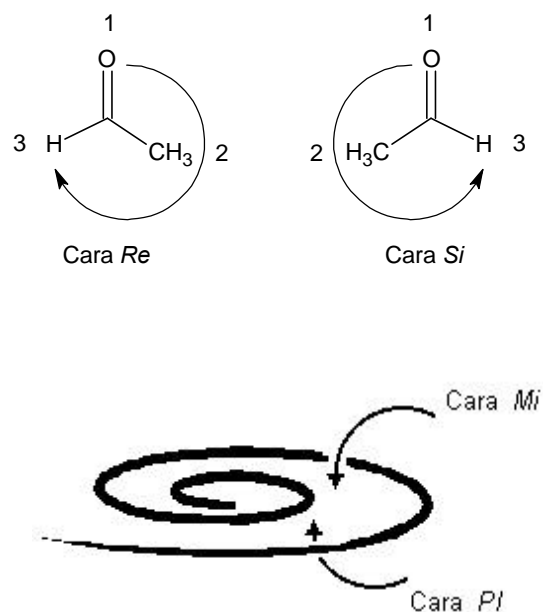


Figura 8. Nomenclatura *Re/Si* de las caras proquirales de un sistema molecular trigonal y *Pl/Mi* de una espiral plana.¹⁵

Como resultado del trabajo con un par de clips, el estudiante encuentra que la quiralidad no es sólo cosa de la química, sino también de la vida diaria. ■

Literatura recomendada:

- Para la asignación de la estereoquímica debida a un plano de quiralidad:
 1. E. Juaristi, *Introduction to Stereochemistry and Conformational Analysis*, Wiley Interscience, John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, 1991.
 2. E. L. Eliel, S. H. Wilen, L. N. Mander, *Stereochemistry of organic compounds*, Wiley Interscience, John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, 1994, p. 1121.
- Para artículos de revisión y ejemplos de ciclofanos (ciclo + fenil + alcanos):
 1. <http://chemistry.gsu.edu/glactine/modeling/Magid/cyphane/cyphane.html>
 2. <http://133.5.167.17/Res/Cyclophane.html>

¹² <http://www.sdsc.edu/Education/Elemnet/misc/newerglossary/p.html>

¹³ <http://chemserver.anu.edu.au/rab/stereochem/#p>

¹⁴ <http://chemserver.anu.edu.au/rab/stereochem/>

¹⁵ Hasta donde conozco, las caras proquirales de una espiral plana no han sido nombradas previamente.