

Los estados de la materia y el diagrama de fases

José Torres Arenas

División de Ciencias e Ingenierías, Campus León. Universidad de Guanajuato.
Loma del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150, León, Gto., México
jtorres@fisica.ugto.mx

Desde mis estudios de primaria, mis profesoras (todos mis profesores en la primaria fueron mujeres, y debo decir, todas ellas excelentes profesoras) me dijeron que la materia se podía encontrar en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Esto me hacía completo sentido, toda la materia a mi alrededor encajaba perfectamente en alguna de estas categorías. Podía ver, por ejemplo, las rocas, los platos y vasos de mi casa en un estado sólido; el agua y los refrescos que bebía en estado líquido, y el vapor de agua de las cazuelas humeantes de la cocina de mi casa en un estado gaseoso. ¡Todo encajaba perfectamente!

Cuando ingresé a la universidad a estudiar la licenciatura en Física, este esquema se mantuvo más o menos igual, pero empezó a flaquear. Empecé a escuchar que la materia podía estar en estados más exóticos, como el plasma o el condensado de Bose-Einstein. Para ser sincero, no entendía gran cosa sobre esos nuevos estados de la materia en aquellos tiempos. Muchos años después comprendí un poco más. La naturaleza es mucho más diversa de lo que pensaba en aquellos años, ¡y mucho más interesante!

No hablaré en este escrito sobre esos nuevos estados de la materia que van más allá del sólido, líquido y gaseoso, pues esa es otra historia (y muy interesante, por cierto). Me gustaría quedarme al nivel de lo que mis profesoras de primaria me enseñaron y aquello que la experiencia cotidiana reafirmaba de que en la naturaleza existen tres estados en los cuales la materia se manifiesta. Aun quedándonos a este nivel de descripción, la situación dista mucho de ser sencilla.

Si pensamos en un compuesto aparentemente simple, como el agua (una pequeña molécula formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno) la cual, además, estamos cotidianamente acostumbrados a ver en sus tres estados (sólido, líquido y gaseoso; ver Figura 1), estaríamos tentados a pensar que la descripción de cómo se transforma de uno de estos estados a otro sería una cosa simple. Pero no lo es.

A los científicos nos gusta describir los estados de agregación de los materiales en gráficas específicas a las que llamamos diagrama de fases. A los estados de la materia



Figura 1. Agua en sus tres estados de la materia. Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/iceberg-ant%C3%A1rtida-polar-hielo-mar-404966/>

nos gusta llamarles “fases de la materia”. Decimos entonces que la materia se presenta en tres “fases”: sólida, líquida y gaseosa. De allí viene el nombrecito de “diagrama de fases”, que no sería otra cosa más que un diagrama donde podemos visualizar los diferentes estados de la materia.

El diagrama de fases usual consiste en un plano, donde en uno de los ejes ponemos la presión a la cual se encuentra el material y en el otro la temperatura. Un diagrama de fases típico se muestra en la Figura 2.

Lo que nos dice este diagrama es que, para un cierto valor de presión y temperatura, un sistema determinado (como el agua) se encontrará en alguna de las tres fases mencionadas. Existen, sin embargo, algunos puntos especiales en esta representación gráfica. Si observamos cualquier punto que se encuentre sobre alguna de las curvas

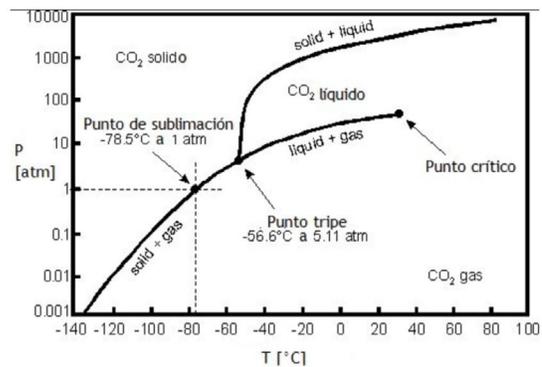


Figura 2. Diagrama de Fases del CO₂ Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Diagrama-de-fase-del-Dioxido-de-carbono-CO-2-19_fig3_265842284

mostradas, a este punto le corresponderá un valor de presión y temperatura a los cuales el sistema no se encontrará en una sola fase, ¡sino en dos a la vez! En ese punto decimos que las dos fases coexisten. Incluso existe un punto especial (el único en la gráfica) en el cual las tres curvas coinciden, este punto es llamado el *punto triple*. En él, las tres fases (sólida, líquida y gaseosa) coexisten. Es decir que, para esos valores

particulares de la presión y la temperatura podemos encontrar a la sustancia ¡en las tres fases al mismo tiempo!

