

La sutil y relevante historia de la mano derecha y su siniestra hermana

Pablo Martínez Sosa

La derecha y la izquierda

Un hombre normal entra a un aparato que, aunque de gran tamaño, no parece tener nada especial; tras una gran explosión, el mismo hombre sale del aparato aparentemente sin ningún cambio. Un análisis más exhaustivo al hombre muestra que hay sutiles diferencias: pequeñas irregularidades en el rostro aparecen en el lado contrario a donde estaban. Finalmente una revisión médica revela que órganos como el corazón y el hígado, que se encuentran con una distribución especial en el

cuerpo humano, se encuentran en el lado contrario. Fuera de estos cambios el hombre puede continuar sin problemas su vida por algún tiempo. Poco después acude al médico por malestares que corresponden a una desnutrición grave; el hombre sin embargo, ha estado comiendo normalmente. ¿Qué le ocurre?

El argumento anterior es el del cuento corto de Arthur C. Clarke llamado "Error técnico", y muestra los síntomas de la inversión de lado en una persona: el lado derecho pasó al izquierdo y viceversa. Si bien esto es técnicamente imposible, define un concepto importante en los campos de la física, la química y la biología: la quiralidad.

Primero lo primero, ¿cómo podrían invertirse los lados en una persona? La mejor analogía sería pensar no en un objeto de tres dimensiones, como una persona, sino en algo de dos dimensiones, por ejemplo, la letra "p" de este texto que al ser de dos dimensiones, sólo podría moverse de izquierda a derecha o de arriba a abajo, pero jamás hacia el frente y hacia atrás de la hoja, como se muestra en la figura 1.

Sin embargo, si deseáramos convertir la "p" en una "q" tendríamos que recortar la letra de la hoja y voltearla por enfrente de la hoja. De la misma manera, para voltear los órganos internos de una persona sin realizar una sola intervención quirúrgica se tendría que hacer atravesar al sujeto por una cuarta dimensión espacial. Esta breve descripción permitiría explicar por qué el corazón de la persona cambiaría de lugar; sin embargo, ¿qué tiene esto que ver con la desnutrición severa del personaje del cuento? Éste será el tema central del texto.

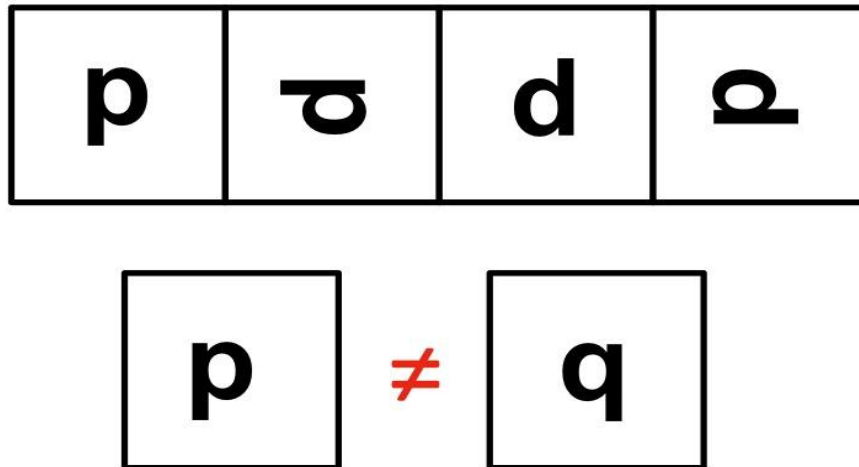


Figura 1. Rotación de una figura de dos dimensiones en un plano.

