



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

## Diagrama de fases de una sustancia pura: el agua

Apellidos, nombre	Lorena Atarés Huerta (loathue@tal.upv.es)
Departamento	Tecnología de Alimentos
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



## 1 Resumen de las ideas clave

Un diagrama de fases es una representación gráfica en la cual se presentan las fases (sólido, líquido, vapor) en las que se encuentra un determinado sistema bajo ciertas condiciones. En el caso concreto de una sustancia pura, esta representación tendrá en el eje de abscisas la temperatura del sistema y en el de ordenadas su presión. De ese modo, sabiendo la presión y temperatura a las que se encuentra el sistema, y situando estas coordenadas en el diagrama se podrá deducir en qué fase se encuentra el sistema (sólido, líquido o vapor). También puede ocurrir que, una vez definidas la presión y la temperatura, y situado el punto correspondiente en el diagrama, se llegue a la conclusión de que el sistema no está en una única fase sino en dos o incluso en tres.

En este artículo docente vamos a describir el diagrama de fases del agua, y lo utilizaremos como ejemplo para explicar el manejo del diagrama de fases de cualquier sustancia pura. Además, plantearemos cuestiones para representar en el diagrama procesos de cambio de fase.

## 2 Introducción

Todos sabemos que, a presión atmosférica, el agua se mantiene en estado líquido entre 0 y 100°C. También sabemos que, por encima de 100°C está en fase vapor (porque hierve a 100°C), y que por debajo de 0°C está en fase sólida (porque se congela a esa temperatura).

Debemos además ser conscientes de que las temperaturas de cambio de fase (sólido-líquido y líquido-vapor) dependen de la presión a la que se encuentre el sistema (en nuestro caso el agua). Por ejemplo, dentro de una olla a presión, el agua puede permanecer líquida por encima de 100°C, lo que acelera la cocción de los alimentos.

Ante esta dependencia podríamos preguntarnos, por ejemplo, si es posible calentar hielo y que éste pase a vapor sin pasar por el estado líquido.

La dependencia de los puntos de fusión y ebullición frente a la presión se representan en un diagrama de fases. Este diagrama es una representación gráfica en la cual se presentan las fases en las que se encuentra un determinado sistema (sólido, líquido y/o vapor) bajo ciertas condiciones. En el caso concreto de una sustancia pura, estas condiciones son la presión y la temperatura.

El estudio del diagrama de fases del agua nos va a permitir averiguar en qué estado vamos a encontrar el agua en diferentes condiciones de presión y temperatura.

## 3 Objetivos

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran la capacidad de:

- Interpretar correctamente el diagrama de fases de una sustancia pura



- Identificar la fase o fases en que se encuentra el agua pura bajo ciertas condiciones
- Resolver cuestiones relacionadas con el diagrama de fases del agua

## 4 Desarrollo

Ante la necesidad de saber en qué fase o fases se encuentra un determinado sistema (sólido, líquido, vapor), el diagrama de fases del mismo supone una herramienta fundamental. Un diagrama de fases es una representación gráfica en la que, en función de las condiciones, se indica la fase o fases en las que el sistema está en equilibrio termodinámico.

Vamos a describir el diagrama de fases de una sustancia pura, en concreto el agua. Para ello, comenzaremos por averiguar cuántas variables debemos conocer para que el estado de nuestro sistema quede definido.

### 4.1 Regla de las fases

El número de variables termodinámicas independientes que es necesario conocer para determinar el estado del sistema (grados de libertad) viene dado por la regla de las fases:

$$L = C - f + 2$$

*Ecuación 1. Regla de las fases.*

Donde:

L es el número de grados de libertad

C es el número de componentes

f es el número de fases

En el caso concreto de una sustancia pura, C tomará el valor 1 y f podrá valer como máximo 3, puesto que una sustancia como máximo puede estar en tres fases (sólido, líquido y vapor). Aplicando la regla de las fases, se puede concluir que el número máximo de variables que han de conocerse es 2. Por lo tanto el estado de un sistema de un único componente quedará perfectamente definido en un diagrama bidimensional, conociendo solamente su presión y su temperatura.

Es lógico que, para determinar el estado en que se encuentra una sustancia pura, debemos saber tanto a qué temperatura como a qué presión se encuentra. Por ejemplo, si nuestro sistema es agua a presión atmosférica, nos falta información para saber si está en estado sólido, líquido o gas, puesto que a presión atmosférica y dependiendo de la temperatura podemos tener agua en cualquiera de los tres estados.



