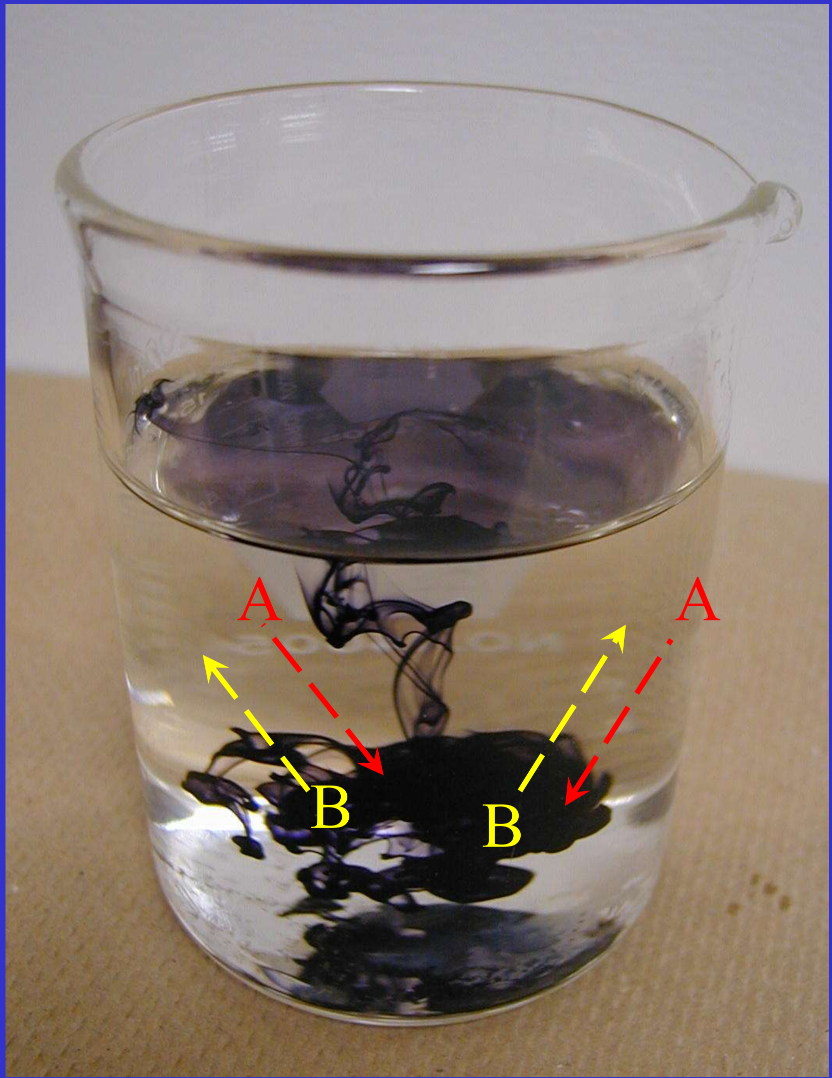
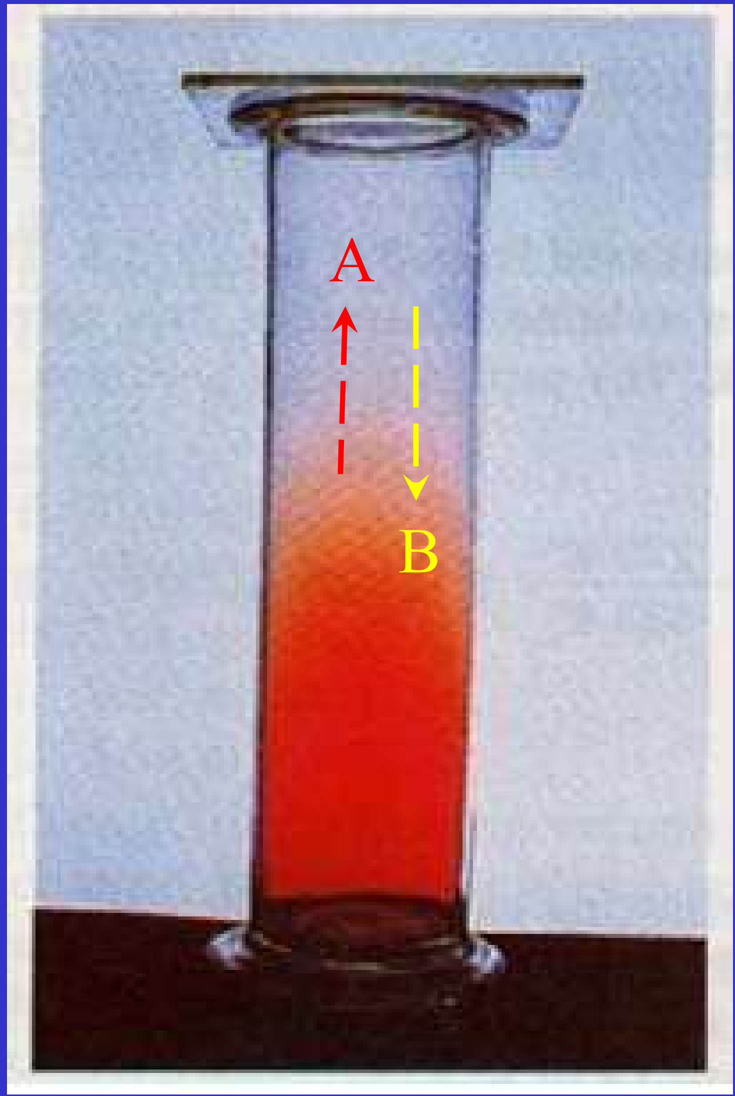
Transferencia de Masa



