

Fenómenos de Transporte en Ingeniería de Procesos

Curso 2025



FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Fenómenos de Transporte en Ingeniería de Procesos

Cambios para adaptarse a los nuevos planes de estudio de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos

Créditos: 12

Teórico: Modalidad invertida. Lectura del Bird → Video.

Práctico: Cambio en las guías de práctico respecto a años anteriores.

Laboratorio: Dos prácticas obligatorias durante el semestre.



Docentes

Ing. Quím. Leonardo Clavijo

Responsable del curso. lclavijo@fing.edu.uy - Ing. de Procesos Forestales, 5° Piso. Oficina 507.

Ing. Alim. Sofía Barrios

sbarrios@fing.edu.uy - Tecnología Aplicada a Procesos Alimentarios, 5° Piso. Oficina 506.

Ing. Quím. Luis Ignacio Borges

lborges@fing.edu.uy - grupo de Bioproa, 5° Piso. Oficina 504.

Ing. Quím. Lucía Gutiérrez

lgutierrez@fing.edu.uy - grupo de Bioproa, 5° Piso. Oficina 5XX.

Nicolás Airola

nairola@fing.edu.uy - Ing. De Procesos Forestales, 5° piso. Oficina 5XX

Mail del curso: ftip@fing.edu.uy



Horarios

Lunes de 16:00 a 17:30 Hs. → Clases de consulta y clases puntuales

Miércoles de 16:00 a 18:00 Hs. → Teórico

Viernes de 16:30 a 19:30 Hs. → Práctico

Laboratorio → Dos veces en el semestre. Podrán elegir el horario en EVA. La asistencia es obligatoria

Bibliografía básica

Bird, R., Stewart, W. and Lightfoot, E., “Fenómenos de Transporte”.

Ed. Reverté, Mexico, 1ª Edición, 1998.

Ed. Limusa Wiley, Mexico, 2ª edición, 2007.





Evaluación y ganancia del curso

EVALUACIÓN CONTINUA:

Cuestionarios al finalizar la clase de teórico. Miércoles a las 17:45. **Total: 10 puntos.**
Dos clases de laboratorio obligatorias. Evaluación. **Total 10 puntos.**

CONTROLES PRESENCIALES: 2 controles de 40 puntos cada uno:

Si el puntaje acumulado es menor a 25 puntos, se reprueba la asignatura.

Si el puntaje acumulado está entre 25 y 59 puntos, se debe rendir examen.

Si el puntaje acumulado es mayor o igual a 60 puntos, se aprueba (exonera) la asignatura.

PRIMER CONTROL: del 25/04/2025 al 06/05/2025 + 10/05/2024. **Tentativo: 26/04/25**

SEGUNDO CONTROL: del 27/06/2025 al 10/07/2025. **Tentativo: 08/07/25**



Evaluación y ganancia del curso

EXÁMENES:

3 fechas:

Julio 2025: del 11/07/2025 al 31/07/2025.

Diciembre 2025: del 04/12/2025 al 23/12/2025

Febrero 2006:

Para aprobar el examen se requiere obtener el 60% de los puntos en los exámenes escritos o demostrar suficiencia en los exámenes orales.

De no salvar el examen en alguna de estas instancias, se debe recurrar.

El curso no tiene calidad de libre.



Curso en EVA

eva.fing.edu.uy/course/view.php?id=143

ó

eva.fing.edu.uy

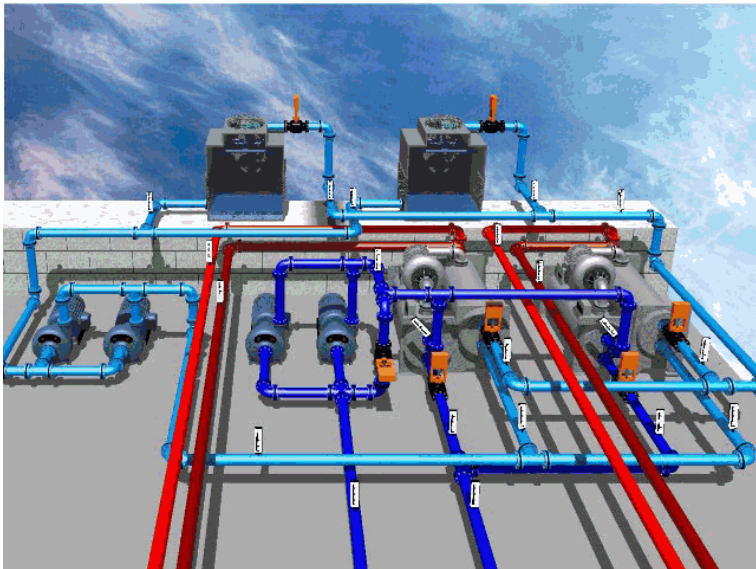
INSTITUTOS → ING. QUÍMICA → CURSOS SEMESTRE IMPAR → FTIP

