

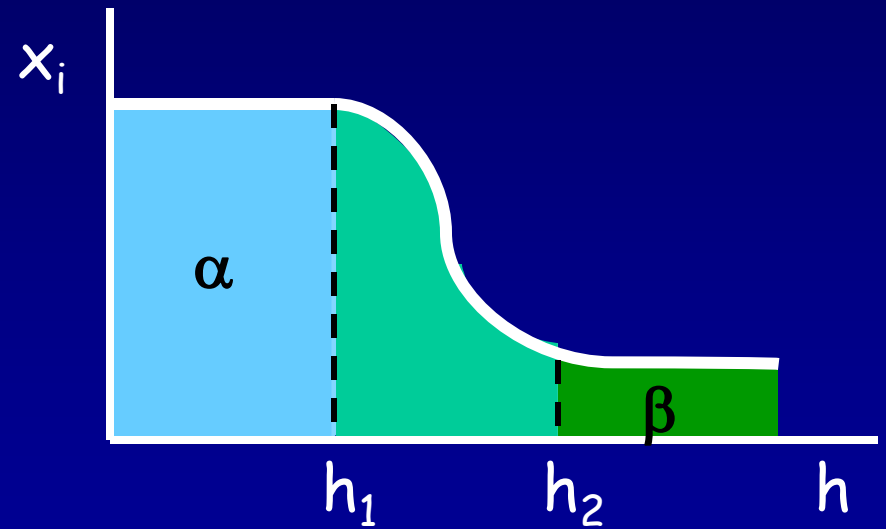
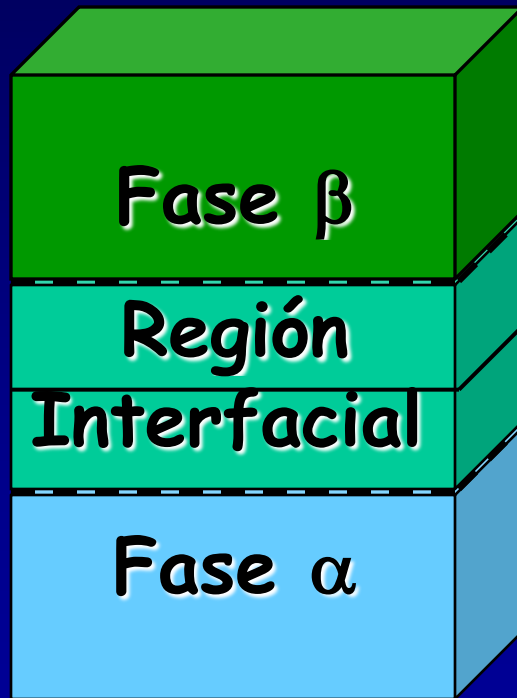
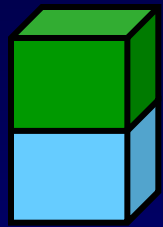
# Índice

- 1- La interfase.
- 2- Tensión Superficial.
- 3- Interfases Curvas.
  - 3.1. Ecuación de Young-Laplace.
  - 3.2. Presión de vapor y ecuación de Kelvin.
  - 3.3. Capilaridad.
- 4- Termodinámica de superficies en sistemas multicomponentes: Isoterma de adsorción de Gibbs.
- 5- Monocapas

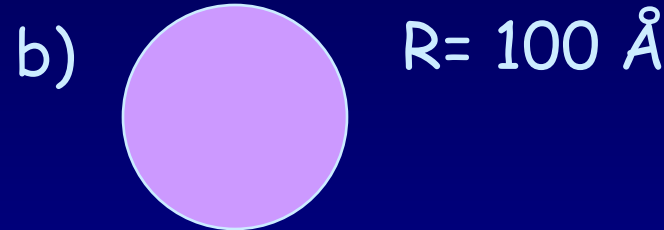
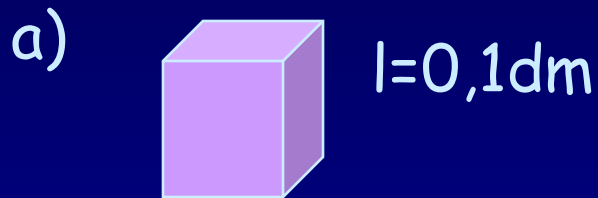
# Bibliografía

- Levine 'FisicoQuímica'. Tema 13. 4ª Ed.
- Díaz-Peña. 'Química Física'. Tema 25.
- Rodríguez-Renuncio et al. 'Termodinámica Química'. Tema 17.

# 1. La interfase



- En la mayoría de situaciones la cantidad de materia superficial de un sistema es despreciable
- En algunos casos los sistemas presentan una gran relación superficie/volumen y las propiedades de la interfase serán decisivas

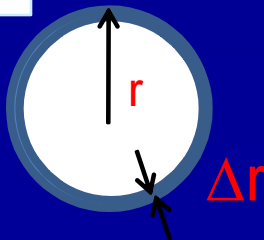


$$\left. \begin{array}{l} A=0,06\text{ m}^2 \\ V=10^{-3}\text{ m}^3 \end{array} \right\} A/V=60\text{ m}^{-1}$$

$$\left. \begin{array}{l} A=1,26\times 10^{-15}\text{ m}^2 \\ V=4,19\times 10^{-24}\text{ m}^3 \end{array} \right\} A/V=3,01\times 10^8\text{ m}^{-1}$$

$$\frac{\text{mat sup.}}{\text{mat total}} \approx \frac{\text{Volumen superficial}}{\text{Volumen total}} = \frac{\text{Area} \times \text{Espesor Capa Sup.}}{\text{Volumen total}} = \frac{0,06\text{m}^2 \cdot 10^{-9}\text{m}}{10^{-3}\text{m}^3} = 6 \times 10^{-8}$$

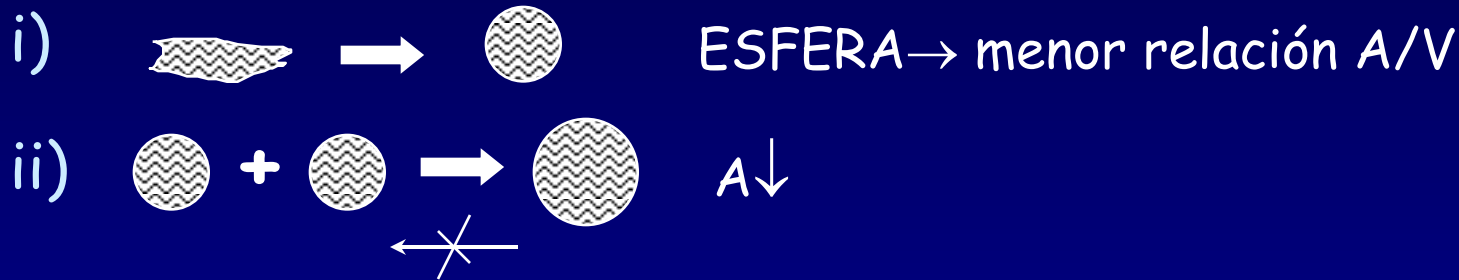
$$\frac{\text{mat sup.}}{\text{mat total}} = \frac{4/3\pi r^3 - 4/3\pi(r - \Delta r)^3}{4/3\pi r^3} = 1 - \left(\frac{r - \Delta r}{r}\right)^3 = 1 - \left(\frac{100 - 10}{100}\right)^3 = 0,271$$