Mezclado



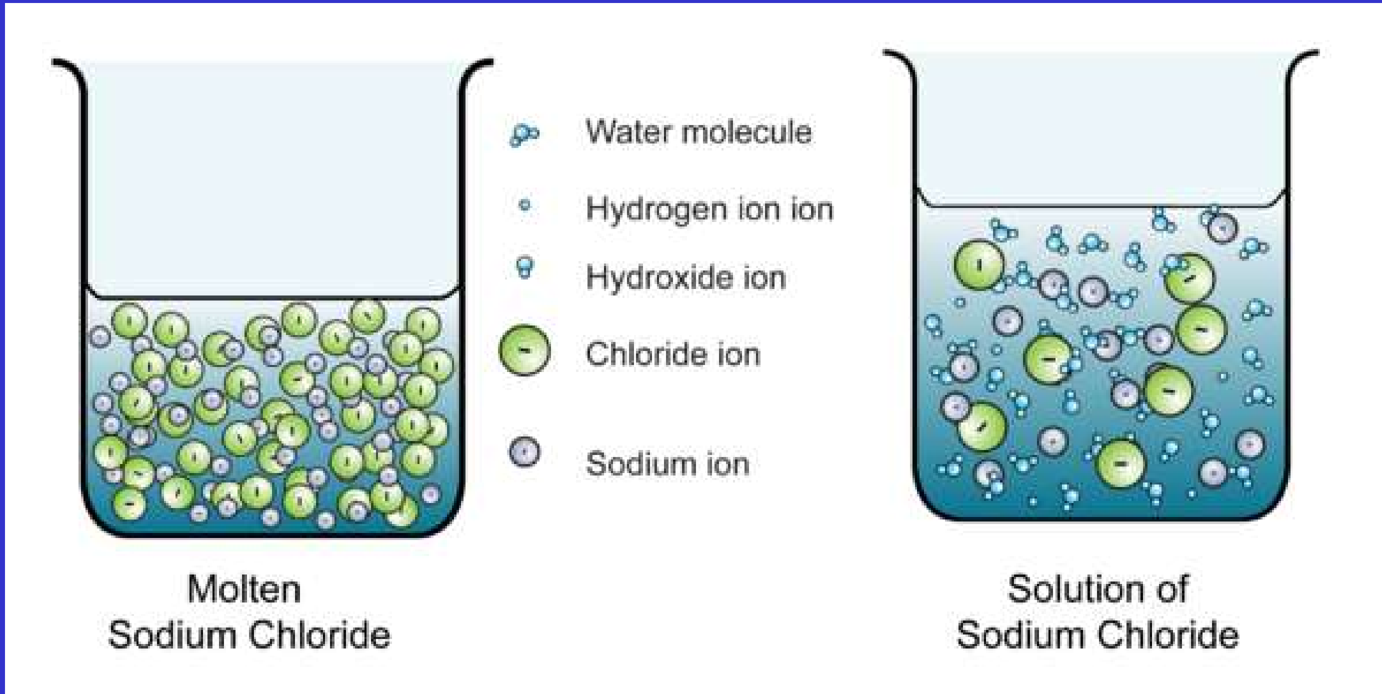
Sublimación y transporte

Definición de Transferencia de Masa

Movimiento de *especies químicas individuales*:

- *en el interior de una fase*: transporte molecular y convectivo.
- *de una fase a otra* (transporte de interfase)

Especies Químicas



- Átomos (Cu, He, etc.)
- Moléculas (H_2O, CO_2, etc.)
- Iones (SO_2^{-2}, H^+, etc.)
- Etc.