Quiralidad: lo mismo, pero diferente

Quizá uno de los ejemplos más claros de la quiralidad son nuestras manos (de hecho quiralidad deriva de "mano" en griego); de manera general son exactamente iguales, sin embargo, cualquier persona puede diferenciar una mano derecha de una izquierda si la ve o la siente, ¿qué las hace tan diferentes? Las manos son quirales debido a que son imágenes especulares una de la otra; o sea que si uno pone la mano derecha frente a un espejo verá lo mismo que si pone una mano frente a la otra pero no se pueden sobreponer; esto quiere decir que no importa cuánto gire uno la mano izquierda de arriba abajo o de izquierda a derecha o de adelante hacia atrás, pues jamás va a quedar orientada como la derecha, no sólo en el orden de los dedos, sino en la posición de la palma y las uñas; esto ocurre en tres dimensiones así como la "p" y la "q" en dos dimensiones.

Ejemplos de parejas quirales no son raros en la naturaleza, en el humano no sólo las manos son quirales, los pies también lo son, y en éstos es más claro que no se puedan sobreponer si pensamos que uno tiene serios problemas tratando de

ponerse un zapato derecho en el pie izquierdo. Además de estas partes del cuerpo humano, hay muchas otras cosas en las que se presenta este fenómeno, desde las conchas de los caracoles y ciertos cristales como los cuarzos, hasta la posición de la mandíbula inferior de las vacas.

Los ejemplos anteriores podrían ayudarnos a entender lo que ocurrió en el cuento de C. Clarke con los órganos del protagonista y sus facciones, pero no aclaran la razón por la que no se estuviera alimentando adecuadamente. La quiralidad también se presenta bajo ciertas circunstancias a nivel molecular y permite generar parejas de moléculas que son prácticamente idénticas pues poseen el mismo tipo y número de átomos unidos unos con otros de la misma manera; la única diferencia es la orientación en el espacio, a este tipo de parejas se les llama enantiómeros. Un caso particularmente interesante es el del carbono, un elemento fundamental para los organismos vivos. Para que un carbono forme una molécula quiral debe estar unido a cuatro átomos distintos entre sí, como se muestra en la figura 2.

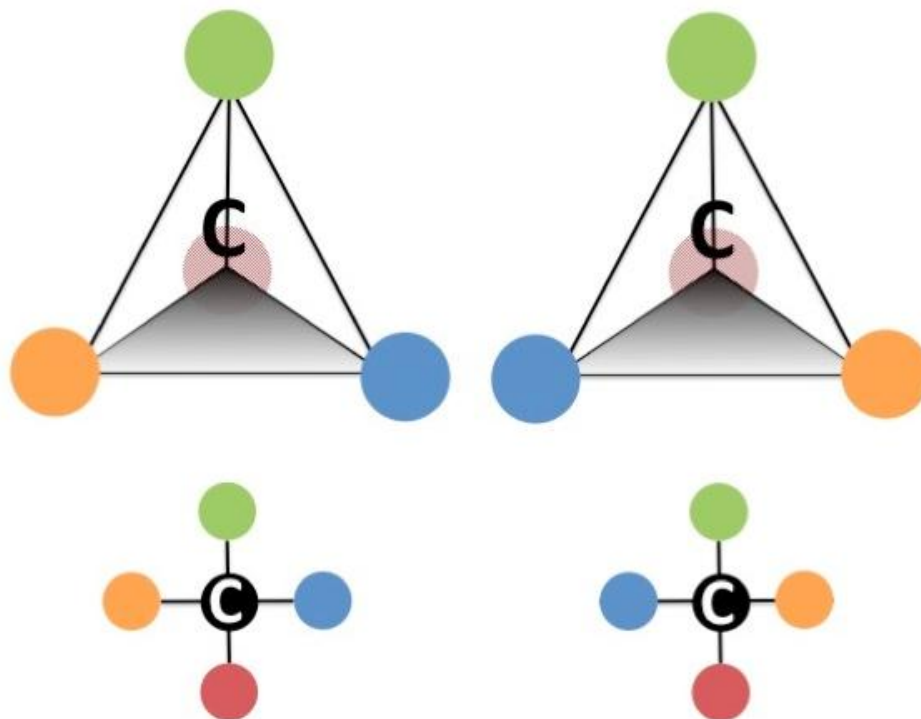


Figura 2. Una misma pareja de moléculas quirales representada en tres dimensiones (arriba) y en dos (abajo).