Clave de registro: **DOC@Q22**

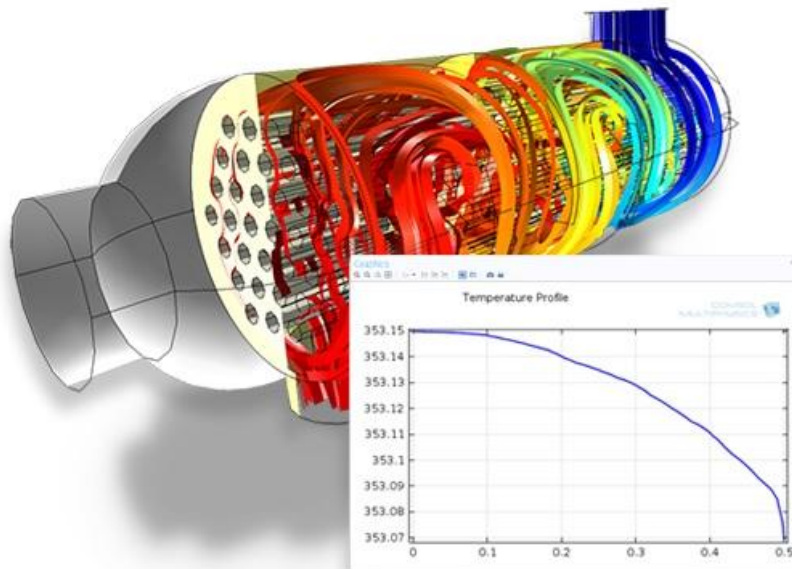
**¿Qué son los fenómenos
de transporte?**

Fenómenos de Transporte

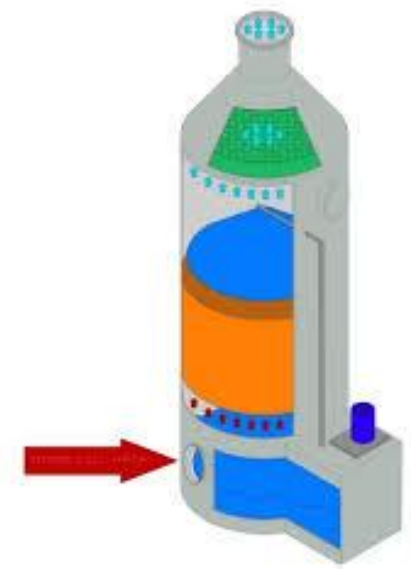
Es el estudio sistemático de los fundamentos de la transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia en uno o varios sistemas, generalmente en flujo.