Concentración de una especie: cantidad relativa de dicha especie *en el interior* de una mezcla o fase:

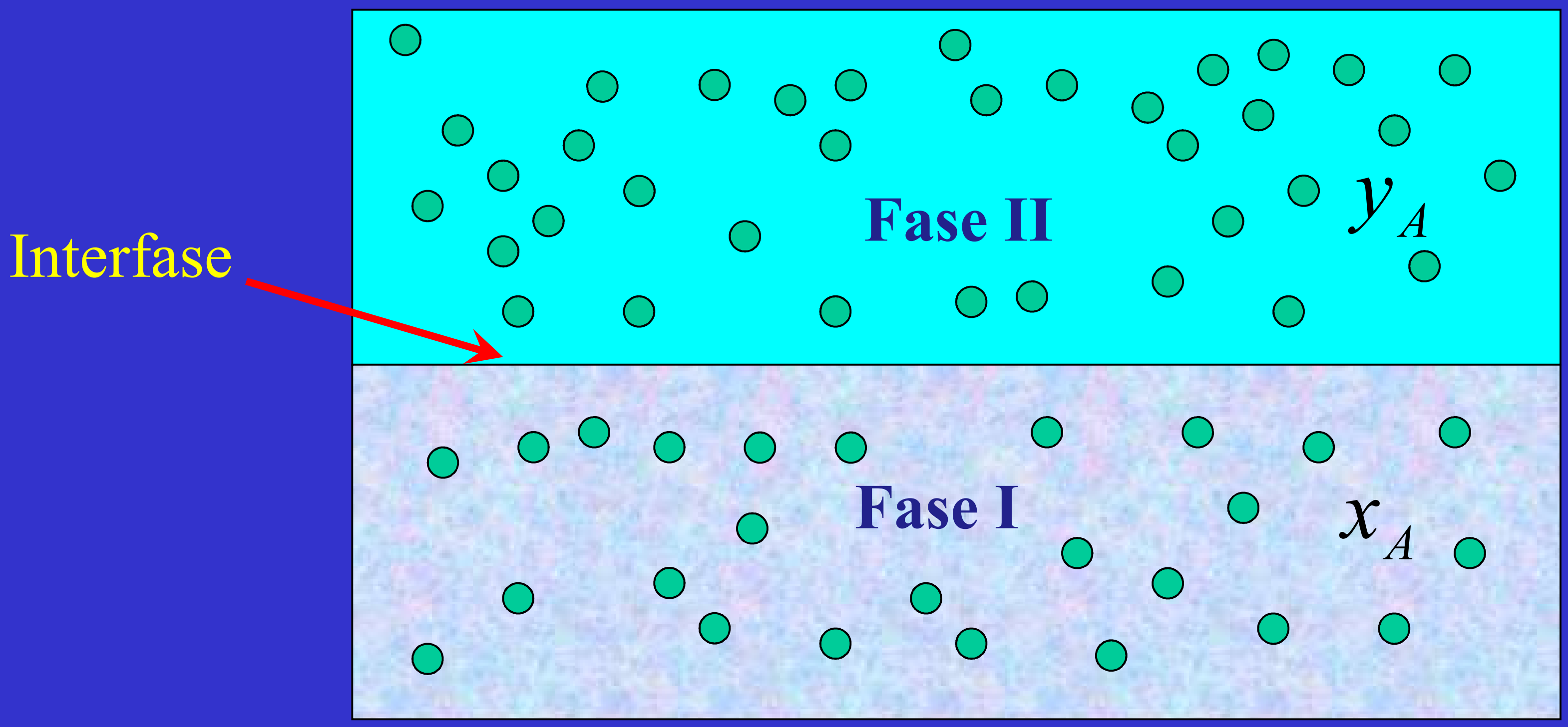
ω_A = Fracción masa o fracción peso, kg A/kg

x_A, y_A = Fracción mol, mol A/mol

c_A = Concentración molar, mol A/m^3

ρ_A = Concentración másica, kg A/m^3

Equilibrio de Fases (Termodinámica)