Las propiedades químicas de uno y otro compuesto son iguales, la única propiedad que realmente los diferencia es su interacción con la luz. La luz polarizada plana es un tipo de luz en que la onda electromagnética en lugar de viajar orientada en todos los planos perpendiculares en el sentido de su propagación (figura 3a), únicamente viaja en uno de estos planos (figura 3b). Al hacer interactuar este tipo de luz con una de las moléculas quirales, ésta desviará la orientación del haz en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que la otra lo hará girar en sentido contrario.

Dado que los enantiómeros no difieren químicamente uno del otro, uno esperaría encontrar en la naturaleza mezclas de ambas sustancias en proporciones iguales; esto es de hecho lo que ocurre cuando se generan compuestos quirales por métodos químicos, como ocurre en la industria química; sin embargo, de manera

inesperada esto no ocurre con los seres vivos, porque todos somos homóquiales; esto es, usamos sólo una de las posibles formas.

Dos tipos de moléculas de relevancia biológica poseen por lo menos un carbono quiral: los aminoácidos que forman las proteínas y los azúcares que sirven para proporcionar estructura y energía, entre otras cosas. Tanto los aminoácidos como los azúcares pueden existir en cualquiera de sus dos enantiómeros, que se nombran L o D al comparar su estructura con la de otra molécula también quiral, el gliceraldehído. Los enantiómeros de este último giran la luz uno a la derecha (*dextro* en latín) y otro a la izquierda (*laevus*); por eso los enantiómeros de los azúcares o de los aminoácidos cuya estructura tridimensional se parece al D gliceraldehído se nombran D, mientras que la otra forma se nombra L. Cabe mencionar que las moléculas L o D no necesariamente giran la luz a la izquierda o a la derecha, la notación se refiere únicamente a su similitud estructural. En las proteínas de los seres vivos sólo se encuentran aminoácidos L y únicamente se usan los azúcares D como fuente de energía celular.

Que los seres vivos utilicen sólo una de las formas posibles de algunas moléculas es muy interesante, pues, como se mencionó, no habría razón química para escoger sólo una de las dos formas, y es aún más interesante que esta selección se mantenga igual en todos los organismos de la Tierra.

