

El extraño caso de los cristales diestros y siniestros

José-Manuel Cruz, Israel Domínguez-Valle, Alejandro Fuentes-Beltrán, Javier U. Sánchez-Morales & Thomas Buhse*

Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

*Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

¿Qué sucede cuando los investigadores observan efectos muy extraños y difíciles de explicar? Nos referimos a experimentos realizados en el laboratorio que arrojan resultados extraños debido a que aparentemente, contradicen las leyes fundamentales de la física y también van en contra de nuestras expectativas. Estos resultados "raros" muy frecuentemente

generando cristales diestros y siniestros. La palabra *quiral* proviene de la palabra griega *Kheir*, que significa "mano", mientras que quiralidad, se define como la propiedad de un objeto de no ser superponible con su imagen en el espejo (a la imagen en el espejo también se le conoce como "imagen especular"). Un ejemplo de objetos quirales lo tenemos, literalmente, en nuestras manos, si ponemos la mano derecha en el espejo veremos que la imagen especular corresponde a la mano izquierda. Nuestras manos cumplen con la definición de quiralidad, pues si ponemos una mano sobre la otra para tratar de que coincidan, simplemente no coincidirán, esto también sucede con los cristales derechos y zurdos, este ejemplo lo podemos ver en la figura 1.

la D-tirosina (molécula con conformación hacia la derecha) solo puede ser creada mediante procesos químicos en el laboratorio. Cabe mencionar que a las dos moléculas de la misma sustancia, es decir, a las configuraciones L y D, se les denomina enantiómeros. En sus experimentos, Shinitzky y su grupo analizaron las dos configuraciones de la tirosina, D-tirosina y L-tirosina, y después de muchos experimentos encontraron que, sorprendentemente, la D-tirosina cristalizaba más rápido que la L-tirosina, y por lo tanto, en la fase líquida había más moléculas de L-tirosina disueltas. Esta fue una observación extraña e inesperada debido a que siendo imágenes especulares, las moléculas L y D de la tirosina deberían tener también las mismas propieda-

enriquecimiento quiral a partir de disoluciones sobresaturadas de D-tirosina, L-tirosina o a partir de una mezcla de D- y L-tirosina. De acuerdo con la teoría generalmente aceptada, esta diferencia de comportamiento entre D- y L-enantiómeros no debería existir y por lo tanto sería fácil rechazar la publicación del artículo suponiendo que los autores han malinterpretado los resultados y éstos realmente se deben a alguna (insospechada) fuente de contaminación". El editor también mencionó el comentario de uno de los revisores del artículo: "... a pesar de la fuerte sospecha de que futuros trabajos mostrarán que la discriminación quiral encontrada es debida a un artefacto experimental, recomiendo ampliamente la publicación del trabajo para que otros investigadores puedan confirmar, extender e incluso amplificar estos resultados". Así que finalmente, los resultados fueron publicados y como era de esperarse, provocaron un fuerte debate sobre el origen de estos resultados extraños y misteriosos. Curiosamente, estos resultados raros fueron reproducidos por otros grupos de investigación en otras partes del mundo, quienes igual que Shinitzky y su grupo, también pusieron mucha atención y cuidado en el diseño y realización de los experimentos y además, usaron diferentes fuentes de tirosina, lo que indica fuertemente que podemos excluir un artefacto, un fraude científico o malas prácticas de laboratorio como las causas del extraño caso.

¿Por qué el editor Alan Schwartz señaló que una contaminación biológica en el experimento pudo haber sido la causa de la inesperada diferencia en la cristalización de la D-tirosina y la L-tirosina? Podríamos considerar que casi todos los laboratorios del mundo se encuentran contaminados por el entorno biológico, por ejemplo, hay bacterias que pueden resistir a cuidadosos intentos de trabajar en condiciones estériles, en el aire hay esporas que podrían caer en el material y equipo del laboratorio, y por supuesto, también las personas que realizan los experimentos podrían ser una fuente de contaminación biológica. En el caso de la tirosina, el argumento de contaminación biológica tiene un peso muy grande, debido a que las bacterias digieren la L-tirosina y no la D-tirosina. Entonces... ¿Podría ser esa la causa de la extraña diferencia?