Distribución de especies entre dos fases en equilibrio

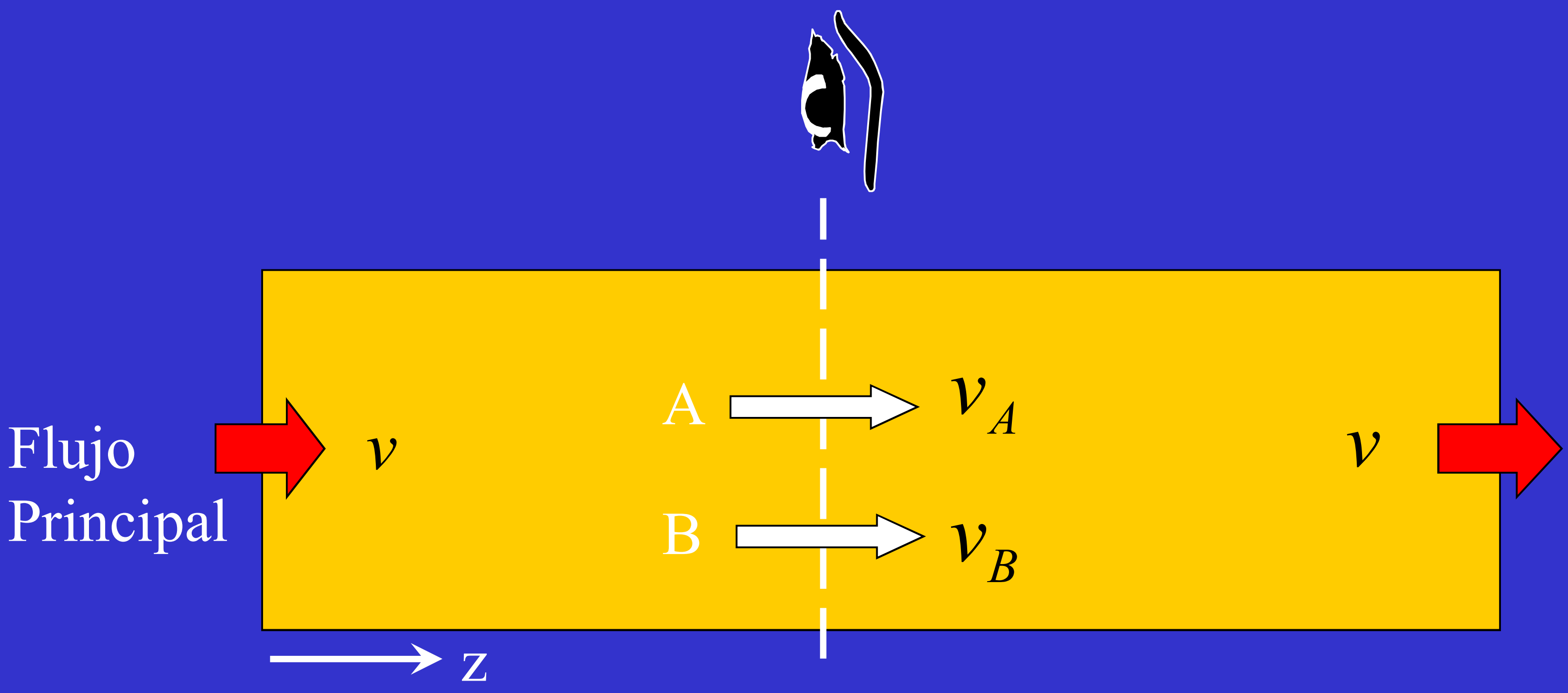
Mecanismos de Transporte de Masa

Convectivo: debido al flujo *de la mezcla (fase)*

Molecular: debido a *gradientes*:

- *Difusión ordinaria*: $\vec{\nabla} x_i$
- *Difusión térmica*: $\vec{\nabla} T$
- *Difusión neumática*: $\vec{\nabla} p$
- *Fuerzas externas*: $\vec{\nabla} F$

Convección Pura
(Flujo de una Mezcla *Binaria* Homogénea)



n = flux másico de la mezcla, kg/(m^{2}s)

n_A = flux másico local de A, kg A/(m^{2}s)

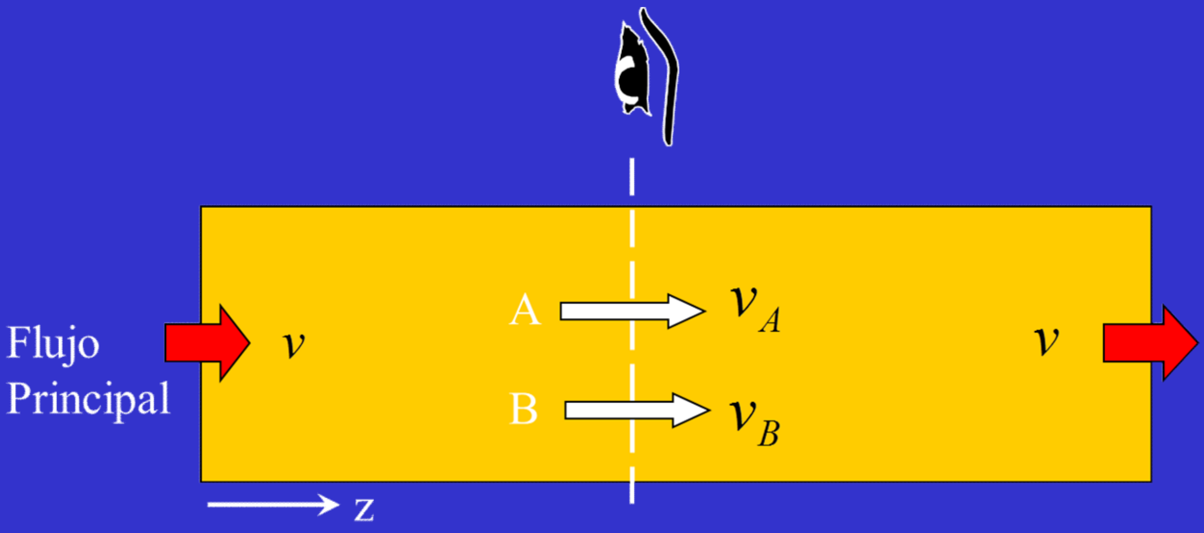
Cuando la mezcla es homogénea y no hay transporte molecular:

$$v_A = v_B = v$$

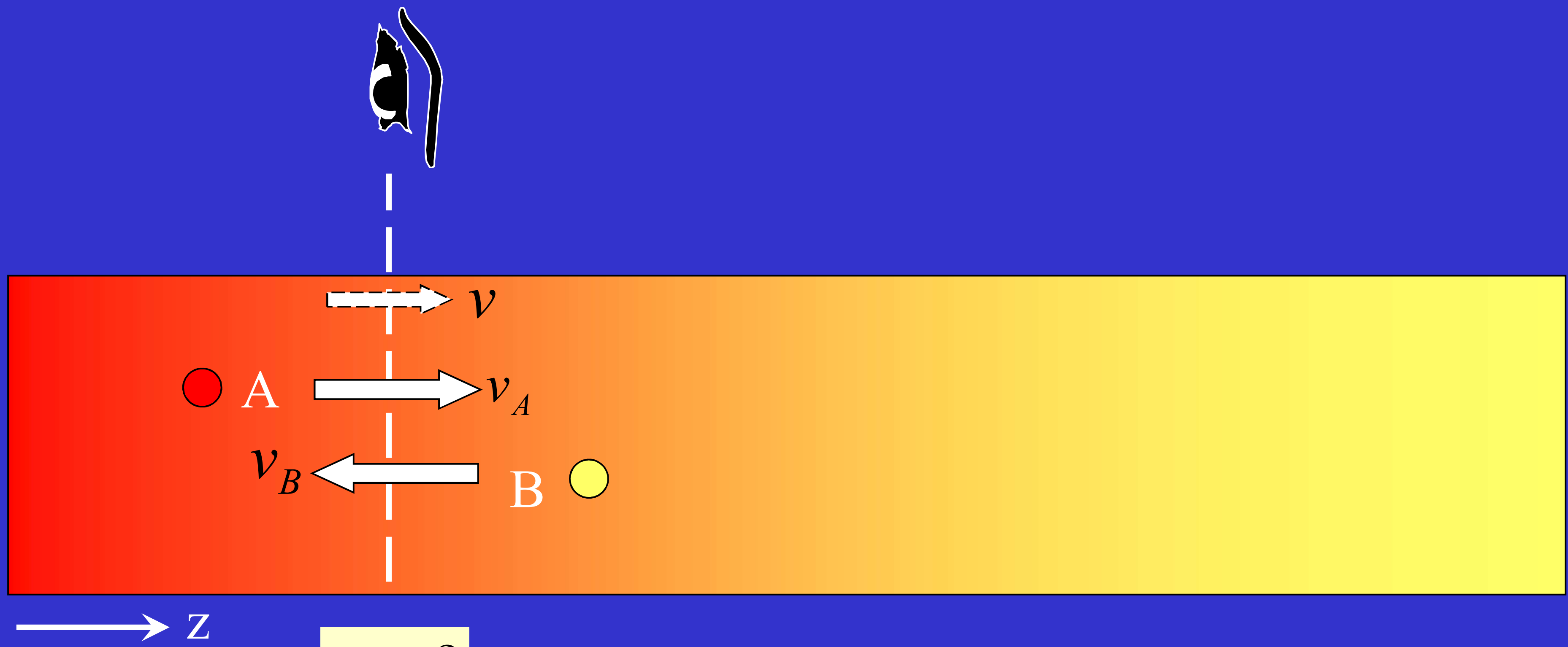
$$n_A = \rho_A v$$

$$n_B = \rho_B v$$