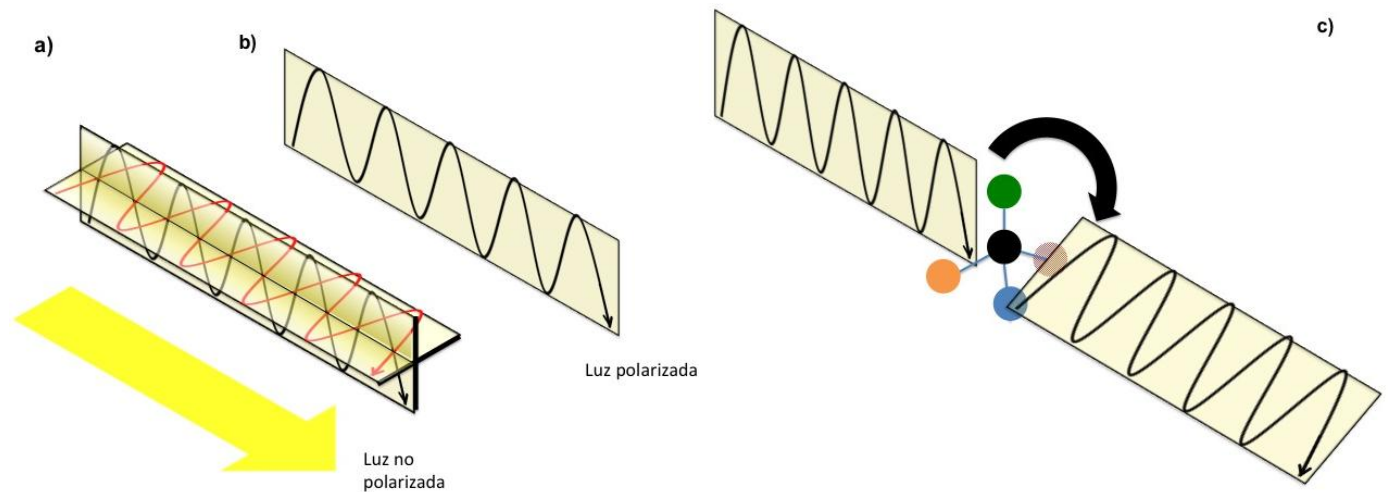


Figura 3. a) Haz de luz no polarizada mostrando dos planos posibles de la luz. b) Luz polarizada mostrando un haz en un único plano. c) Rotación de la luz polarizada por la interacción con una molécula quiral.

Y entonces ¿la desnutrición?

El uso de L aminoácidos y D azúcares está tan conservado en los organismos que son prácticamente los únicos que se utilizan, aunque existen algunos ejemplos en los que se usa el otro enantiómero; esto ocurre en procesos metabólicos no relacionados con las funciones principales de este tipo de moléculas.

Esta selección ha generado que toda la maquinaria molecular esté diseñada exclusivamente para el uso de las formas biológicamente relevantes, y es por esto que se considera que la selección debió surgir muy temprano en la evolución de la vida.

En el cuento de Clarke cuando el personaje atraviesa la cuarta dimensión, cambia su orientación no sólo a nivel macroscópico sino también molecular, de tal manera que la maquinaria de sus células respondería únicamente a los enantiómeros que no usa la vida. Es así que pese a llevar una dieta normal, el personaje estaba

desnutrido, su organismo no reconocía las moléculas que ingería.

¿Cómo elegir entre dos cosas casi exactamente iguales?

Dado que la preferencia por el mismo tipo de aminoácidos y azúcares se mantiene en todos los dominios de la vida, se ha especulado que la selección de estos enantiómeros se dio durante el origen de la vida. De esta manera, un mecanismo para el surgimiento de la vida en la Tierra debería poder explicar la homoquiralidad en los seres vivos. En este momento surge una pregunta, ¿cómo seleccionar entre dos cosas que se comportan químicamente igual?

Diversos enfoques científicos han propuesto varios mecanismos que en ciertas circunstancias podrían favorecer que uno de los dos enantiómeros se encuentre en mayor proporción, haciendo más probable que éste fuera utilizado por las moléculas que dieron origen a la vida.

Una propuesta que se ha planteado es que la *fuera débil*, una de las cuatro fuerzas fundamentales del modelo estándar que propone la física actualmente, rompe con la simetría actuando preferentemente con partículas de cierta orientación. Esta preferencia podría escalar hasta las biomoléculas y hacer que una de las dos formas quirales sea más estable que la otra por efectos intrínsecos de sus componentes. De ser importante este efecto se podría no solo explicar el surgimiento de la homoquiralidad en la Tierra, si no que además se podría pensar que de existir vida fuera de nuestro planeta, ésta mantendría la misma homoquiralidad.

Aunque esta propuesta podría explicar de manera relativamente simple el uso de sólo un enantiómero, no ha sido posible probar experimentalmente que esto realmente ocurre.

Otra propuesta que existe es la del uso de luz circular polarizada (LCP), un haz de luz que gira en contra o en el sentido de las manecillas del reloj, pues la

gran diferencia entre las parejas de enantiómeros es su interacción con la luz; se ha propuesto que la LCP UV podría promover la destrucción específica de una de las dos moléculas. Se sabe que cada enantiómero absorbe preferentemente un tipo de LCP, por lo que se ha propuesto que si se irradia una mezcla con ambas moléculas con uno de los dos tipos de LCP se destruirá mayoritariamente el enantiómero que absorba más este tipo de luz. Aunque se ha visto que esto de hecho ocurre en el laboratorio tras irradiar con LCP una mezcla con igual cantidad de ambos enantiómeros y se obtiene una mezcla en la que se pierde cerca del 90% de ambas moléculas; sin embargo en el 10% restante se observa un enriquecimiento importante en una de las moléculas, pese a ser pequeña la cantidad final, este es un mecanismo interesante.