# 2. Tensión Superficial

a) Punto de vista macroscópico:

todo sistema tiende espontáneamente a reducir su superficie



Cada Esfera Inicial

$$m_1 = \frac{4}{3}\pi r_1^3 \rho$$

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$A_1 = 4\pi r_1^2$$

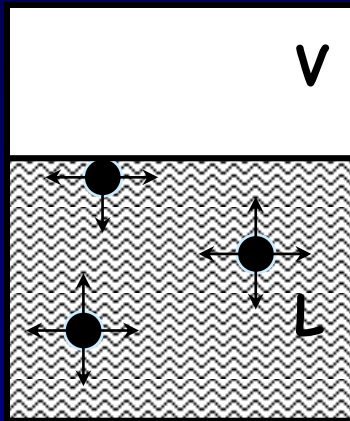
Esfera Final

$$m_2 = 2 \times m_1 = 2 \times \left(\frac{4}{3}\pi r_1^3 \rho\right)$$

$$V_2 = 2 \times V_1 = 2 \times \frac{4}{3}\pi r_1^3 = \frac{4}{3}\pi r_2^3 \rightarrow r_2 = 1,59r_1$$

$$A_2 = 4\pi r_2^2 = 4\pi(1,59r_1)^2 < 2(4\pi r_1^2) \rightarrow < 20,5\%$$

### b) Punto de vista molecular



Las moléculas superficiales :

- ➡ sufren una fuerza promedio hacia el interior
- ➡ tienen una energía media superior a las del interior

**Aumentar superficie interfacial requiere un trabajo**

$$dA \propto dN$$

$$dw_{rev} \propto dN$$

$$dw_{rev} = \gamma dA$$

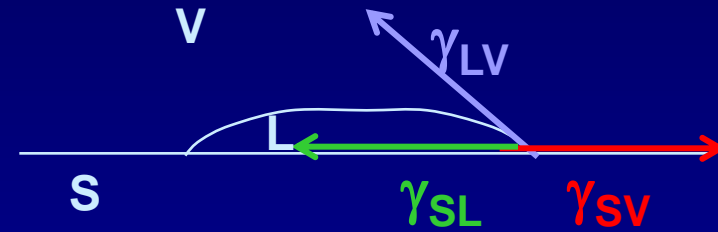
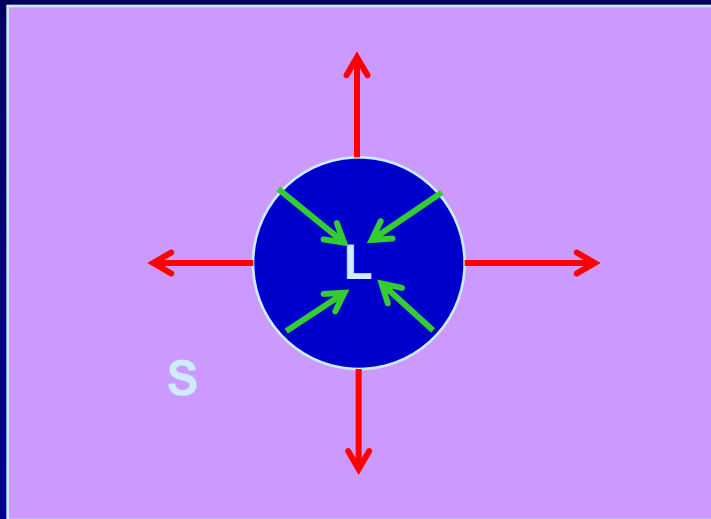
$\gamma$  = Tensión Superficial

### Características de la tensión superficial:

1. su valor es siempre positivo  $dw_{rev} = \gamma dA$
2. su valor depende de las dos fases
3. tiene unidades de energía/área o fuerza/longitud:  $Jm^{-2}=Nm^{-1}$
4. se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud

## 2. Tensión Superficial

✓ Fuerza por unidad de longitud





### Características de la tensión superficial:

1. su valor es siempre positivo
2. su valor depende de las dos fases
3. tiene unidades de energía/área o fuerza/longitud:  $\text{Jm}^{-2}=\text{Nm}^{-1}$
4. se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud
5. depende de la intensidad de las interacciones intermoleculares

## 2. Tensión Superficial

✓ Depende de las interacciones intermoleculares

Valores de  $\gamma$  a 20 °C para diversos líquidos:

	n-hexano	benceno	etilenglicol	H <sub>2</sub> O	Hg (l)
$\gamma \cdot 10^3$ (N/m)	18,43	28,85	47,7	72,75	472

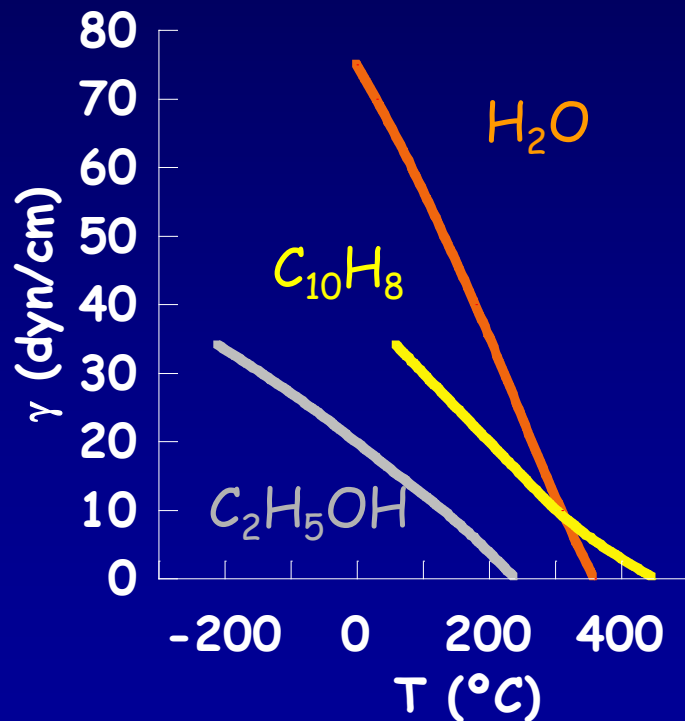
### Características de la tensión superficial:

1. su valor es siempre positivo
2. su valor depende de las dos fases
3. tiene unidades de energía/área o fuerza/longitud:  $\text{Jm}^{-2}=\text{Nm}^{-1}$
4. se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud
5. depende de la intensidad de las interacciones intermoleculares
6. depende de la temperatura

## 2. Tensión Superficial

### ✓ Variación de $\gamma$ con la temperatura

si  $\uparrow T \downarrow \gamma$  hasta  $T_c \rightarrow \gamma = 0$



Eötvös

$$\gamma = \frac{\kappa (T_c - T)}{V_m^{2/3}}$$

Van der Waals

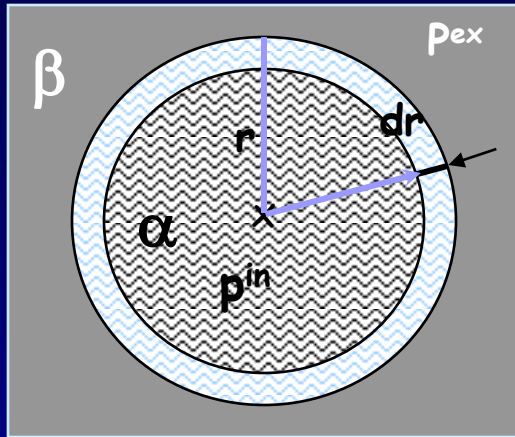
$$\gamma = \gamma_0 \left[ 1 - \frac{T}{T_c} \right]^n$$