$$n_A + n_B = \rho v$$



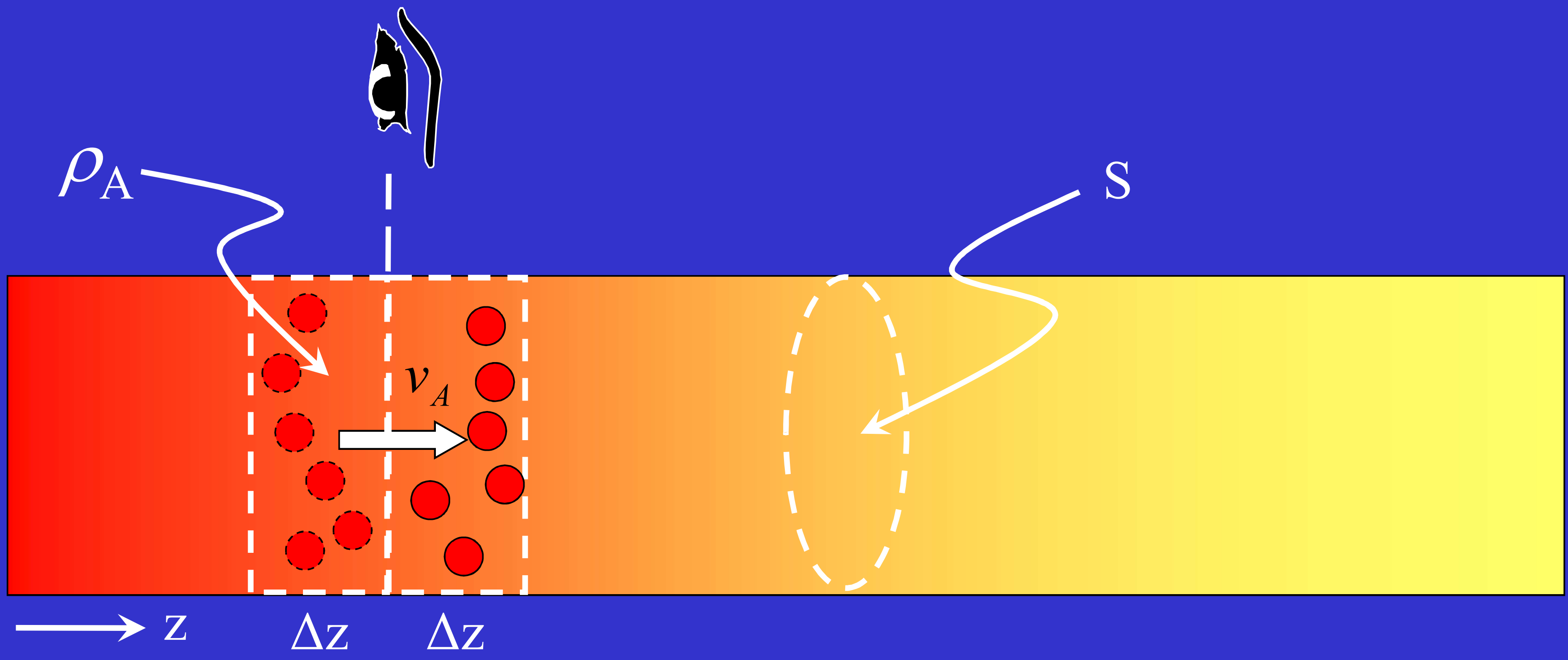
Difusión Ordinaria en una Mezcla Binaria



