

# Equilibrio entre fases de sustancias puras



Diagramas de fases con un componente

Ecuaciones de Clapeyron y de Clausius-Clapeyron

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Fases de las sustancias puras

Variando  $P$  y/o  $T$  podemos modificar la fase



Cartagena99

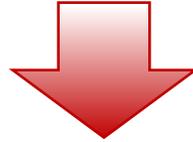
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## Fases de las sustancias puras

¿Cuál es la fase más estable para unos valores dados de  $P$  y  $T$ ?



La que tenga el menor valor de  $G$  para una misma cantidad de sustancia

De esta forma,  $\Delta G < 0$  (espontáneo a  $P$  y  $T$  constantes) cuando las otras fases se transforman en la fase con menor  $G$

De esta forma,  $\Delta G > 0$  (no se produce a  $P$  y  $T$  constantes) cuando se intenta transformar la fase con menor  $G$  en cualquiera de las otras fases

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## Criterio de estabilidad

Variación de  $G$  para la transferencia de masa entre fases  
a  $P$  y  $T$  constantes

Condición de espontaneidad

$$dG < 0$$

Criterio para la fase más estable

Condición de equilibrio

$$dG = 0$$

Criterio para el equilibrio entre fases

La  $G_m$  de una fase varía con  $P$  y  $T$  de acuerdo con:

$$dG_m = -S_m dT + V_m dP$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

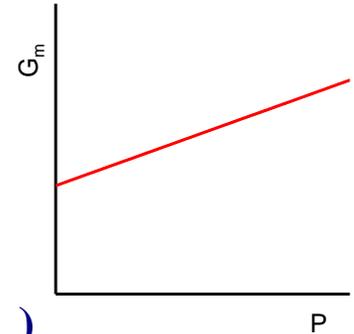
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Criterio de estabilidad

## Variación de $G_m$ con la presión

Manteniendo  $T$  constante



$V_m$  varía poco con  $P$   
Sólidos, líquidos

$$G_m(P) = G_m(P_{inic}) + V_m(P - P_{inic})$$

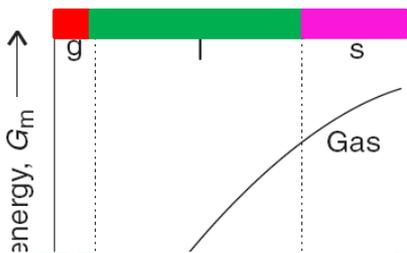
$$\int_{P_{inic}}^P dG_m = \int_{P_{inic}}^P V_m dP$$

Gases (ideales)

$$G_m(P) = G_m(P_{inic}) + RT \ln\left(\frac{P}{P_{inic}}\right)$$

$$V_m = \frac{RT}{P}$$

Importante para el potencial químico de



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Criterio de estabilidad

## Variación de $G_m$ con la temperatura

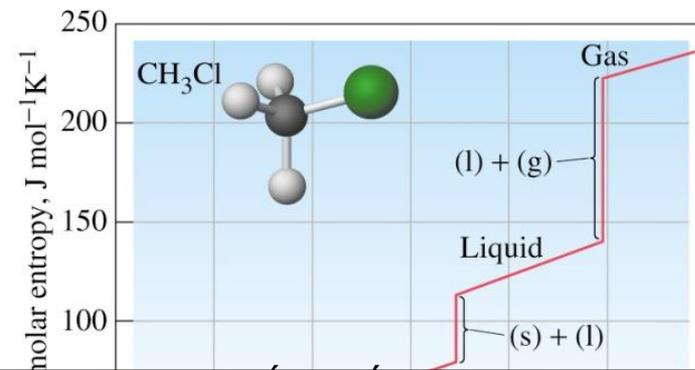
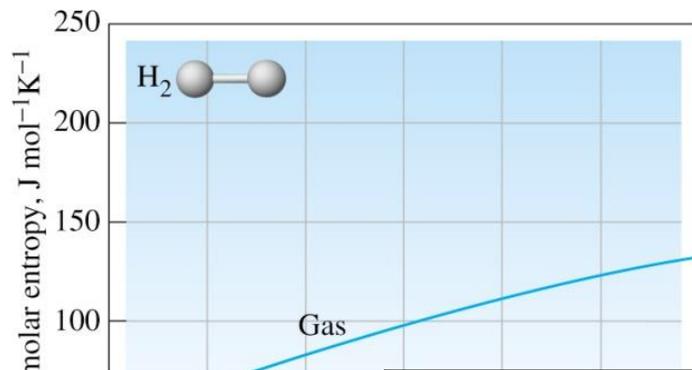
Manteniendo  $P$  constante

$$\int_{T_{inic}}^T dG_m = - \int_{T_{inic}}^T S_m dT$$

Suponiendo que  $S_m$   
no varía con  $T$

$$G_m(T) = G_m(T_{inic}) - S_m(T - T_{inic})$$

$$S_m(\text{gas}) > S_m(\text{líquido}) > S_m(\text{sólido})$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

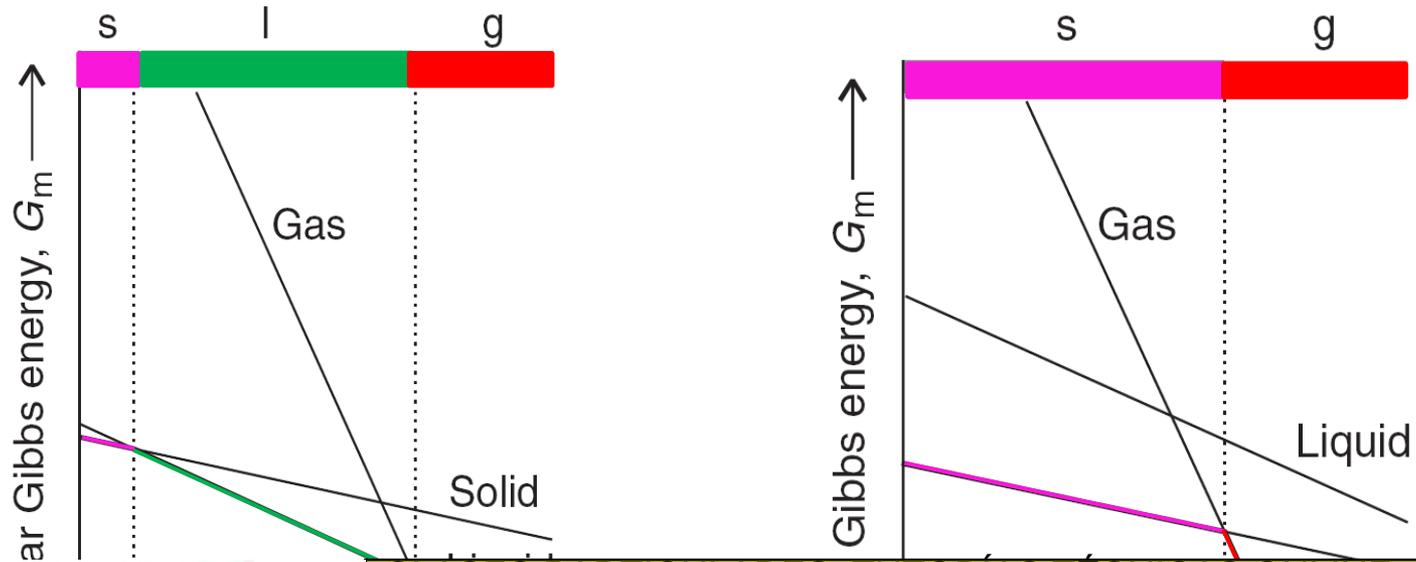
Temperature, K

Temperature, K

## Criterio de estabilidad

### Variación de $G_m$ con la temperatura

Manteniendo  $P$  constante

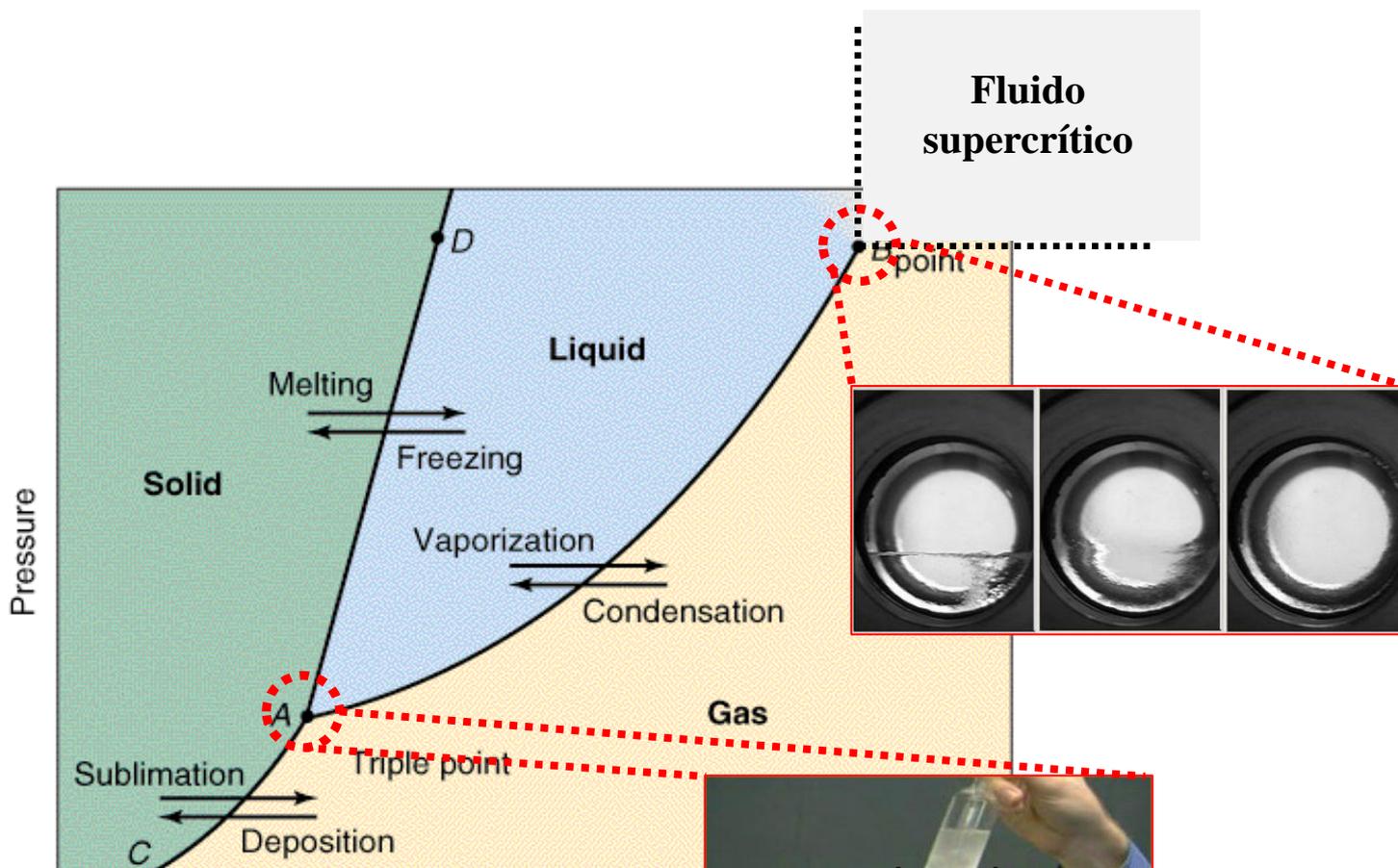


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Diagrama de fases

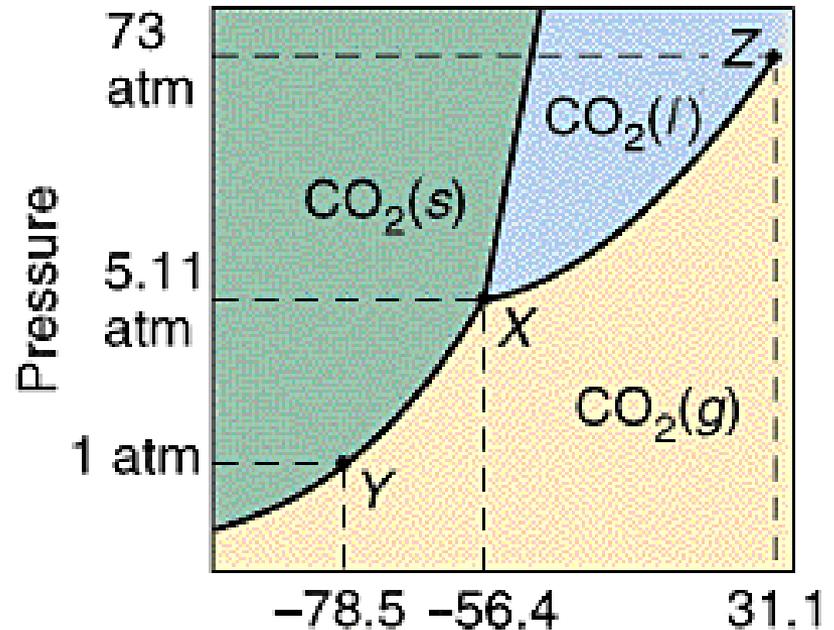
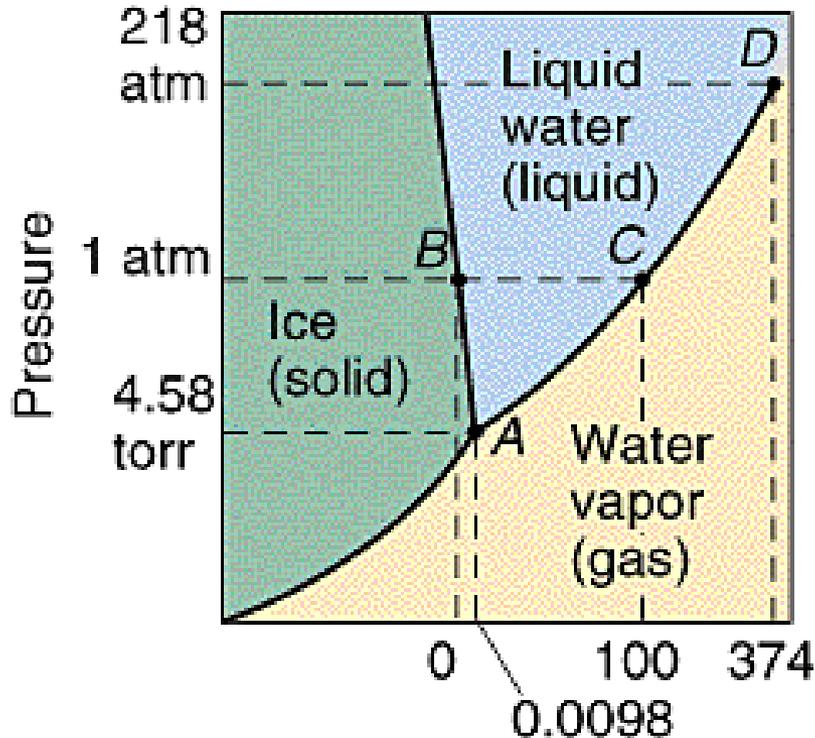