### Características de la tensión superficial:

1. su valor es siempre positivo
2. su valor depende de las dos fases
3. tiene unidades de energía/área o fuerza/longitud:  $\text{Jm}^{-2}=\text{Nm}^{-1}$
4. se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud
5. depende de la intensidad de las interacciones intermoleculares
6. depende de la temperatura
7. desde el punto de vista termodinámico:  $\gamma=(\partial G/\partial A)_{P,T}$

# 3. Interfases Curvas

## 3.1. Ecuación Young-Laplace



$P$  externa  $r \downarrow$   
 $\gamma$   $r \downarrow$   
 $P$  interna  $r \uparrow$

$F_{\text{comp}} = F_{\text{exp}}$  equilibrio

$$\begin{aligned}
 F_{\text{exp}} &= AP_{\text{in}} = 4\pi r^2 P_{\text{in}} \\
 F_{\text{comp}} &= AP_{\text{ex}} + F_{\gamma} = AP_{\text{ex}} + \frac{dw}{dr} = \\
 &= 4\pi r^2 P_{\text{ex}} + \frac{\gamma dA}{dr} = 4\pi r^2 P_{\text{ex}} + \gamma \frac{8\pi r dr}{dr}
 \end{aligned}$$



$$4\pi r^2 P_{\text{ex}} + 8\pi r \gamma = 4\pi r^2 P_{\text{in}}$$



$$P_{\text{in}} - P_{\text{ex}} = \frac{2\gamma}{r}$$

Ec. Young-Laplace  
(superficie esférica)

#### EXPRESIONES DE LA EC. YOUNG-LAPLACE

INTERFAZ ESFÉRICA

$$P_{in} - P_{ex} = \frac{2\gamma}{r}$$

\*  $\gamma$  y  $r > 0 \longrightarrow P_{in} > P_{ex} \longrightarrow$  presión interior **gota** > exterior  
 presión interior **burbuja** > exterior

\* INTERFAZ PLANA ( $r \rightarrow \infty$ )

$$P_{in} - P_{ex} = 0 \longrightarrow P_{in} = P_{ex}$$

\* EFECTO MAYOR A MENOR RADIO

Ej: burbujas en agua

$$\gamma = 72,75 \text{ mN m}^{-1}$$

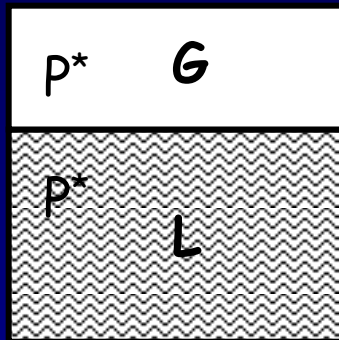
$$r = 1 \text{ mm} \quad \Delta P = 1,13 \text{ mmHg}$$

$$r = 0,1 \text{ mm} \quad \Delta P = 11,3 \text{ mmHg}$$

\* EC. GENERAL (2 RADIOS,  $r_1$  y  $r_2$ )

$$P_{in} - P_{ex} = 2\gamma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

### 3.2. Presión de Vapor en superficies curvas



$$\mu^L = \mu^V$$

$$p^L = p^V = p^*$$

$T = \text{cte.}$

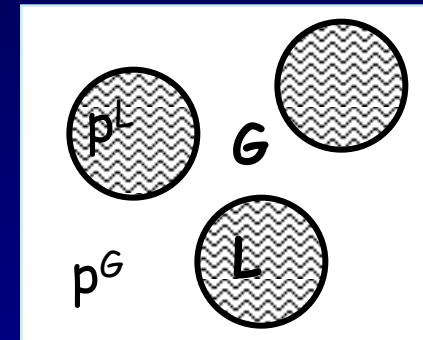


$\Delta P$  sobre el líquido

$$\left(\frac{\partial \mu}{\partial P}\right)_T = V_m$$

$$V_m > 0$$

$$\uparrow P \quad \uparrow \mu^L$$



Se alcanza un nuevo equilibrio en el que

$$d\mu^L = d\mu^V$$



## 3.2. Presión de Vapor en superficies curvas

$$\left. \begin{aligned} d\mu^L &= V_m^L dP^L \\ d\mu^V &= V_m^V dP^V = \frac{RT}{P^V} dP^V \end{aligned} \right\}$$

$$V_m^L dP^L = \frac{RT}{P^V} dP^V$$

$$\int_{P^*}^{P+\Delta P} V_m^L dP^L = \int_{P^*}^P \frac{RT}{P^V} dP^V$$

$$V_m^L (P + \Delta P - P^*) = RT \ln\left(\frac{P}{P^*}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{P}{P^*}\right) = \frac{V_m^L}{RT} [(P - P^*) + \Delta P]$$

$$P = P^* \exp\left[\frac{V_m^L}{RT} [(P - P^*) + \Delta P]\right]$$

Si se forma una gota, la sobrepresión sobre el líquido es

$$\Delta P = P^L - P^V = P_{in} - P_{ex} = \frac{2\gamma}{r}$$

### 3. Interfases Curvas

$$P = P^* \exp \frac{V_m^L}{RT} \left[ (P - P^*) + \frac{2\gamma}{r} \right]$$

EJEMPLO (AGUA a 20°C)  $P^*=27,5$  mmHg;  $\gamma=72,75$  mN m<sup>-1</sup>

GOTA

$r$ (nm)	$p$ (mmHg)	$2\gamma/r$ (mm Hg)	$p-p^*$ (mmHg)	$p/p^*$
1000	27.53	$1.09 \times 10^3$	0.0296	1.001
100	27.80	$1.09 \times 10^4$	0.2297	1.011
1	80.54	$1.09 \times 10^5$	53	2.92
0.5	235.80	$2.18 \times 10^5$	208	8.48

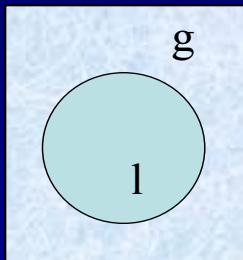
$$\ln\left(\frac{P}{P^*}\right) = \frac{V_m^L 2\gamma}{RT r}$$

### 3. Interfases Curvas

$$P = P^* \exp\left[\frac{V_m^L}{RT} \left( (P - P^*) + \frac{2\gamma}{r} \right)\right]$$

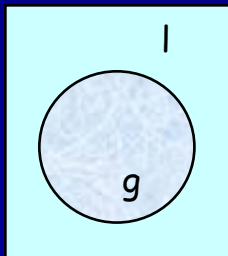


$$P = P^* \exp\left[\frac{V_m^L 2\gamma}{RT r}\right]$$



$$P = P^* \exp\left[2\gamma V_m^L / (rRT)\right]$$

**Ec. Kelvin para gotas**



$$P = P^* \exp\left[-2\gamma V_m^L / (rRT)\right]$$

**Ec. Kelvin para burbujas**

### 3. Interfases Curvas

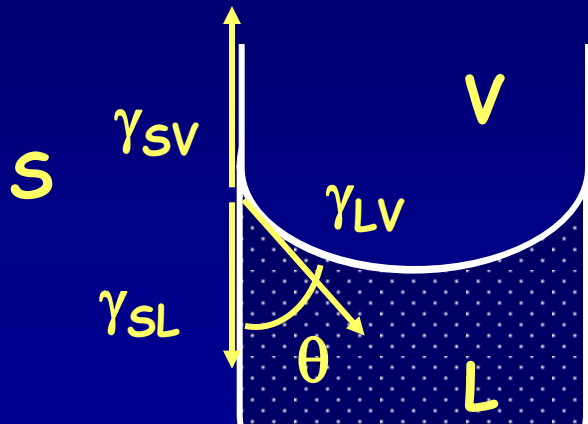
EJEMPLO (AGUA a 20°C)  $P^*=27,5$  mmHg

r (nm)	GOTA		BURBUJA	
	p (mmHg)	p/ p*	p(mmHg)	p/ p*
1000	27.53	1.001	27.47	0.999
100	27.80	1.011	27.17	0.989
1	80.54	2.92	9.27	0.337
0.5	235.80	8.48	3.25	0.118

### Consecuencias Ec. Kelvin

- ↪ • **SOBRESATURACIÓN:** Procesos evaporación  $\Leftrightarrow$  condensación (formación de nubes, lluvia artificial)
- ↪ • **SOBRECALENTAMIENTO** de líquidos (agua a 280°C)
- ↪ • **SUBENFRIAMIENTO** de líquidos (agua a -40°C)
- ↪ • **ENVEJECIMIENTO de PRECIPITADOS** (diferente solubilidad de cristales de distinto tamaño)
- ↪ • **BURBUJAS:** (al calentar un líquido, vaso con bebida carbónica, al abrir una botella de b.c.)