Por su parte, el equipo de Shinitzky dio su propia explicación argumentando que, el hecho de que moléculas "zurdas" y "derechas" de la misma clase tengan las mismas propiedades físicas y químicas, no es un principio tan general como se creía, e incluso, la llamada fuerza débil, la cuarta

interacción fundamental de la física, viola la igualdad (paridad) entre la izquierda y la derecha. Lo anterior, basándose en la hipótesis que establece que hay una diferencia de energía muy pequeña entre las moléculas zurdas y diestras llamada «diferencia de energía que viola la paridad». Esta diferencia en energía podría por ejemplo, ser la causa de la ruptura de la simetría entre materia y antimateria (en tiempos cercanos a la creación del universo) y ser la razón por la cual existe aparentemente más materia que antimateria en el universo. Esta diferencia de energía ha sido calculada para varias moléculas fundamentales para la vida en la Tierra, y en cada caso, se observó que la forma quiral natural que se encuentra en la bioquímica terrestre es más estable que su imagen especular "no natural", por ejemplo, el aminoácido L-alanina es más estable que su contraparte no natural D-alanina, sin embargo, esta diferencia de energía no se ha podido verificar experimentalmente debido a que su valor es extremadamente pequeño y en la medición puede confundirse con fluctuaciones térmicas, con pequeñas impurezas, o simplemente porque para típicos experimentos sobre quiralidad, no se cuenta con el equipo para medir con tal nivel de precisión.

Queda aún por resolver cuál es el origen del efecto extraño, si la causa está asociada a una contaminación biológica, a alguna impureza o a factores físicos, y por lo tanto a algunas asimetrías fundamentales. Curiosamente, los hallazgos de Shinitzky no son los únicos, hay otros grupos de investigación que han informado sobre "anomalías" similares entre izquierda y derecha en otros procesos de cristalización, y en todos los casos, las observaciones no se ajustan a las expectativas estadísticas, tal como sucede en el lanzamiento de una moneda, 50% águila y 50% sol, en el caso de la cristalización, 50% cristales diestros y 50% cristales siniestros, como debería ocurrir si los cristales tuvieran las mismas propiedades físicas y químicas.

Cinco años después del intenso debate generado por las observaciones de Shinitzky, Cristóbal Viedma, profesor en la Universidad Complutense de Madrid, publicó otra extraña observación en la revista científica *Crystal Growth & Design* (Crecimiento y diseño de cristales). Viedma también hizo experimentos de cristalización, pero usando una sal inorgánica llamada clorato de sodio, sustancia química que se utiliza principalmente como blanqueador y como herbicida. El clorato de sodio es menos "bio-amigable" comparado con el aminoácido tirosina que utilizó Shinitzky que, por su naturaleza orgánica, puede verse afectado más fácilmente por un ambiente de laboratorio biológicamente contaminado. Los cristales de clorato de sodio, también son quirales y