Transferencia de cantidad de movimiento



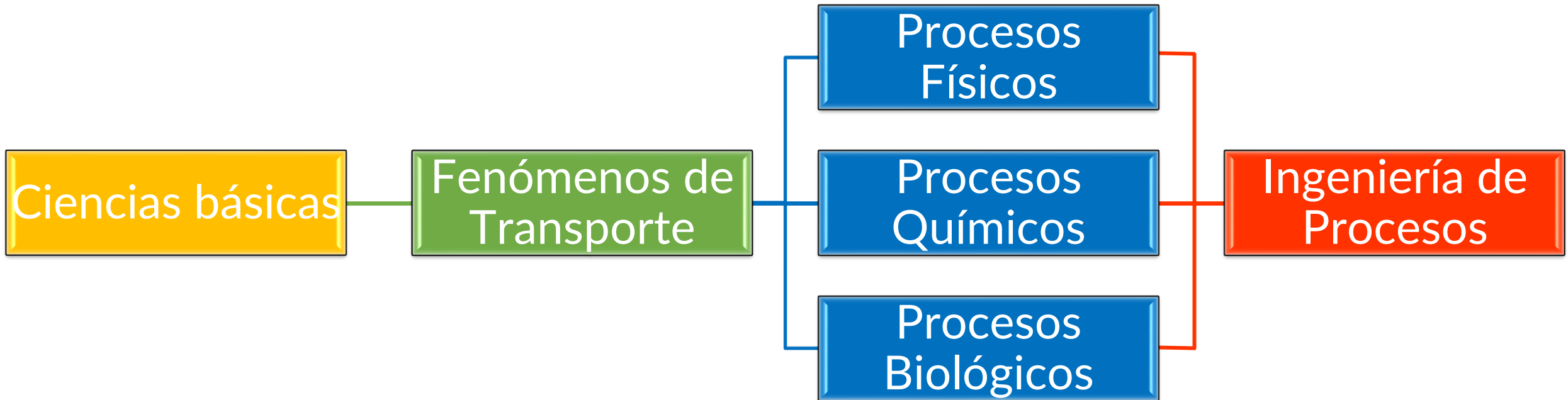
Transferencia de calor



Transferencia de masa

En los sistemas en flujo, muchas veces los tres fenómenos están presente a la vez.

Fenómenos de Transporte



Breve historia de la Ingeniería Química

Origen de la Ing. Quím.

En Inglaterra en 1880. Para distinguir a quienes manejaban plantas químicas. Ingenieros mecánicos con conocimientos químicos.

Primera mitad del siglo XX

La Ingeniería Química toma resultados de otras disciplinas. Predominaba el enfoque de “Operaciones Unitarias”

Post 2da Guerra Mundial



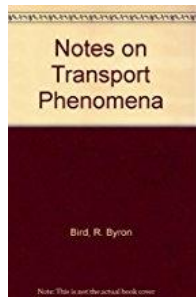
Las áreas de actuación de la Ingeniería Química se expanden, presentándose problemas nuevos que requerían un abordaje más fundamental (por ejemplo, el desarrollo de la industria de los polímeros)

1952



Se conforma un grupo de docentes con experiencia laboral en polímeros, procesos bioquímicos y fermentaciones, catálisis y diseño de reactores: **Bird, Stewart y Lightfoot**

1960



Primer texto orientado a la Ingeniería Química donde se abordan de maneja conjunta los procesos de transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento.



Fenómenos de Transporte

¿En que se diferencia el estudio de los Fenómenos de Transporte, de enfoques más clásicos como el enfoque de balances o el enfoque termodinámico?

Estudiamos los sistemas desde adentro, para determinar cuanta cantidad de movimiento, energía o materia son capaces de ceder o recibir (transferir)



Ejemplo

Velocidad de transferencia



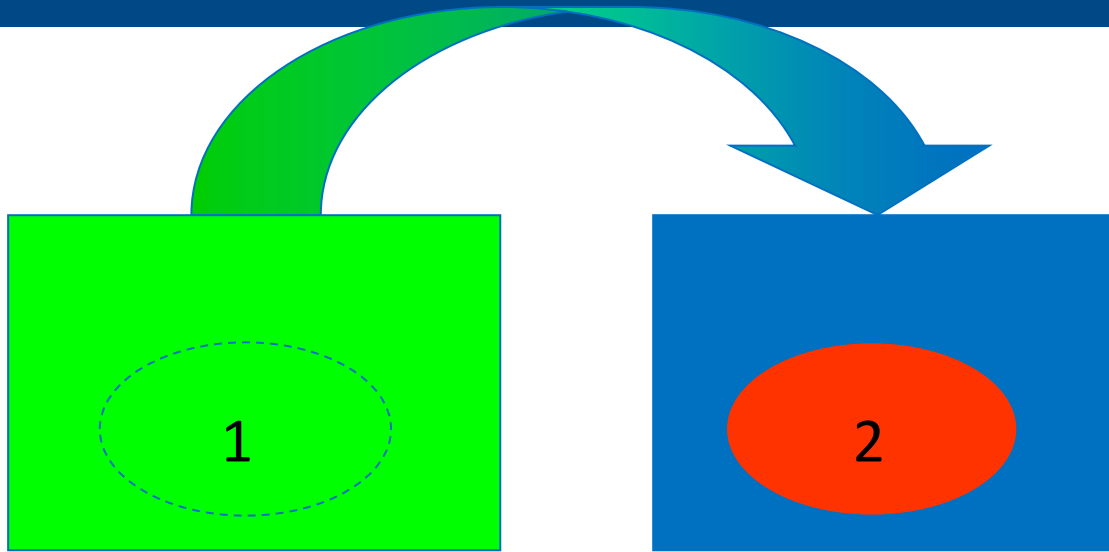
Nos interesa determinar la:

- CANTIDAD TRANSFERIDA por unidad de ÁREA
 - TIEMPO que insume dicha transferencia
- VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA por unidad de ÁREA**

¿Qué tan rápido se transfiere o cuánto tiempo requiere transferir determinada cantidad?

¿Cuánto se transfiere por unidad de área o qué superficie se precisa para transferir determinada cantidad?

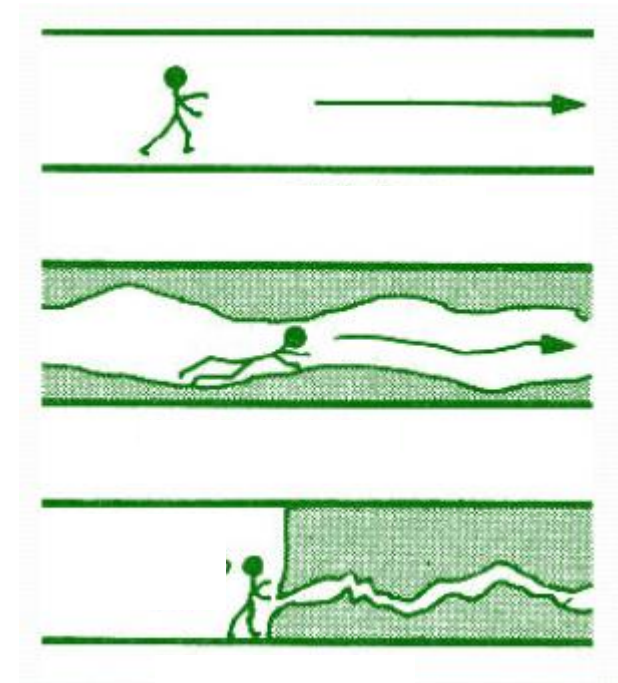
Velocidad de transferencia



POTENCIAL PARA LA
TRANSFERENCIA

“Fuerza impulsora”

RESISTENCIA
“Fuerza a vencer”



Ecuación fundamental de la transferencia

$$\left[\begin{array}{c} \text{VELOCIDAD DE} \\ \text{TRANSFERENCIA} \\ \text{por unidad de \u00c1REA} \\ \text{\u2295} \\ \text{DENSIDAD DE} \\ \text{FLUJO} \end{array} \right] \propto \left[\frac{\text{POTENCIAL}}{\text{RESISTENCIA}} \right]$$

Se introduce el concepto de **tiempo** y **\u00e1rea** f\u00edsica requerida para lograr un cambio determinado

Repaso de algunos conceptos



Definiciones

Sistema. Es la parte del universo que queremos estudiar, debe estar unívocamente definido.

Volumen de control. Porción del espacio que queremos estudiar. Debe estar perfectamente delimitada. Puede ser una parte del volumen del sistema o el sistema todo.



Definiciones

Propiedades. Los sistemas se caracterizan por el valor que adoptan ciertas propiedades.

Extensivas. Dependen de la cantidad de sistema involucrada. En general nos referimos a ellas como “cantidad de...”: Ej. masa, volumen, superficie, U , S , cantidad de carga eléctrica, cantidad de habitantes, etc...

Intensivas. No dependen de la cantidad de materia involucrada. ej. Temperatura, presión, voltaje, concentración de una especie química, densidad, etc...