## 3.3. Capilaridad



$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta$$

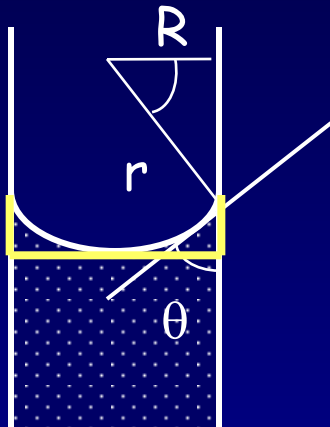
$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$$

$$\gamma_{SV} > \gamma_{SL} \quad \cos\theta > 0 \quad 0 \leq \theta \leq 90$$

$$\gamma_{SG} < \gamma_{SL} \quad \cos\theta < 0 \quad 90 \leq \theta \leq 180$$

### 3. Interfases Curvas

$$\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$$

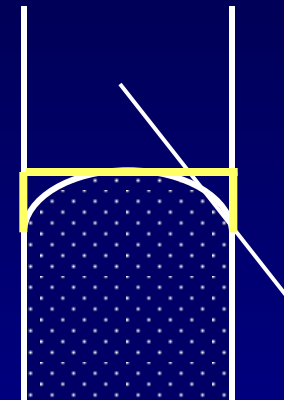


$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$$

$$R = r \cos \theta$$

(Menisco Esférico)

$$\gamma_{SV} < \gamma_{SL}$$



FF Adhesión > FF Cohesión

$$0 \leq \theta < 90^\circ$$

LÍQUIDO QUE **MOJA**

(mayoría de líquidos)

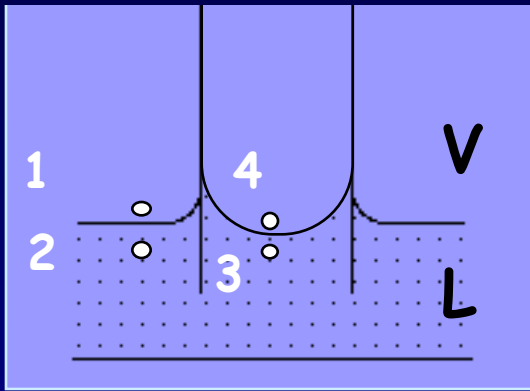
FF Adhesión < FF Cohesión

$$90 < \theta \leq 180^\circ$$

LÍQUIDO QUE **NO MOJA**

(mercurio)

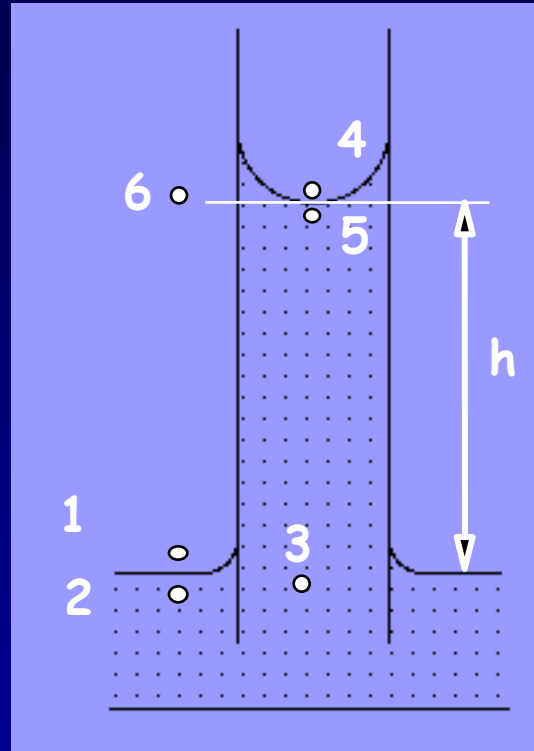
## LÍQUIDOS QUE MOJAN



Int. Plana  $P_1 = P_2 = P_4$

Int. Curva  $P_3 < P_4$

$$P_3 < P_2 \rightarrow$$



$$P_3 = P_2$$

Equilibrio

$$P_3 = P_5 + \rho_L gh = \left( P_4 - \frac{2\gamma}{r} \right) + \rho_L gh$$

$$P_2 = P_1 = P_6 + \rho_V gh = P_4 + \rho_V gh$$

$$P_4 - \frac{2\gamma}{r} + \rho_L gh = P_4 + \rho_V gh$$

$$h = \frac{2\gamma}{(\rho_L - \rho_V) g r}$$

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho_L g R}$$

$$R = r \cos\theta$$

$$h = \frac{2\gamma}{\rho_L g r}$$

$$\rho_L \gg \rho_V$$



#### EJEMPLO (AGUA a 20°C)

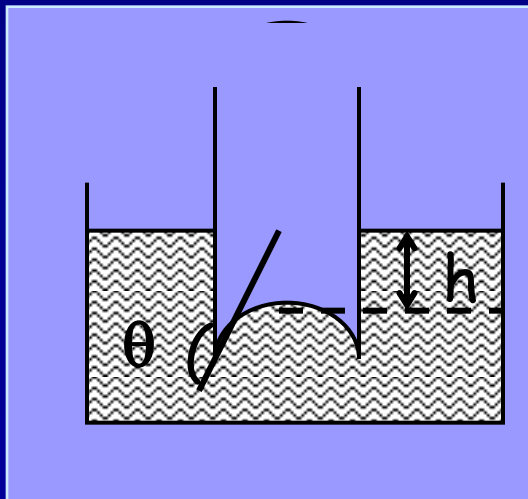
$$\cos \theta = 1$$

$$h = \frac{2 \gamma}{\rho_L g R}$$

R (cm)	$h_{\text{calc}}$ (cm)	$h_{\text{exper}}$ (cm)	error (%)
0.1	1.487	1.454	2.1
0.05	2.970	2.955	0.5
0.01	14.852	14.854	0.01