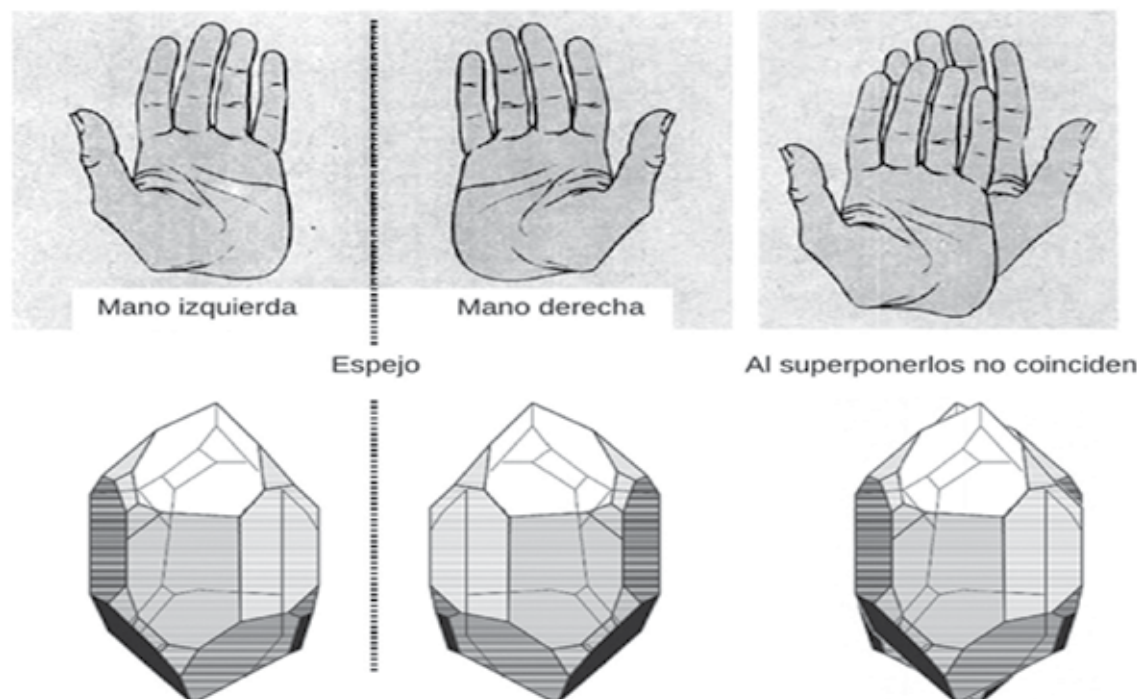


Figura 1. Nuestras manos son objetos quirales. Si colocamos la mano derecha en el espejo, la imagen que veremos corresponderá a una mano izquierda, y si superponemos nuestras manos, no van a coincidir. Lo mismo ocurre con los cristales quirales. Un ejemplo son los cristales de cuarzo, un cristal de cuarzo izquierdo (L) no coincide con un cristal de cuarzo derecho (D).

son asociados con "artefactos", es decir, con alteraciones en las observaciones, debidas a errores en las técnicas experimentales empleadas o a fallas en los equipos utilizados. Quizás muchas de estas observaciones extrañas no han salido a la luz y permanecen ocultas en bitácoras de laboratorios, debido a la gran diferencia entre los resultados obtenidos y los resultados esperados, y quizás también, debido a la percepción en el laboratorio, de que seguramente algo se hizo mal y tomar la decisión de no dar a conocer las extrañas observaciones para evitar ser expuesto públicamente.

Uno de estos casos extraños se ha presentado en la formación de cristales, específicamente en la formación de cristales quirales, es decir, cristales cuyas moléculas que los conforman se pueden ordenar de dos maneras diferentes, una con una orientación hacia la derecha y otra orientada hacia la izquierda,

Los objetos quirales son parte importante de nuestra vida y abundan en la naturaleza, podemos encontrar moléculas diestras y siniestras, por ejemplo, los D-aminoácidos y los L-aminoácidos (D y L provienen de las palabras latinas *dextro* y *levo*, que significan derecha e izquierda, respectivamente) y azúcares como la D-glucosa. En el nivel macroscópico las conchas de caracoles, nuestras manos y ciertos cristales, como el cuarzo, también son ejemplos de objetos quirales.

El extraño caso de los cristales quirales ocurrió en el Instituto Weizmann de Israel en el año 2002, cuando el científico Meir Shinitzky y su equipo estudiaban la solubilidad de la molécula tirosina en agua. La tirosina es un aminoácido quiral y es uno de los 20 aminoácidos que generalmente las células utilizan para formar proteínas. Un punto muy importante es que en la naturaleza solo existe la L-tirosina (molécula con conformación hacia la izquierda), mientras que

des químicas y físicas y por lo tanto, deberían cristalizar con la misma velocidad, simultáneamente, pero no es así, ¡ocurre lo contrario!

Shinitzky logró publicar sus extrañas observaciones en la revista científica *"Origins of Life and Evolution of Biospheres"* (Orígenes de la vida y evolución de las biósferas). Esta revista cuenta con reconocida reputación internacional e igual que otras revistas importantes, publica sólo artículos de investigación que han sido revisados y aprobados por expertos en el tema. Fue interesante ver que, acompañando la publicación de los raros resultados de Shinitzky, el editor de la revista Alan Schwartz, agregó un comentario: "Este número de la revista contiene un artículo inusual: *Diferencias inesperadas entre D- y L-tirosina conducen a un incremento quiral en las mezclas racémicas*; en el cual Shinitzky y su grupo informan que la simple cristalización de la tirosina, puede generar un

podemos obtener cristales zurdos (L) y derechos (D), además, la cristalización de clorato de sodio tiene una característica especial: las moléculas de clorato de sodio *no son quirales*, la quiralidad de los cristales está asociada a la manera en la que se ordenan las moléculas para formar el cristal, y este arreglo puede ser hacia la derecha o izquierda, por lo que una vez que los cristales se disuelven pierden su quiralidad y solo quedan en el agua las moléculas de clorato de sodio que no son quirales y no tienen una orientación preferente hacia algún lado.

El experimento que Viedma realizó consiste en una forma muy especial de cristalización en la que simultáneamente ocurren la formación y la destrucción de cristales. A partir de una disolución de clorato de sodio que está en agitación y contiene la misma cantidad (en masa) de cristales D y L, los cristales más pequeños comienzan a disolverse perdiendo su quiralidad, simultáneamente se van formando nuevos cristales en la disolución. Este proceso de creación y desaparición continúa hasta que al final, solo quedan presentes cristales L o D, es decir, la población original de uno de los cristales desaparece (ver Figura 2). Dado lo anterior, era de esperarse que, si consideramos que los cristales D y L tienen las mismas propiedades físicas y químicas, entonces al llevarse a cabo por ejemplo, 1000 experimentos, en 500 al final solo quedarían cristales D y en los otros 500 sólo encontraríamos cristales L, sin embargo, una vez más y contra las expectativas, esta igualdad no aparece: en 940 experimentos que Viedma realizó, el 75% resultó con cristales D y solo el 25% con cristales L. Esta diferencia es grande respecto al 50% esperado.

Pero este no es el fin de la historia. En el Centro de Astrobiología de Madrid, el profesor Sabino Veintemillas-Verdaguer y su equipo, corroboraron la desviación izquierda-derecha en la cristalización del clorato de sodio a favor de los cristales D, es decir en la misma dirección que Viedma. Estas nuevas observaciones se obtuvieron utilizando una técnica de cristalización un poco diferente a la que utilizó Viedma. Finalmente, nosotros, en el Centro de Investigaciones Químicas de la UAEM, hemos realizado una gran serie de cristalizaciones de clorato de sodio, analizando más de 12,000 cristales y también encontramos una discrepancia

favor de los cristales D. El extraño caso de los cristales diestros y siniestros en la cristalización de clorato de sodio ha mostrado el mismo comportamiento usando tres técnicas experimentales diferentes y en tres laboratorios independientes, no obstante, la explicación aún está pendiente. Si estos resultados inesperados se deben a impurezas involucradas, entonces éstas tienen que estar presentes en los tres diferentes lugares, lo que parece poco probable. Por otro lado, los cristales están formados por un gran número de moléculas, ¿Puede amplificarse la pequeña diferencia de energía que viola la paridad entre las

extrañas y al mismo tiempo, ponerlas en concordancia con las leyes fundamentales de la física? Los investigadores alrededor del mundo están en la búsqueda de estas raras observaciones, mediante el uso de diferentes sistemas químicos y aplicando nuevas técnicas experimentales y de análisis. El primer paso ya está dado, varios investigadores, como Shinitzky y Viedma, han publicado sus extraños resultados, otros grupos los han reproducido y también han aparecido nuevas observaciones raras en otros sistemas. Una inspiración para intentar resolver esta cuestión podría sur-

galaxias espirales! (ver figura 3). En el año 2011, Michael Longo, de la Universidad de Michigan, catalogó la dirección de rotación de decenas de miles de galaxias espirales y encontró que las galaxias tienden a rotar en una dirección preferida y que en la zona que corresponde al polo norte de nuestra galaxia existe un exceso de galaxias espirales que giran hacia la izquierda...

Referencias

1. T. Buhse, Cristales, quiralidad y el origen de la asimetría en la naturaleza, *La Unión de Morelos*, 18 de enero de 2010. <http://www.acmor.org.mx/?q=content/cristales->

