

LOS NUEVOS ESTADOS DE AGREGACIÓN DE LA MATERIA

THE NEW STATES OF AGGREGATION OF MATTER

Oscar Benjamín Bendeck Ortiz
Universidad Pedagógica de El Salvador
“Dr. Luis Alonso Aparicio”

obendeck@pedagogica.edu.sv
pp. 36 - 46

Recibido: 22-02-2023 Aceptado: 29-05-2023

RESUMEN

En el presente artículo se hace una breve exposición de los nuevos estados de agregación de la materia que se han descubierto gracias a los continuos avances en la tecnología de la experimentación y el trabajo conjunto de la comunidad científica internacional a la hora de compartir sus ideas, propuestas teóricas y modelos matemáticos. Para entender bien porque son considerados nuevos estados de la materia, primero hacemos un repaso sobre qué es un estado de agregación, apoyándonos de la teoría cinética molecular y las cualidades macroscópicas que exhiben los sistemas materiales, para luego entrar a una breve descripción de los nuevos estados de agregación descubiertos y por último resumir el trabajo actual sobre posibles nuevos descubrimientos.

PALABRAS CLAVE: estados de agregación, tecnología de experimentación, teoría cinética molecular, comunidad científica internacional, nuevos descubrimientos.

ABSTRACT

This article provides a brief presentation of the new states of aggregation of matter that have been discovered thanks to continuous advances in experimental technology and the joint work of the international scientific community in sharing their ideas, theoretical proposals and mathematical models. To fully understand why they are considered new states of matter, we first review what a state of aggregation is, based on molecular kinetic theory and the macroscopic qualities that material systems exhibit, and then enter into a brief description of the new states. Discovered aggregation states and finally summarize current work on possible new discoveries.

KEYWORDS: states of aggregation, experimental technology, molecular kinetic theory, international scientific community, new discoveries.

Introducción

Durante nuestros estudios en el nivel de Educación Media para las asignaturas de Ciencias Naturales, aprendimos que existen tres **estados de agregación de la materia**: sólido, líquido y gaseoso. Luego, más adelante, en la universidad, probablemente se nos haya mencionado un cuarto estado de agregación el cual conocemos como plasma y muchos dimos por concluido el aprendizaje de esta pequeña porción de las ciencias naturales. Pero en la realidad, existen muchos más estados de agregación de los cuales muy probablemente no hayamos escuchado y, de hecho, a la fecha, se siguen descubriendo nuevos tipos, siendo los cristales de tiempo lo último que ha despertado el interés de la comunidad científica, en lo que refiere a este tema. Entonces, nos cabe hacer las siguientes preguntas: ¿Por qué se da esto?, ¿Por qué se siguen obteniendo más conocimientos sobre un tema que parecía más que finalizado?, ¿Qué define estos nuevos estados de agregación de la materia?, Y sobre todo ¿qué es entonces un estado de la materia y por qué este concepto sigue aumentando su tipología, hoy en día?

Los 4 estados de agregación acorde a la teoría cinética molecular

La forma más simple de definir el **estado de agregación de la materia** es: la propiedad que clasifica la forma en cómo se agrupan o se agregan las partículas que conforman un sistema material. Bajo esta noción, es comúnmente conocida la clasificación de estado sólido, líquido, gaseoso y plasma donde podemos generalizar el comportamiento molecular del sistema material para cada estado, según se puede observar en la Tabla 1.

El comportamiento molecular depende del nivel de energía interno que el sistema material posee, siendo el estado sólido el de menor energía interna y el estado plasma, el mayor. Dicho nivel de energía interna se ve afectado por la temperatura y la presión del sistema material, de ahí que en determinadas presiones y temperaturas suceden los **cambios de fase**, que es cuando un sistema material pasa de un estado de agregación a otro. Pero, ¿hasta qué punto es justo diferenciar a un estado de agregación de otro, según las nociones del comportamiento molecular interno en un sistema material?; por ejemplo, ¿qué diferencia al estado plasma del estado gaseoso?

Tabla 1

Comportamiento General Molecular de los Estados de Agregación

Estado de agregación	Sólido	Líquido	Gas	Plasma
Nivel de agrupación de partículas	Ordenado (el conjunto de partículas forma estructuras ordenadas entre sí, manteniendo distancias equidistantes entre ellas).	Desordenado (El conjunto de partículas maneja estructuras menos ordenadas que en los sólidos, pero aún mas ordenadas que los gases, aún existe enlaces entre las partículas, pero son más débiles que la de los sólidos).	Desordenado (El conjunto de partículas ya no sostiene estructuras ordenadas, los enlaces entre ellas son más débiles que las de los líquidos y existe una mayor variabilidad entre las distancias entre ellas mismas).	Desordenado (Se rompen la mayoría de los enlaces entre las partículas, lo que ya no permite la formación de algún patrón o estructura ordenada, la distancias entre cada partícula poseen una dispersión mayor que las de los gases).
Fuerzas de atracción entre partículas	Fuerte (mayor que los líquidos, gases y el plasma).	Débil (menor que los sólidos, pero más fuertes que los gases y el plasma).	Débil (menor que los líquidos, similar al plasma).	Débil (menor que los líquidos, similar al gas).
Movilidad de las partículas	Bajo (menor que los líquidos, gases y plasma).	Intermedio (mayor que los sólidos, pero menor que los gases y el plasma).	Alto (mayor que los líquidos, menor que el plasma).	Alto (mayor que los gases).

Las cualidades macroscópicas como otra forma de categorizar los estados de agregación

Lo mencionado anteriormente, demuestra que no solo existe un enfoque molecular para diferenciar los estados de agregación, también existe un enfoque respecto a las cualidades macroscópicas que presentan los sistemas materiales. Rosa Gonzalez, Pilar Bosque, María Sansón y Roberto Salcedo (2014) resumen las cualidades macroscópicas de los estados de agregación planteados en la Tabla 2.

Tabla 2
Propiedades Macroscópicas de los estados de Agregación.

Estado de agregación	Propiedad Macroscópicas
Sólido	• Los sólidos poseen una forma y volumen rígidos e inalterables. • Poseen mayor densidad que los gases y líquidos.
Líquido	• Pueden fluir tomando la forma del recipiente que los contiene. • Por lo general presentan menor densidad que los sólidos. • Tienen volumen definido, pero su forma es indefinida.
Gas	• Se expanden, por lo cual ocupan todo el recipiente donde están contenidos. • Su densidad es menor que la de los sólidos y los gases. • Pueden ser comprimidos con facilidad y tienen forma indefinida.

Nota. Datos elaborados con información obtenida de González, R. et al. (2014, p. 12).

Plasma como un estado de agregación

Considerando que en su mayoría el plasma posee un comportamiento molecular similar al de un gas, en referencia a las débiles atracciones entre las partículas que la componen y el carecimiento de una estructura ordenada, en este caso, la diferencia se marca en hecho que, en el plasma, la energía interna es tan alta que permite la liberación de electrones de los átomos; esto hace que el plasma se describa como un gas ionizado tremendamente lleno de energía. Pero, ¿por qué diferenciarlo? ¿no bastó con llamarlo un gas ionizado?; esta diferenciación se dio en el hecho que, gracias a la liberación de los electrones, el plasma es un excelente conductor de electricidad y también es fuertemente influido por los

campos magnéticos (Martínez, 2009), y es por esto que es diferenciado como un estado de agregación, ya que exhibe cualidades macroscópicas muy distintas a la de un gas común. También existe el hecho de que, por sus altos niveles de energía en el nivel molecular, el plasma no puede ser contenido en ningún recipiente sólido como un gas, los científicos están experimentando con campos magnéticos muy poderosos para poder confinarlo (Martínez, 2009).

Como se dijo anteriormente, lo que da estas atribuciones especiales al plasma fue el hecho de que los electrones son liberados de los átomos debido a los altos niveles de energía que posee y a los choques que se dan entre estas partículas subatómicas, pero ¿qué pasa si aumentamos los niveles de energía interno al punto que pudiésemos llegar a afectar a los quarks, que son las partículas subatómicas contenidas en los protones y los neutrones?, ¿podrían los sistemas materiales exhibir otras características muy inusuales y diferentes a los 4 estados de agregación ya mencionados, si los niveles de energía interno llegan a afectar a los quarks?, y, más aún, si también tomamos en cuenta no solo el comportamiento molecular, sino también las cualidades macroscópicas que exhibe un sistema material, ¿podría una sustancia como la arena, ser otro estado de agregación?. Este cuestionamiento es válido ya que la arena, a pesar de tener un comportamiento molecular similar al de un sólido, sus cualidades macroscópicas son muy distintas a las de un sólido regular. No podríamos catalogar a la arena como un líquido y un gas tampoco, porque los comportamientos moleculares son muy distintos, pero a nivel macroscópico comparten ciertas cualidades parecidas a las de un líquido porque adopta la forma del recipiente que lo contiene; pero, entonces ¿dónde catalogamos a la arena?, ¿cómo un sólido debido su comportamiento molecular, o como un líquido debido a sus cualidades macroscópicas?

Los nuevos estados de agregación de la materia

Considerando todo lo dicho anteriormente, ahora que hemos descrito las formas más comunes en la cuales se suelen catalogar los estados de agregación, damos paso a una descripción breve de las nuevas categorías existentes:

- **Condensado Bose-Einstein:** la condensación de Bose-Einstein ocurre cuando el sistema material se encuentra en la temperatura conocida como cero absoluto, 0 Kelvin, el cual es la temperatura más baja posible en el universo acorde a la termodinámica (Peñaloza, et al., 2006). A esta temperatura, los átomos que conforman un sistema material dejan de moverse. Este estado de la materia fue predicho

por los estudios de Satyendrat Nath Bose y Albert Einstein, pero fue descubierto en 1995 por los científicos Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle y Carl E. Wieman (Peñaloza, et al., 2006).

- **Quark Gluon-Plasma:** este estado de la materia es el extremo a lo que ocurre en el condesado Bose-Einstein; en este elevamos tanto la temperatura del sistema material que los quarks y los gluones son las partículas subatómicas que los contienen (Morones, 2015). En el 2005, científicos del Colisionador Relativista de Iones Pesados, que pertenece al laboratorio Nacional Brookhaven de Estados Unidos, reportaron la creación de Quark Gluon Plasma colisionando átomos de oro con velocidades cercanas a la de la luz; estas colisiones produjeron temperaturas cercanas a los 4 trillones de grados centígrados, 250 mil veces más altas que en el interior del sol, una temperatura lo suficientemente caliente para separar los quarks y los gluones de los protones y los neutrones (Trafton, 2010).
- **Condensado Fermi:** la forma más fácil de entender este nuevo estado de agregación de la materia es conociendo la diferencia entre bosones y fermiones. La diferencia tiene su origen en el número total de electrones, protones y neutrones que posee el átomo en cuestión; si la suma de electrones, protones y neutrones es impar, el átomo es un fermión, mientras que, si esta suma es par, el átomo es un bosón (Paredes, 2005). El condensado Fermi es entonces un estado de agregación donde el sistema material también se encuentra en una temperatura muy cercana al cero absoluto, con la diferencia de que en el condensado Bose-Einstein, el sistema material está conformado por bosones, mientras que el condesado Fermi está conformado por fermiones. Su descubrimiento fue publicado en la revista *Science* 285, por DeMarco y Jin (1999).
- **Superfluido:** se le denomina superfluido a aquel sistema material en estado líquido pero que carece de viscosidad, lo cual permite que la materia fluya sin la más mínima pérdida de energía cinética (Khalatnikov, 2000). Se trataba de un estado teórico e ideal hasta que, en 1938, fue descubierto de manera experimental por el físico Piotr Kapitsa al enfriar Helio líquido (Helio II) a una temperatura de 2.78 K, muy cercanas al cero absoluto. Acorde a la mecánica clásica, los átomos deberían inmovilizarse en el cero absoluto, y en las temperaturas muy cercanas a este, la vibración de ellos debería ser mínima, provocando que la mayoría de sistemas materiales se solidifiquen. El Helio líquido muestra el comportamiento de un superfluido en temperaturas cercanas