#### Ejemplos

- Ascenso savia (1000 Å → 148 m)
- Formación de rocío



$90 < \theta \leq 180^\circ$  DESCENSO CAPILAR

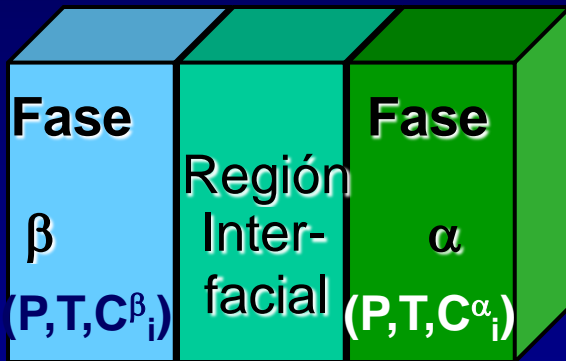
$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{(\rho_L - \rho_v) g R}$$

$$\cos \theta < 0$$

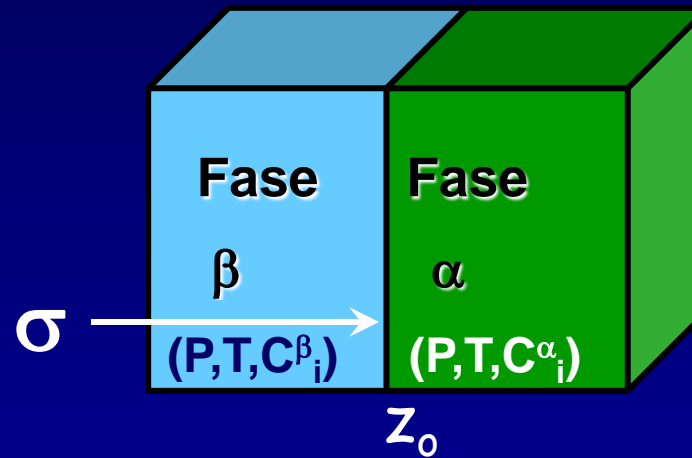
$$h < 0$$

# 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

Sistema Real



Modelo: **Superficie de Gibbs**



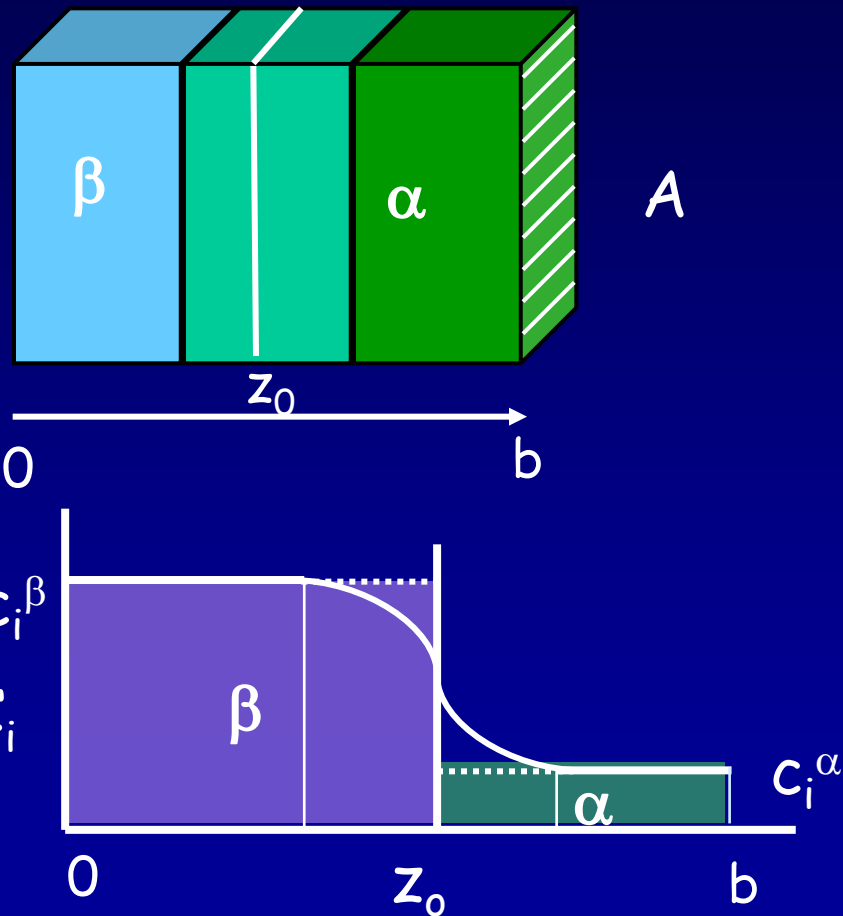
Iguals  
 $V, U, S, n_i \dots$   
 $C_i^\alpha, C_i^\beta \dots$   
 que el sistema real

- Interfase  $\rightarrow$  Superficie Plana
- **Magnitudes de Exceso Superficial**

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet V^\sigma = 0 \Rightarrow V = V^\alpha + V^\beta \\ \bullet U = U^\alpha + U^\beta + U^\sigma \\ \bullet S = S^\alpha + S^\beta + S^\sigma \\ \bullet n_i = n_i^\alpha + n_i^\beta + n_i^\sigma \end{array} \right.$$

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

EL VALOR DE  $n_i^\sigma$  DEPENDE DE LA POSICIÓN DE LA SUPERFICIE DIVISORIA



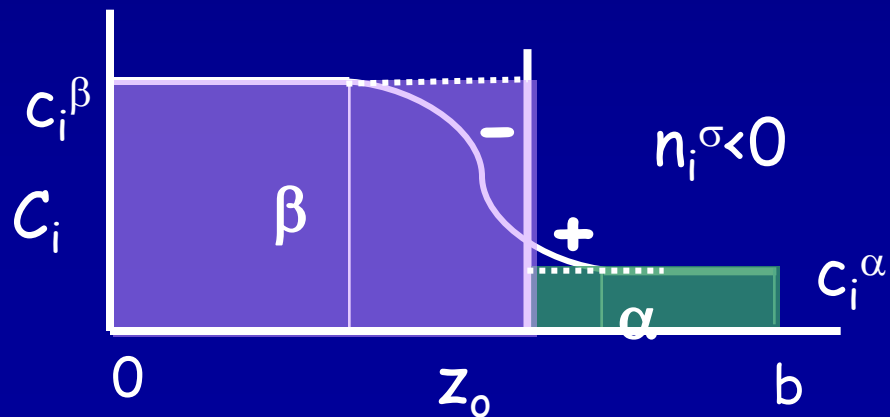
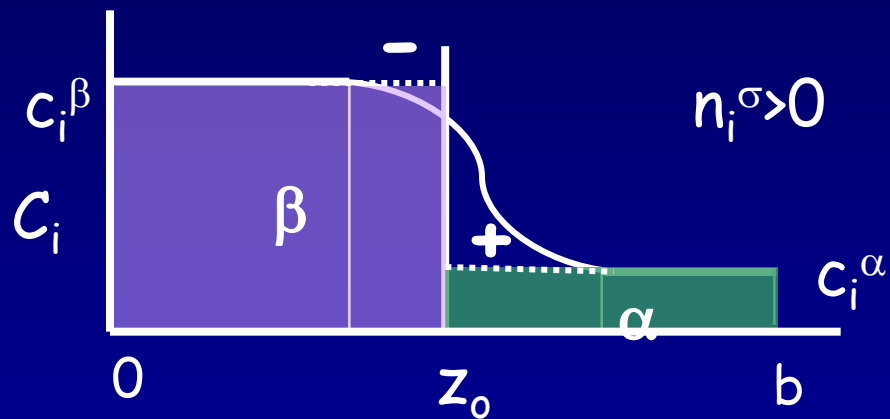
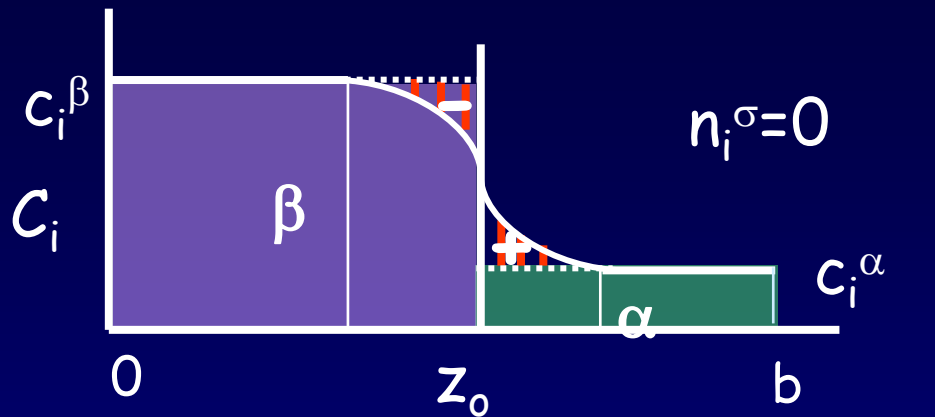
$$n_i^\sigma = n_i - n_i^\alpha - n_i^\beta$$