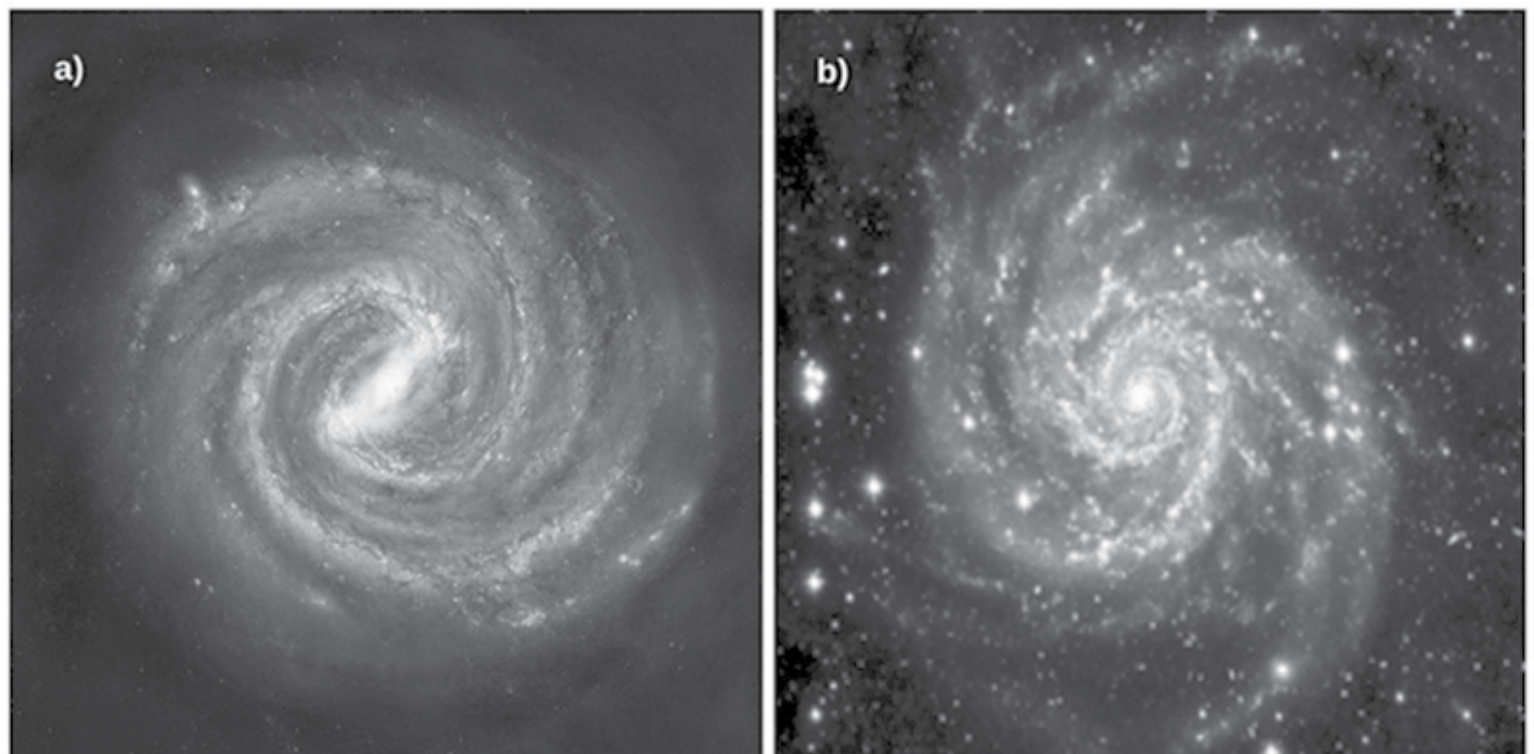


Figura 3. Galaxias espirales. a) galaxia espiral que gira en el sentido de las manecillas del reloj. b) galaxia que gira sentido contrario a las manecillas del reloj.

entre izquierda y derecha e, igual que los dos grupos de investigación en España, también encontramos que la preferencia es a

dos cristales y entonces provocar el efecto de rompimiento de simetría? ¿Podría ser ésta la clave para explicar las observaciones

gir mirando al cielo. No sólo los cristales quirales pueden mostrar discrepancias tan extrañas de izquierda y derecha, ¡también las

[quiralidad-y-el-origen-de-la-asimetr%C3%AD-en-la-naturaleza](http://www.acmor.org.mx/?q=content/cristales-quiralidad-y-el-origen-de-la-asimetr%C3%AD-en-la-naturaleza)

2. T. Buhse *et al.* Aminoácidos, azúcares y el origen de la vida, *La Unión de Morelos*, 14 de diciembre de 2015.

<http://www.acmor.org.mx/?q=content/amino%C3%A1cidos-az%C3%BAcares-y-el-origen-de-la-vida>

3. Shinitzky M., Nudelman F., Bardal Y., Haimovitz R., Chen E., Deamer D.W. Unexpected differences between D- and L- tyrosine lead to chiral enhancement in racemic mixtures. *Orig. Life Evol. Biosph.* **2002**, 32, 285-297.

4. Schwartz, A.W. Commentary: Chiral symmetry-breaking by crystallization. *Orig. Life Evol. Biosph.* **2002**, 32, 283.

5. Viedma C. Selective chiral symmetry breaking during crystallization: parity violation or cryptochiral environment in control? *Cryst. Growth Des.* **2007**, 7, 553-556.

6. Longo, M.J. Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts $z \sim 0.04$. *Phys. Lett. B* **2011**, 699, 224-229.