$$n_A = ?$$

$$¿v_A = v_B?$$

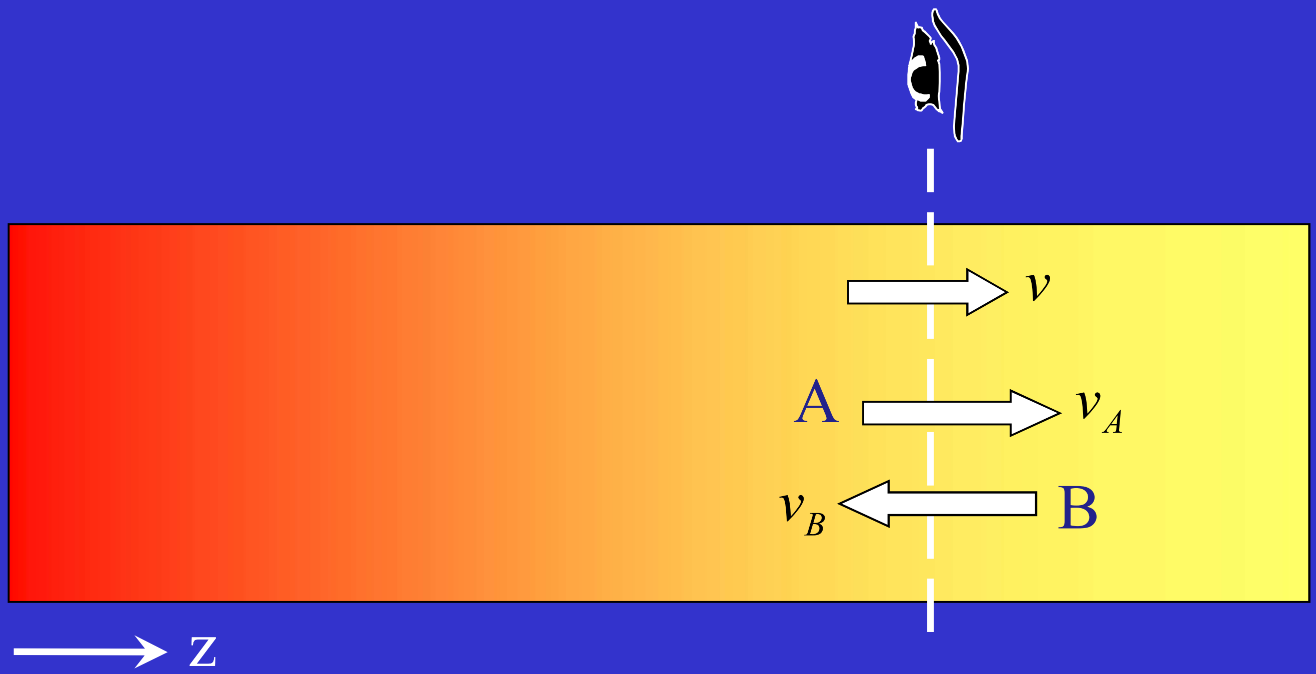
Determinación de n_A



Las moléculas de A invierten Δt_A segundos en atravesar el área de flujo. ¿Cómo se calcula n_A?

Por tanto:
$$
\left\{
\begin{aligned}
n_A &= \rho_A v_A \\
n_B &= \rho_B v_B \\
n_A + n_B &= \rho v
\end{aligned}
\right.
$$

En general, en presencia de transporte molecular y convección:



$$n_A = j_A + \rho_A v$$

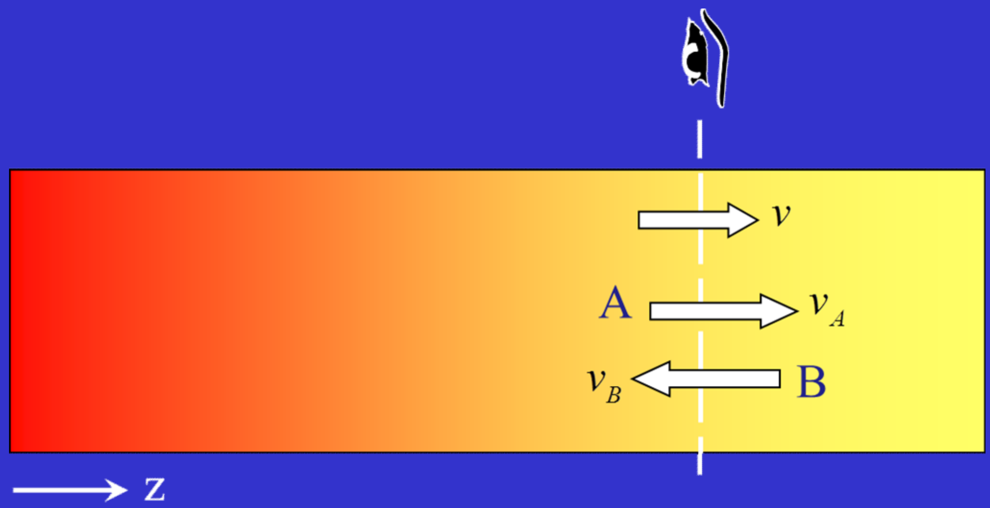
Esta expresión se puede reescribir como:

$$n_A = j_A + \omega_A (n_A + n_B)$$

Flux local de A

Flux molecular de A

Flux convectivo de A



$$n_A = j_A + \rho_A v$$

Otras definiciones y relaciones fundamentales (véase BSL):

Table 17.7-2 Notation for Velocities in Multicomponent Systems

Basic definitions:		
$\mathbf{v}_\alpha$	velocity of species α with respect to fixed coordinates	(A)
$\mathbf{v} = \sum_{\alpha=1}^{N} \omega_\alpha \mathbf{v}_\alpha$	mass average velocity	(B)
$\mathbf{v}^* = \sum_{\alpha=1}^{N} x_\alpha \mathbf{v}_\alpha$	molar average velocity	(C)
$\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}$	diffusion velocity of species α with respect to the mass average velocity $\mathbf{v}$	(D)
$\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}^*$	diffusion velocity of species α with respect to the molar average velocity $\mathbf{v}^*$	(E)

Additional relations:

$$\mathbf{v} - \mathbf{v}^* = \sum_{\alpha=1}^{N} \omega_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}^*) \qquad \text{(F)}$$

$$\mathbf{v}^* - \mathbf{v} = \sum_{\alpha=1}^{N} x_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}) \qquad \text{(G)}$$

Relaciones Fundamentales de Transferencia de Masa (véase BSL):