$$n_i = \int C_i dV = \int_0^b C_i A dz = A \int_0^b C_i dz$$

$$n_i^\alpha = A \int_{z_0}^b C_i^\alpha dz \quad n_i^\beta = A \int_0^{z_0} C_i^\beta dz$$

$$\begin{aligned} n_i^\sigma &= A \left[ \int_0^b C_i dz - \int_0^{z_0} C_i^\beta dz - \int_{z_0}^b C_i^\alpha dz \right] = \\ &= A \left[ \left( \int_0^{z_0} C_i dz - \int_0^{z_0} C_i^\beta dz \right) + \left( \int_{z_0}^b C_i dz - \int_{z_0}^b C_i^\alpha dz \right) \right] \end{aligned}$$

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes



$$n_i^\sigma = A \left[ \left( \int_0^{z_0} C_i dz - \int_0^{z_0} C_i^\beta dz \right) + \left( \int_{z_0}^b C_i dz - \int_{z_0}^b C_i^\alpha dz \right) \right]$$

-                          +

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$dU = TdS - PdV + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i \quad \text{Proceso Reversible, Interfase plana}$$

$$\left. \begin{aligned} dU^\alpha &= TdS^\alpha - PdV^\alpha + \sum_i \mu_i dn_i^\alpha \\ dU^\beta &= TdS^\beta - PdV^\beta + \sum_i \mu_i dn_i^\beta \end{aligned} \right\} \text{Fases } \alpha \text{ y } \beta \text{ del modelo}$$

$$dU^\sigma = dU - dU^\alpha - dU^\beta =$$

$$= TdS - PdV + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i - TdS^\alpha + PdV^\alpha - \sum_i \mu_i dn_i^\alpha - TdS^\beta + PdV^\beta - \sum_i \mu_i dn_i^\beta$$

$$= \underbrace{T(dS - dS^\alpha - dS^\beta)}_{= dS^\sigma} - \underbrace{P(dV - dV^\alpha - dV^\beta)}_{= 0} + \gamma dA + \sum_i \mu_i \underbrace{(dn_i - dn_i^\alpha - dn_i^\beta)}_{= dn_i^\sigma}$$

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$dU^\sigma = TdS^\sigma + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i^\sigma$$

$$\int_1^2 dU^\sigma = T \int_1^2 dS^\sigma + \gamma \int_1^2 dA + \sum_i \mu_i \int_1^2 dn_i^\sigma$$

$$U_2^\sigma - U_1^\sigma = T(S_2^\sigma - S_1^\sigma) + \gamma(A_2 - A_1) + \sum_i \mu_i (n_{i,2}^\sigma - n_{i,1}^\sigma)$$

Tomando como referencia la superficie de área nula

$$U^\sigma = TS^\sigma + \gamma A + \sum_i \mu_i n_i^\sigma \quad \text{Energía Superficie divisoria}$$

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$dU^\sigma = TdS^\sigma + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i^\sigma$$

$$U^\sigma = TS^\sigma + \gamma A + \sum_i \mu_i n_i^\sigma$$

**Energía Superficie divisoria**

**Tomando la diferencial respecto a todas las variables:**

$$dU^\sigma = TdS^\sigma + S^\sigma dT + \gamma dA + Ad\gamma + \sum_i \mu_i dn_i^\sigma + \sum_i n_i^\sigma d\mu_i$$

$$S^\sigma dT + Ad\gamma + \sum_i n_i^\sigma d\mu_i = 0$$

**Ec. Gibbs-Duhem Superficial**

$$Ad\gamma = -\sum_i n_i^\sigma d\mu_i$$

**Isoterma de Adsorción de Gibbs**

$$d\gamma = -\sum_i \Gamma_i d\mu_i$$

$$\Gamma_i = \frac{n_i^\sigma}{A}$$

**Concentración de exceso superficial**

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$d\gamma = -\sum_i \Gamma_i d\mu_i$$

Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$\Gamma_1 = \frac{n_1^\sigma}{A} = 0$$

Definimos situación Sup. Divisoria

$$\Gamma_{i(1)}^\sigma = \frac{n_{i(1)}^\sigma}{A}$$

Ads. Sup. de Exceso del componente  $i$  relativa al componente 1

• Si  $\Gamma_{i(1)} > 0$   $(n_i/n_1)_{interfase} > (n_i/n_1)_{fase}$  Int. se enriquece en  $i$

• Si  $\Gamma_{i(1)} < 0$   $(n_i/n_1)_{interfase} < (n_i/n_1)_{fase}$  Int. se empobrece en  $i$

$$d\gamma = -\sum_{i \neq 1} \Gamma_{i(1)} d\mu_i$$

Isoterma de Ads. de Gibbs usando adsorciones sup. de exceso relativas



## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Isoterma de Adsorción de Gibbs

$$d\gamma = -\Gamma_{2(1)} d\mu_2$$

Isoterma Ads. Sistema de 2 componentes

$$\mu_2 = \mu_2^0(T,P) + RT \ln a_2$$

$$d\mu_2 = RT d(\ln a_2)$$

T cte

$$\mu_2 = \mu_2^0(T,P) + RT \ln C_2 / C_2^0$$

$$d\mu_2 = RT d(\ln C_2 / C_2^0)$$

Dis. diluida (ideal)

$$d\gamma = -RT \Gamma_{2(1)} d(\ln C_2 / C_2^0) = -RT \Gamma_{2(1)} \frac{dC_2}{C_2}$$

$$\left( \frac{\partial \gamma}{\partial C_2} \right)_T = -\frac{RT}{C_2} \Gamma_{2(1)}$$

#### 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

$$\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C_2}\right)_T = -\frac{RT}{C_2} \Gamma_{2(1)}$$

$$\left(\frac{\partial \gamma}{\partial c_2}\right)_T < 0 \Rightarrow \Gamma_{2(1)} > 0 \Rightarrow \text{si } c_2 \uparrow \quad \gamma \downarrow \quad \text{ADSORCIÓN}$$

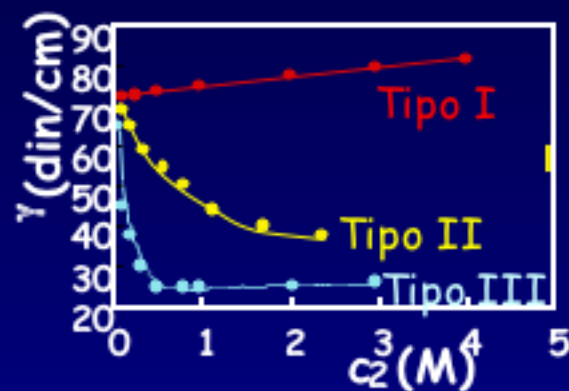
$$\left(\frac{\partial \gamma}{\partial c_2}\right)_T > 0 \Rightarrow \Gamma_{2(1)} < 0 \Rightarrow \text{si } c_2 \uparrow \quad \gamma \uparrow \quad \text{DESORCIÓN}$$

## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Tipo I

Sales inorgánicas y compuesto orgánicos muy solubles

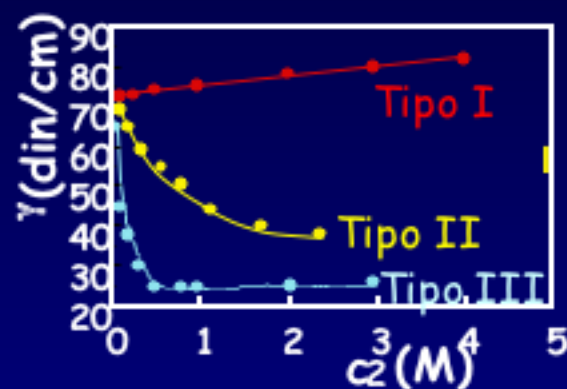
$$\left(\frac{\partial \gamma}{\partial C_2}\right)_T = -\frac{RT}{C_2} \Gamma_{2(1)}$$



## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

Tipos **II** y **III**

$$\left( \frac{\partial \gamma}{\partial C_2} \right)_T = - \frac{RT}{C_2} \Gamma_{2(1)}$$



## 4. Termodinámica de Superficies en Sistemas Multicomponentes

### Tipo III

grupo apolar largo



Ej:

\*Sales de ácidos orgánicos



\*Sales de sulfatos de alquilo



\*Sales de sulfonatos de alquilo



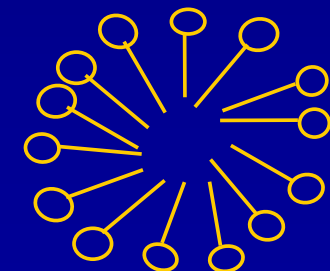
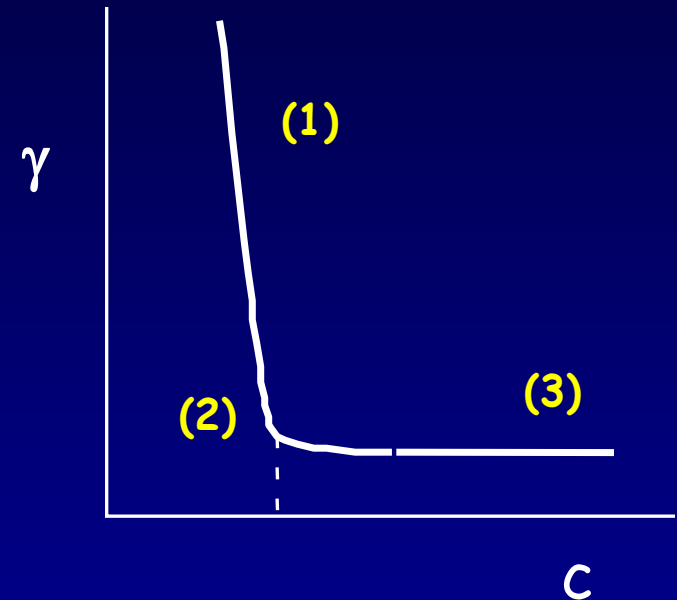
\*Sales de aminas cuaternarias



(1) adsorción superficial del tensoactivo

(2) saturación completa de la superficie

(3) el soluto se asocia en estructuras polimoleculares,

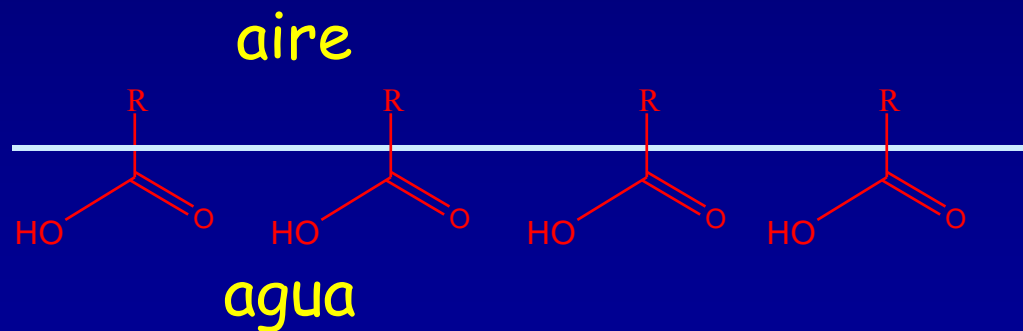


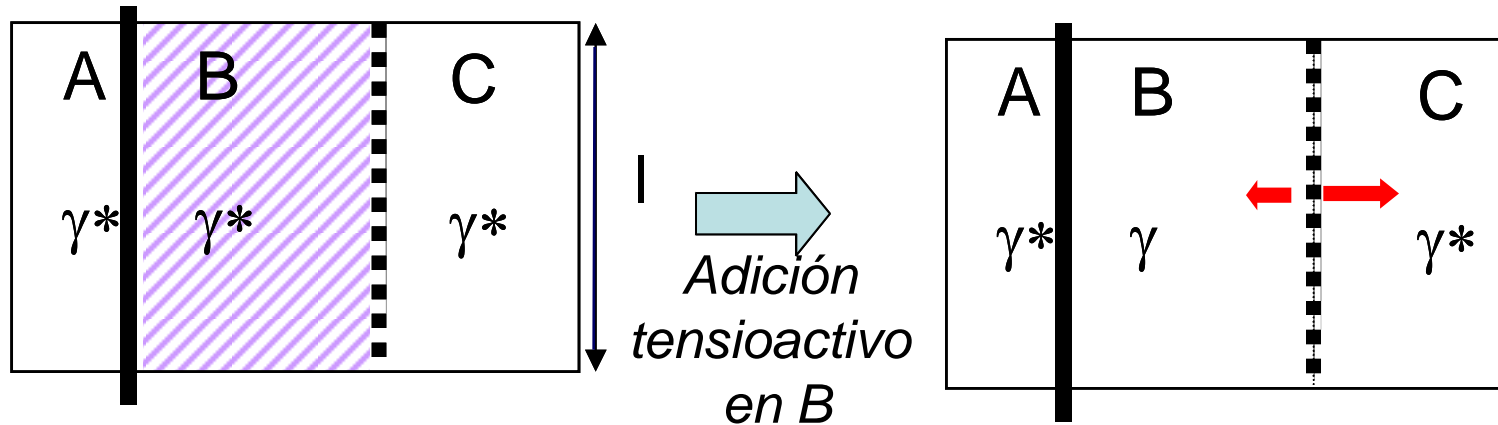
agua

**Micelas**

Algunos tensioactivos se acumulan completamente en la interfase

- Todo el soluto se acumula en la interfase  $\Gamma_2 = n_2^\sigma / A \approx n_2 / A$