Una tercera propuesta está basada en la acción de superficies de metales, cristales y arcillas que puede favorecer la síntesis de moléculas complejas, ya que las superficies interactúan con los reactivos concentrándolos y permitiendo que se acerquen las moléculas unas a otras de una manera característica. La orientación de las moléculas en la superficie está determinada por la geometría de la superficie; actualmente este tipo de reacciones son comunes en la industria.

Se ha especulado que la superficie de algún mineral pudo haber promovido que precursores de las moléculas orgánicas se unieran preferentemente para dar lugar a los enantiómeros de relevancia biológica. Este mecanismo resulta especialmente llamativo debido al papel que pudieron haber tenido las arcillas en el surgimiento de la vida, protegiendo y concentrando moléculas prebióticas. Sobre esta propuesta no se han realizado suficientes experimentos, pero es interesante.

Estas teorías permitirían explicar la homoquiralidad en los seres vivos si tuvieran eficiencias muy altas, sin embargo generan enriquecimientos relativamente bajos; por ello se han buscado mecanismos mediante los cuales, en mezclas con una proporción ligeramente mayor de un enantiómero, se pueda promover su

formación y a la vez inhibir la síntesis del otro. Un sistema con estas características sería más cercano a lo que actualmente se entiende por vida. Esta es únicamente una propuesta ya que salvo algunos ejemplos de sistemas inorgánicos, no se ha encontrado ningún otro sistema donde ocurra.

Un resultado de gran relevancia para entender el surgimiento de la homoquiralidad tanto en aminoácidos como en azúcares es que la adición de uno de los enantiómeros de un aminoácido en la síntesis de azúcares, favorece la formación de sólo una forma quiral de la azúcar; esto es, la homoquiralidad de los aminoácidos favorece el surgimiento de este mismo fenómeno en las azúcares. Este es un resultado muy importante ya que permitiría explicar la homoquiralidad en dos tipos distintos de moléculas mediante una sola selección (la de los aminoácidos) y no por dos vías independientes.

Vida y quiralidad

Que la homoquiralidad esté tan ligada a la vida parece indicar que los procesos que dieron lugar a ambos fenómenos están íntimamente ligados; sin embargo cómo ocurrió esto es un tema en el que aún falta entender muchas cosas. Los mecanismos aquí mencionados son sólo algunos de los que se han propuesto y posiblemente sea más bien la interacción de una serie de procesos lo que dio origen a la homoquiralidad en la Tierra.

Existe también la posibilidad de que efectos universales como la fuerza débil pudieran causar que la química orgánica que se favorece en la Tierra sea de carácter universal; o por el contrario, procesos muy locales como el efecto de las arcillas o el de la luz circular polarizada tuvieran el principal efecto en la selección. De ser lo segundo, en otras regiones del universo podría existir una química con los enantiómeros contrarios; en ellas el personaje del cuento de Clarke podría vivir sin tener que viajar a la cuarta dimensión nuevamente.

Bibliografía especializada

1. Hein, J., Blackmond D., “On the Origin of Single Chirality of Amino Acids and Sugars in Biogenesis”, *Accounts of Chemical Research*, 2012, 45: 2045-2054.
2. Macdermott, “A. Chiroptical Signatures of Life and Fundamental Physics”, *Chirality*, 2012, 24:764-769.
3. Podlech, J., “Origin of organic molecules and biomolecular homochirality”, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2001.,58: 44-60.

Bibliografía no especializada

1. Arthur C. Clarke, *Technical Error en Reach for tomorrow*, Ballantine Books, EU, 1956, p. 48.