al cero absoluto atribuido a la débil interacción relativa que las partículas de Helio tienen (Khalatnikov, 2000, p. 3).

Posibles Estados de Agregación que aún requieren más estudio

Existen otros fenómenos físicos que aún están en la lista de espera para que formen parte de los estados de agregación, el problema es que aún se manejan solamente a través de la teoría o simulaciones, o bien la comunidad científica aún no logra ponerse de acuerdo:

- **Supersólidos:** los investigadores Moses Chan y Eun-Seong Kim creyeron haber descubierto este estado de agregación al ver el comportamiento del helio-4 cuando fue sometido a temperaturas cercanas al cero absoluto; ellos infirieron que este sistema material poseía característica de un sólido, pero al mismo tiempo de un superfluido (fluido con cero viscosidad). Sus descubrimientos fueron publicados en dos artículos: “Observación Probable del Estado Supersólido para el Helio” y “Observación de superfluidez en Helio Sólido”, publicados en las revistas *Nature* y *Science* respectivamente, en el año 2004. Desafortunadamente, luego de la publicación de sus descubrimientos, estos no han podido ser replicados aún y muchos intentos arrojan otro tipo de resultados; más aún, en el año 2012, el propio Moses Chan se echó para atrás en su descubrimiento, argumentando la cantidad de resultados anómalos que otros experimentos han arrojado hasta la fecha: “Habría sido algo genial si [la interpretación] del supersólido fuese correcta, pero la madre naturaleza tiene sus propios caminos” (Chan y Kim, 2012). Esto no quiere decir que los experimentos se han detenido, ya que, hasta la fecha, el físico John Reppy y el físico ganador del premio nobel en 1977, Philip W. Anderson, consideran que teóricamente este estado es aún posible.
- **Cristales de tiempo:** este fenómeno aún teórico fue propuesto por el físico Frank Wilczek, en 2012, en el artículo llamado: “Cristales de Tiempo Cuántico” (Wilczek, 2012), para la revista *Physical Review Letters*. Wilczek (2012) propone una estructura sólida que no solo sea uniforme en el espacio, sino también en el tiempo. Dicha propuesta despertó el interés de la comunidad científica y a la tarea por demostrar semejante concepto se han unido varios científicos alrededor del mundo, tales como Jakub Zakrzewski, Alfred Shapere, Tongcang Li, Zhe-Xuan Gong, Zhang-Qi Yin, H. T.

Quan, Xiaobo Yin, Peng Zhang, L.-M. Duan, Xiang Zhang, entre otros. La Universidad de Granada, en España, también se ha unido a los esfuerzos por demostrar la existencia de este nuevo estado de la materia, a través de los trabajos del físico y profesor de la universidad, Pablo Hurtado, que con su equipo de trabajo han creado simulaciones a través de una supercomputadora que rompe la simetría de un fluido no solo a través del espacio, si no a través del tiempo. Por el momento solo se han logrado crear simulaciones del fenómeno (Hurtado-Gutiérrez, et al., 2020).