## 4.2 Diagrama de fases del agua

Ya hemos razonado por qué si nuestro sistema es una sustancia pura basta con una representación bidimensional para determinar su estado. En el caso concreto del agua esa representación tiene el siguiente aspecto:

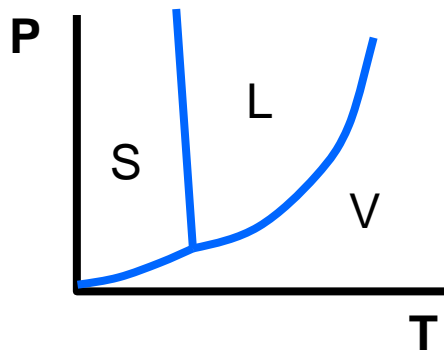


Gráfico 1. Diagrama de fases del agua

En el diagrama de fases del agua (gráfico 1):

- el área indicada con la letra **S** corresponde a todas aquellas condiciones de presión y temperatura en las cuales el agua se encuentra en estado **sólido** (prácticamente a cualquier presión, y a temperatura baja)
- el área indicada con la letra **V** corresponde a todas aquellas condiciones de presión y temperatura en las cuales el agua se encuentra en estado **vapor** (a presiones bajas y temperaturas elevadas)
- el área indicada con la letra **L** corresponde a todas aquellas condiciones de presión y temperatura en las cuales el agua se encuentra en estado **líquido** (en las situaciones intermedias)

La línea de contacto entre las áreas S y L representa todas aquellas situaciones en las que el agua se encuentra en estado sólido y líquido en equilibrio (por ejemplo, a presión atmosférica y 0°C). De este modo, quedan descritas las condiciones a las cuales ocurre el fenómeno de **fusión o congelación**.

La línea de contacto entre las áreas L y V representa todas aquellas situaciones en las que el agua se encuentra en estado líquido y vapor en equilibrio (por ejemplo, a presión atmosférica y 100°C). De este modo, quedan descritas las condiciones a las cuales ocurre el fenómeno de **ebullición o condensación**. Esta curva finaliza en el denominado **punto crítico**, cuyas coordenadas para el agua son 218 atm y 374 °C.

La línea de contacto entre las áreas S y V representa todas aquellas situaciones en las que el agua se encuentra en estado sólido y vapor en equilibrio, algo que, en el caso del agua, nunca ocurre a presión atmosférica. De este modo, quedan descritas las condiciones a las cuales ocurre el fenómeno de **sublimación**.

Las tres líneas confluyen en un único punto, el llamado **punto triple**, cuya presión es 611 Pa (0.006 atm) y cuya temperatura es 0.01°C. Únicamente bajo



esas condiciones puede haber agua en estado sólido, líquido y vapor en equilibrio.

## 4.3 Procesos de cambio de fase

En esta sección vamos a plantear cuestiones relacionadas con la representación en el diagrama de diversos procesos de cambio de fase.

### 4.3.1 Sublimación

Supongamos que tenemos inicialmente agua en estado sólido a una presión inferior a 0.006 atm, y aumentamos la temperatura manteniendo la presión constante. ¿Cómo se representaría este proceso en el diagrama? Puesto que la presión no varía pero la temperatura aumenta, se representaría como una línea recta horizontal que atravesaría la curva de sublimación (flecha roja en el gráfico 2). De este modo, el agua inicialmente en estado sólido, a través de un calentamiento a presión constante, pasaría a estar en estado vapor.

### 4.3.2 Congelación

Supongamos ahora que partimos de agua en estado líquido a presión atmosférica, y reducimos la temperatura manteniendo la presión constante. ¿Cómo se representaría este proceso en el diagrama? Puesto que la presión no varía pero la temperatura disminuye, se representaría como una línea recta horizontal que atravesaría la curva de fusión (flecha verde en el gráfico 2). De este modo, el agua inicialmente en estado líquido, a través de un enfriamiento a presión constante, pasaría a estar en estado sólido. Puesto que el proceso ocurre a presión atmosférica la temperatura correspondiente sería 0°C.

### 4.3.3 Condensación

Finalmente pensemos que partimos de agua en estado vapor a presión atmosférica, y aumentamos la presión manteniendo la temperatura constante. ¿Cómo se representaría este proceso en el diagrama? Puesto que la temperatura no varía pero la presión aumenta, se representaría como una línea recta vertical que atravesaría la curva de ebullición (flecha morada en el gráfico 2). De este modo, el agua inicialmente en estado vapor, a través de una compresión a temperatura constante, pasaría a estar en estado líquido. Puesto que la curva de condensación finaliza en el punto crítico, este proceso solamente podría tener lugar a temperaturas inferiores a la temperatura crítica.

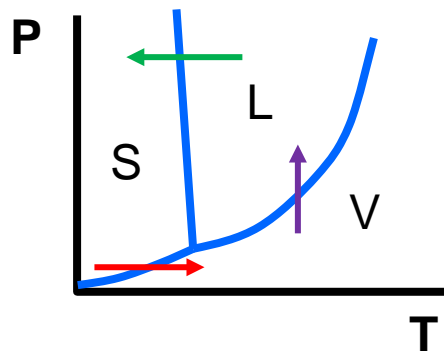


Gráfico 2. Diagrama de fases del agua con ejemplos de procesos

## 5 Cierre

En este artículo docente se ha descrito la representación gráfica conocida como diagrama de fases, en el caso concreto de que el sistema sea agua pura. Se han planteado además varias cuestiones sencillas relacionadas con procesos de cambios de fases y cómo representarlos en el diagrama.

## 6 Bibliografía

- QUÍMICA, CURSO UNIVERSITARIO. B.H. Mahan. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. 1990
- FISICOQUÍMICA. Levine, I. N. McGraw-Hill. 1991
- FISICOQUÍMICA. Atkins, P.W. Ed. Addison-Wesley. Iberoamericana. 1991