A cada una de las curvas que separan una fase de otra las llamamos curvas de coexistencia. En el diagrama mostrado tenemos tres de ellas, las curvas de coexistencia sólido-gas, sólido-líquido y líquido-gas. Existe otro punto especial en ese diagrama y es el punto donde finaliza la curva de coexistencia líquido-gas. Este punto es llamado el *punto crítico*. Es el último par de valores de presión y temperatura donde las fases líquida y gaseosa pueden coexistir. A esos valores les llamamos presión y temperatura críticas.

En el punto crítico de un material ocurren cosas bastante extrañas. Cantidades como la densidad de la sustancia tienen grandes fluctuaciones en su valor. Esto da lugar a un fenómeno conocido como *opalescencia crítica*, donde súbitamente el material se vuelve turbio, pues las grandes fluctuaciones en la densidad provocan una gran dispersión de la luz que llega a este material.

Para valores mayores de la presión y de la temperatura críticas debemos adentrarnos en un mundo diferente, el de los llamados *fluidos supercríticos*. Un mundo donde las propiedades del material no son ni las de un líquido ni tampoco las de un gas, sino algo intermedio entre ellas. Estas propiedades “híbridas” de los fluidos en esta región del diagrama de fases es utilizada para realizar, de manera más eficiente y limpia, varios tipos de procesos industriales.

La construcción del diagrama de fases de una sustancia nunca es una tarea sencilla. Ya sea que se utilicen herramientas teóricas,

experimentales o ambas, se requiere de un esfuerzo considerable. Si pensamos en el ejemplo del H_2O , del cual hablamos anteriormente, se ha determinado con el paso de los años que la complejidad del diagrama de fases del agua es vasta, en particular en la fase sólida. Se conocen 11 tipos de sólidos del agua, es decir “11 tipos de hielos”, cada uno con propiedades diferentes. ¡Un verdadero rompecabezas!. Ver figura 3.

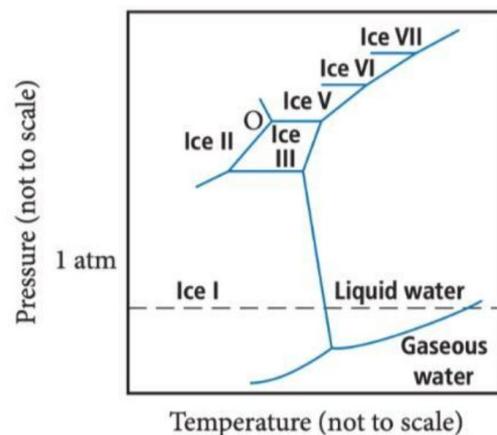


Figura 3. Diagrama de Fases del H_2O . Fuente: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/high-pressure-phase-diagram-ice-shown--notice-high-pressure-ice-exist-several-different-so-q91262448>

A pesar de las dificultades que se pueden enfrentar en la construcción de diagramas de fases para diversas sustancias, yo puedo asegurar que vale la pena el esfuerzo. El conocimiento de estos diagramas de fases permite diseñar metodologías prácticas de alta precisión y bajar costos de producción en una gran cantidad de procesos, como aquellos de la industria de los alimentos o de la farmacéutica, por mencionar algunos ejemplos. Una cuestión que toca muchos aspectos del día a día de todos nosotros, desde la producción del café soluble que tomamos en la mañana hasta muchos de los medicamentos que consumimos. Quizás la próxima vez que veamos un cubo de hielo derritiéndose podamos mirarlo con una perspectiva diferente.