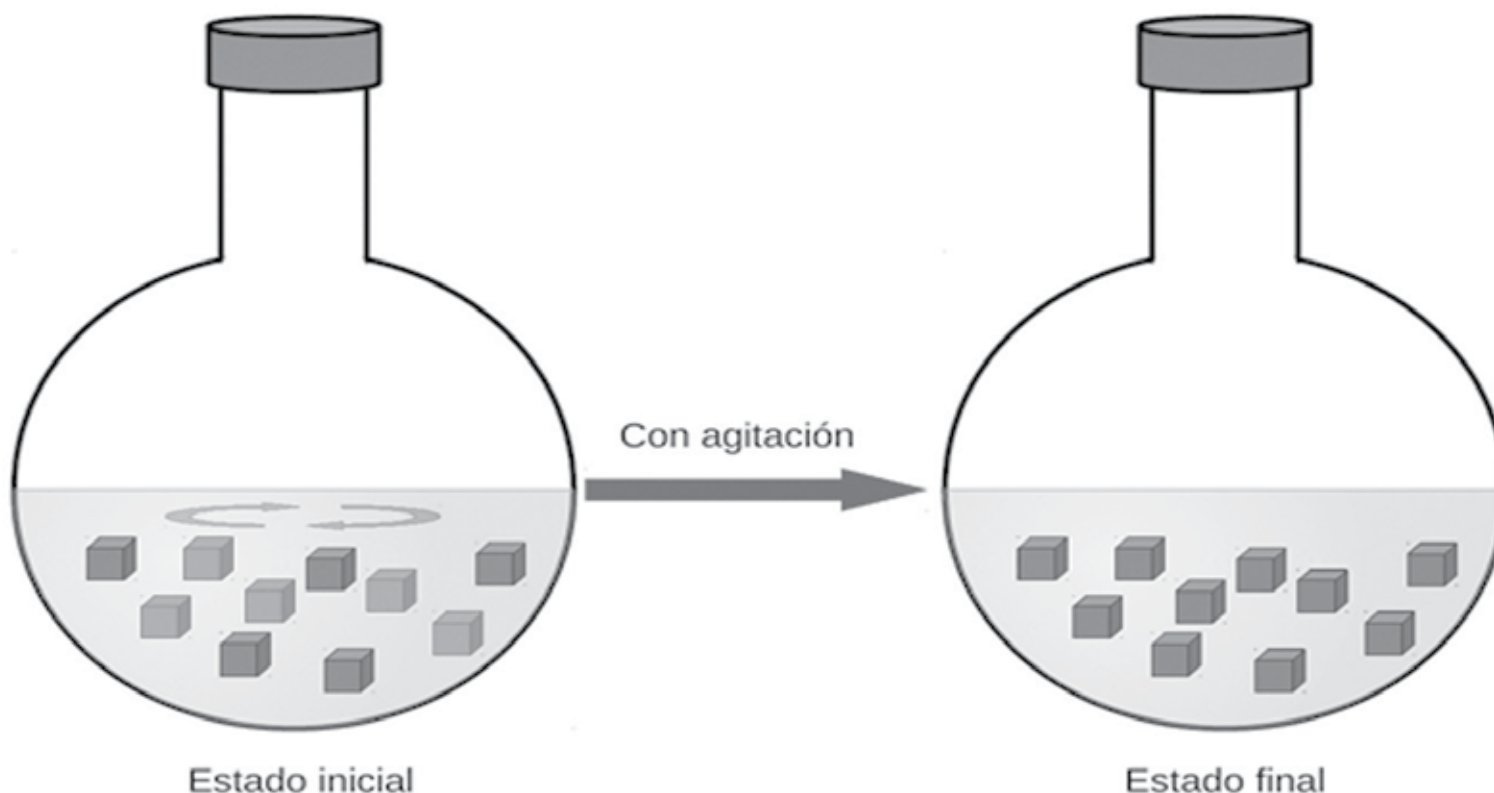


Figura 2. Proceso de cristalización parecido al empleado por Viedma. Al inicio del experimento hay la misma cantidad de cristales de clorato de sodio diestros y siniestros, en este ejemplo rojos y verdes, respectivamente. Durante el experimento uno de los dos tipos de cristales comienza a desaparecer (rojos) y al mismo tiempo se forman más cristales con la otra configuración (verdes) hasta que al final sólo quedan cristales verdes (siniestros). En otro experimento puede ocurrir que al final sólo queden cristales rojos o que de nuevo queden solo cristales verdes.