Barrera  
ajustable

Flotador

$$F_x = l\gamma^* - l\gamma$$

$$\pi = \frac{F_x}{l} = \gamma^* - \gamma$$

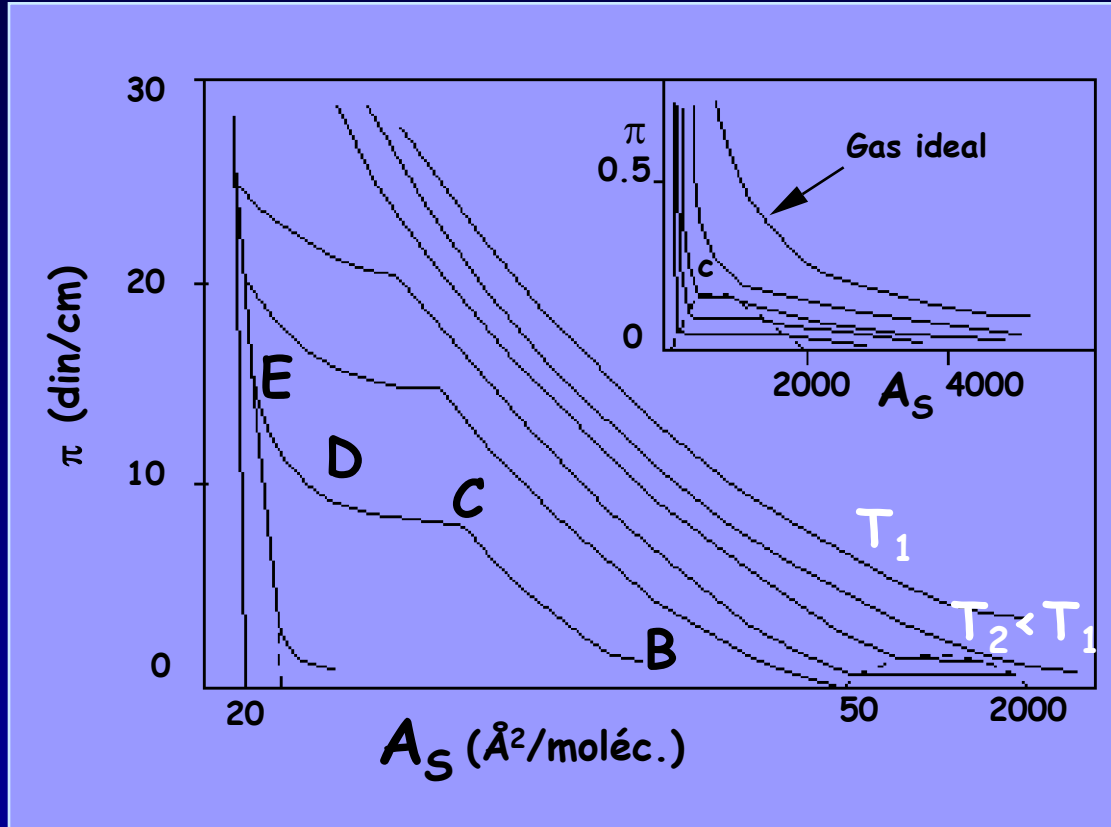
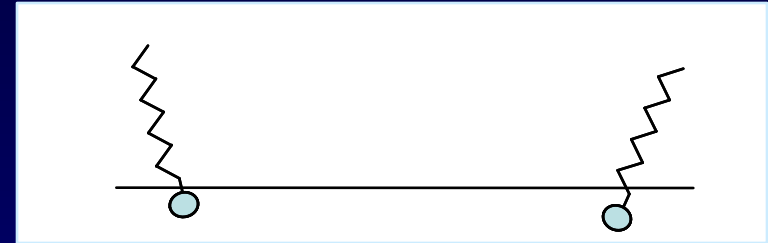
$$A_s = \frac{A}{n_i N_A} = \frac{1}{\Gamma_i N_A}$$

Fuerza sobre el flotador

Presión Superficial

Area Ocupada por Molécula

## GASES IDEALES Bidimensionales:



$$\pi \cdot A = n \cdot RT$$

$$\pi = \frac{n}{A} \cdot RT = \Gamma \cdot RT$$

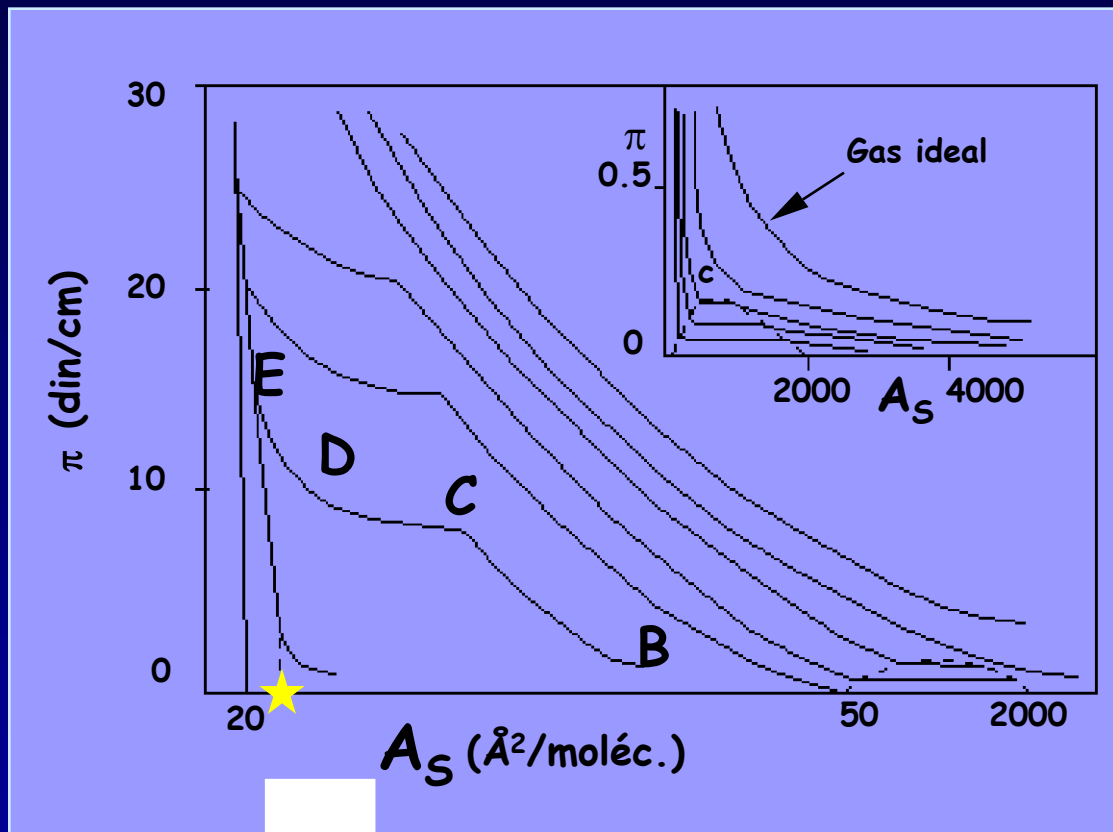
$$\pi \cdot \frac{A}{n \cdot N_A} = \frac{R}{N_A} T \Rightarrow \pi \cdot A_S = kT$$

Si  $T \downarrow \Rightarrow \Gamma_2 \uparrow \Rightarrow \text{interac. intermolec.} \uparrow$

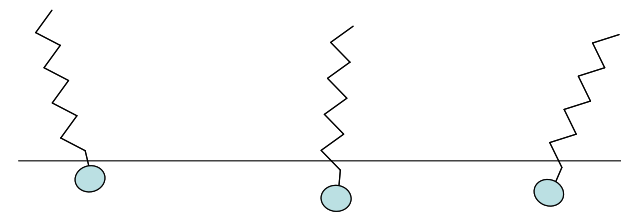
$\Downarrow$  GASES REALES:



# 5. Monocapas



**B-C** "Gas Bidimensional"



**D-E** "Líquido Bidimensional"