Table 17.8-1 Notation for Mass and Molar Fluxes*

Quantity	With respect to stationary axes		With respect to mass average velocity $\mathbf{v}$		With respect to molar average velocity $\mathbf{v}^*$	
Velocity of species α (cm/s)	$\mathbf{v}_\alpha$	(A)	$\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}$	(B)	$\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}^*$	(C)
Mass flux of species α (g/cm^2 s)	$\mathbf{n}_\alpha = \rho_\alpha \mathbf{v}_\alpha$	(D)	$\mathbf{j}_\alpha = \rho_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v})$	(E)	$\mathbf{j}_\alpha^* = \rho_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}^*)$	(F)
Molar flux of species α (g-moles/cm^2 s)	$\mathbf{N}_\alpha = c_\alpha \mathbf{v}_\alpha$	(G)	$\mathbf{J}_\alpha = c_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v})$	(H)	$\mathbf{J}_\alpha^* = c_\alpha(\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}^*)$	(I)
Sums of mass fluxes	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{n}_\alpha = \rho \mathbf{v}$	(J)	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{j}_\alpha = 0$	(K)	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{j}_\alpha^* = \rho(\mathbf{v} - \mathbf{v}^*)$	(L)
Sums of molar fluxes	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{N}_\alpha = c\mathbf{v}^*$	(M)	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{J}_\alpha = c(\mathbf{v}^* - \mathbf{v})$	(N)	$\sum_{\alpha=1}^{N} \mathbf{J}_\alpha^* = 0$	(O)
Relations between mass and molar fluxes	$\mathbf{n}_\alpha = M_\alpha \mathbf{N}_\alpha$	(P)	$\mathbf{j}_\alpha = M_\alpha \mathbf{J}_\alpha$	(Q)	$\mathbf{j}_\alpha^* = M_\alpha \mathbf{J}_\alpha^*$	(R)
Interrelations among mass fluxes	$\mathbf{n}_\alpha = \mathbf{j}_\alpha + \rho_\alpha \mathbf{v}$	(S)	$\mathbf{j}_\alpha = \mathbf{n}_\alpha - \omega_\alpha \sum_{\beta=1}^{N} \mathbf{n}_\beta$	(T)	$\mathbf{j}_\alpha^* = \mathbf{n}_\alpha - x_\alpha \sum_{\beta=1}^{N} \frac{M_\alpha}{M_\beta} \mathbf{n}_\beta$	(U)
Interrelations among molar fluxes	$\mathbf{N}_\alpha = \mathbf{J}_\alpha^* + c_\alpha \mathbf{v}^*$	(V)	$\mathbf{J}_\alpha = \mathbf{N}_\alpha - \omega_\alpha \sum_{\beta=1}^{N} \frac{M_\beta}{M_\alpha} \mathbf{N}_\beta$	(W)	$\mathbf{J}_\alpha^* = \mathbf{N}_\alpha - x_\alpha \sum_{\beta=1}^{N} \mathbf{N}_\beta$	(X)

Formas Equivalentes de la Primera Ley de Fick

Table 17.8-2 Equivalent Forms of Fick's (First) Law of Binary Diffusion

Flux	Gradient	Form of Fick's Law	
$\mathbf{j}_A$	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{j}_A = -\rho \mathcal{D}_{AB} \nabla \omega_A$	(A)
$\mathbf{J}_A^*$	∇x_A	$\mathbf{J}_A^* = -c \mathcal{D}_{AB} \nabla x_A$	(B)
$\mathbf{n}_A$	$\nabla \omega_A$	$\mathbf{n}_A = \omega_A(\mathbf{n}_A + \mathbf{n}_B) - \rho \mathcal{D}_{AB} \nabla \omega_A = \rho_A \mathbf{v} - \rho \mathcal{D}_{AB} \nabla \omega_A$	(C)
$\mathbf{N}_A$	∇x_A	$\mathbf{N}_A = x_A(\mathbf{N}_A + \mathbf{N}_B) - c \mathcal{D}_{AB} \nabla x_A = c_A \mathbf{v}^* - c \mathcal{D}_{AB} \nabla x_A$	(D)
$\rho(\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B)$	$\nabla \omega_A$	$\rho(\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B) = -\dfrac{\rho \mathcal{D}_{AB}}{\omega_A \omega_B} \nabla \omega_A$	(E)
$c(\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B)$	∇x_A	$c(\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B) = -\dfrac{c \mathcal{D}_{AB}}{x_A x_B} \nabla x_A$	(F)

Ecuaciones de Stefan-Maxwell para Difusión *Multicomponente* en Gases a Baja Densidad

$$\nabla x_\alpha = -\sum_{\beta=1}^{N} \frac{x_\alpha x_\beta}{\mathcal{D}_{\alpha\beta}} (\mathbf{v}_\alpha - \mathbf{v}_\beta) = -\sum_{\beta=1}^{N} \frac{1}{c\mathcal{D}_{\alpha\beta}} (x_\beta \mathbf{N}_\alpha - x_\alpha \mathbf{N}_\beta) \qquad \alpha = 1, 2, 3, \ldots, N$$

Para casos en que la Primera Ley de Fick no se cumple