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Diagrama de fases



**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Equilibrio entre fases de sustancias puras

Diagramas de fases con un componente



Ecuaciones de Clapeyron y de Clausius-Clapeyron

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ecuación de Clapeyron

## Pendiente de las líneas de coexistencia

Punto de partida  $G_m^\alpha(P, T) = G_m^\beta(P, T)$

Perturbación del equilibrio por una variación infinitesimal de P o T a lo largo de una línea de coexistencia

$$dG_m^\alpha = dG_m^\beta$$
$$dG_m = V_m dP - S_m dT$$
$$V_m^\alpha dP - S_m^\alpha dT = V_m^\beta dP - S_m^\beta dT$$
$$(V_m^\beta - V_m^\alpha) dP = (S_m^\beta - S_m^\alpha) dT$$
$$\frac{dP}{dT} = \frac{(S_m^\beta - S_m^\alpha)}{(V_m^\beta - V_m^\alpha)} = \frac{(\Delta S_m)_T}{(\Delta V_m)_T}$$

1 mol i ( $\alpha$ )  $\xrightarrow[\text{(\Delta V}_m)_T]{\text{(\Delta S}_m)_T}$  1 mol i ( $\beta$ )

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(\Delta H_m)_T}{T(\Delta V_m)_T}$$

Ec. de Clapeyron

# Ecuación de Clapeyron

## Pendiente de las líneas de coexistencia

Vaporización (Líquido- Gas)  
Sublimación (Sólido-Gas)

$(\Delta H_m)_{tr} > 0$  ya que:  $\xrightarrow{\text{Vencer fuerzas intermoleculares}} \text{sólido} \rightarrow \text{líquido} \rightarrow \text{gas}$   
 $(\Delta V_m)_{tr} \gg 0$  ya que:  $(V_m)_g \gg (V_m)_{l,s}$

Pendiente de las líneas L-G y V-G es positiva y pequeña

Fusión (Sólido- Líquido)

Generalmente  $(\Delta H_m)_{tr} > 0$   
 $(\Delta V_m)_{tr} > 0$

Pendiente de la línea S-L es positiva y grande

Algunos casos  
 ( $H_2O$ , Ga, Bi)  $(V_m)_l < (V_m)_s \rightarrow (\Delta V_m)_{tr} < 0$

Pendiente de la línea S-L es negativa y grande



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Integración de la ecuación de Clapeyron

### Equilibrio entre fases condensadas

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(\Delta H_m)_{tr}}{T(\Delta V_m)_{tr}}$$

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = \int_{T_1}^{T_2} \frac{(\Delta H_m)_{tr}}{T(\Delta V_m)_{tr}} dT \approx \frac{(\Delta H_m)_{tr}}{(\Delta V_m)_{tr}} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x$$

$$P_2 - P_1 \approx \frac{(\Delta H_m)_{tr}}{(\Delta V_m)_{tr}} \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Integración de la ecuación de Clapeyron

## Equilibrio con una fase gaseosa

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(\Delta H_m)_v}{T(\Delta V_m)_v} \approx \frac{(\Delta H_m)_v}{T(V_m)_g}$$

Gas ideal  $(V_m)_g = \frac{RT}{P}$

$$\frac{dP}{PdT} = \frac{(\Delta H_m)_v}{RT^2}$$

$$\frac{dx}{x} = d \ln x$$

$$\frac{d \ln P}{dT} \approx \frac{(\Delta H_m)_v}{RT^2}$$

Integración entre dos estados de equilibrio  $(P_1, T_1)$  y  $(P_2, T_2)$  con

$$(\Delta H_m)_v \approx cte$$

$$\int_{P_1}^{P_2} d \ln P \approx \frac{(\Delta H_m)_v}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^2}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \approx - \frac{(\Delta H_m)_v}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$