- **Materia granular:** con este último posible estado se pueden reflexionar las preguntas que se hicieron respecto a la arena, porque para poder catalogar dicho sistema material dentro de uno de los estados de agregación ya conocidos, dependería mucho de como delimitamos y configuramos el sistema material en particular, porque si separamos un solo grano de arena este sería sólido por su estructura molecular, pero si juntamos varios granos de arena y formamos lo que conocemos como materia granular, las propiedades del conjunto son más parecidas a la de los líquidos y los gases. Lo mismo podemos decir de otras sustancias como la harina, el cemento o el azúcar. Kenneth Kamrin (s.f.), profesor asociado de Ingeniería Mecánica del MIT, opina que, para estudiar estos sistemas, los modelos deben incluir razonamientos que cataloguen a los materiales granulares dentro de los estados sólido, líquido y gaseoso.

Este último razonamiento que se hace a los materiales granulares implica que para poder catalogar a un sistema material dentro de un estado de agregación específico también hay que considerar como delimitados dicho sistema y que comportamientos exhiben distintas configuraciones.

Conclusión

Para poder descubrir nuevos estados de agregación de la materia se tuvo que recurrir a condiciones extremas como la del enfriamiento en temperaturas cercanas al cero absoluto o, por otro lado, producir temperaturas superiores a las del sol, que solo fue posible gracias a los aceleradores de partículas. Como todo descubrimiento científico, para poder llegar a estos niveles de conocimiento, primero se tuvieron que hacer razonamientos teóricos al alcance solo de nuestra imaginación y el uso de modelos matemáticos que los sustenten, para luego, años más tarde, desarrollar la tecnología y el ingenio necesarios para recrear dichos conceptos a nivel experimental. Los estados que aún están en la lista de espera ya poseen suficiente teoría y modelos matemáticos para creer que, si existen, tan solo toca esperar a las recreaciones experimentales que comprueben dichos conocimientos.

Referencias

Chan, M. y Kim, D. (2012). Absence of Supersolidity in Solid Helium in Porous Vycor Glass. *Physical Review Letters*, 109. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.109.155301>

DeMarco, B., & Jin, D. S. (1999). Onset of Fermi degeneracy in a trapped atomic gas. *Science*, 285(5434), 1703-1706. <https://doi.org/10.1126/science.285.5434.1703>

González R., Montagut P., Sansón M., Salcedo R. (2014). *Química*. <https://elibro.net/es/ereader/pedagogica/39463>

Hurtado-Gutiérrez, R., Carollo, F., Pérez-Espigares, C. y Hurtado, P.I. (2020). Building continuous time crystals from rare events, *Physical Review Letters*, 125, 160601 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.160601>

Kamrin, K. (s.f.). *The Nature of Sand*. <https://meche.mit.edu/news-media/video/0/1987>

Khalatnikov, I. (2000). *Una Introducción a la Teoría de los Superfluidos*. Tercera Edición. CRC Press.

Martínez, E. (2009). *Química I – Con Enfoque en Competencias*. Cengage Learning Editores.

Morones, J. (2015). La búsqueda del Plasma de quarks y gluones. *Revista Ingenierías*, Vol. XVIII. (No. 69) PP. 36-50, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL.

Paredes, R. (2005). Gases atómicos a temperaturas cercanas al cero absoluto. *Revista Digital Universitaria* [en línea]. 10 de julio 2005, Vol. 6, No. 7. [Consultada: 11 de julio de 2005]. https://www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art67/jul_art67.pdf

Peñaloza, G., Najera, M. D., Ongay, F., & Agüero, M. (2006). Condensación de Bose-Einstein. El quinto estado de la materia. *CIENCIA ergo-sum. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 13(3), 281-288.

Serrano, C. (17 de diciembre de 2020). Qué son los “cristales de tiempo”, el extraño estado de la materia que puede revolucionar la tecnología. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-55340264>

Trafton, A. (2010). Explained: Quark-gluon plasma. Versión digital de la *Revista MIT News*. <https://news.mit.edu/2010/exp-quark-gluon-0609>

Wilczek, F. (2012). Quantum Time Crystals. *Physical Review Letters*, 109, 160401. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.109.160401>