Algunas propiedades son escalares, otras son vectoriales.

Densidad de una propiedad extensiva P en un punto $X = (x_o, y_o, z_o)$ de un sistema S_i .

$$\rho(X) = \lim_{V(S_i) \rightarrow \delta V} \frac{P(S_i)}{V(S_i)}$$

Nos referimos a ésta como “densidad de P”

Ejemplos: densidad (de masa), densidad de carga eléctrica, concentración, etc...



Definiciones

Propiedad extensiva específica

$$\hat{P} = \lim_{M(S_i) \rightarrow \delta M} \frac{P(S_i)}{M(S_i)}$$

Donde: $P(S_i)$ es una propiedad extensiva del sistema S_i y $M(S_i)$ es la masa del sistema S_i .

Ejemplos: volumen específico, entalpía específica, energía interna específica, etc..



Definiciones

Variación de propiedades

$$\Delta P = P(x_1, y_1, z_1, t_1) - P(x_0, y_0, z_0, t_0) \quad t_1 > t_0$$

Si P es vectorial, $\Delta \vec{P} = (\Delta P_x, \Delta P_y, \Delta P_z)$

Variación de la posición de una partícula

$$\Delta \vec{x} = [x(t_1), y(t_1), z(t_1)] - [x(t_0), y(t_0), z(t_0)] \quad t_1 > t_0$$

Definiciones

Velocidad de cambio de la propiedad P $\frac{\partial P}{\partial t}$

Si P es vectorial, $\frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = \left(\frac{\partial P_x}{\partial t}, \frac{\partial P_y}{\partial t}, \frac{\partial P_z}{\partial t} \right)$

Velocidad de cambio de la posición de una partícula

$$\vec{v}(t) = \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} = \left(\frac{\partial x}{\partial t}, \frac{\partial y}{\partial t}, \frac{\partial z}{\partial t} \right) = (v_x, v_y, v_z)$$



Definiciones

Transferencia de propiedades entre un sistema y su entorno

Refiere a la transferencia de alguna magnitud a través de la frontera de un sistema.

Cantidad de propiedad transferida = ∂P

Flujo de la propiedad P : Es la velocidad de transferencia de la propiedad en un instante t_0 ,

$$\Phi(t_0) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta t} \right)$$

Definiciones

Densidad de flujo de la propiedad P en el instante t_0 en el punto X de una superficie

$$\varphi(t_0) = \lim_{A_i \rightarrow 0} \left(\frac{\Phi_{t_0}}{A_i} \right)^n = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow t_0 \\ A_i \rightarrow 0}} \left(\frac{\Delta P}{A_i \cdot \Delta t} \right)$$

Donde A_i es una superficie **perpendicular** al flujo cuya área tiende a 0.

La densidad de flujo es la cantidad de la propiedad P transferida por unidad de tiempo y por unidad de área. El área es perpendicular a la dirección de la transferencia.



Definiciones

Habíamos visto que:
$$Densidad\ de\ flujo = \frac{Potencial}{Resistencia} = - \frac{Gradiente}{Resistividad}$$

Para que tenga lugar un flujo es necesario la existencia de una fuerza impulsora o **potencial**. *Si existe potencial habrá un flujo.*

- Cantidad de movimiento: El potencial es una diferencia de velocidades dentro de un sistema.
- Energía térmica: El potencial es una diferencia de temperaturas dentro de un sistema.
- Materia: El potencial es una diferencia en la concentración de una especie química dentro de un sistema.

El potencial está asociado al **gradiente** (∇) de la propiedad.

Definiciones

En nuestro caso, las propiedades P de interés son cantidad de movimiento, energía térmica y materia.

Densidad de flujo de cantidad de mov.
(Ley de Newton de la viscosidad)

$$\tau_{yx} = -\nu \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial y}$$

Densidad de flujo de energía térmica
(Ley de Fourier de la conductividad térmica)

$$q = -\alpha \frac{\partial(\rho C_P T)}{\partial y}$$

Densidad de flujo de materia de la especie A
(Ley de Fick de la difusividad)

$$J_A^* = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y}$$

Muchas gracias por tu
atención

 www.fing.edu.uy
   /fingudelar



FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY