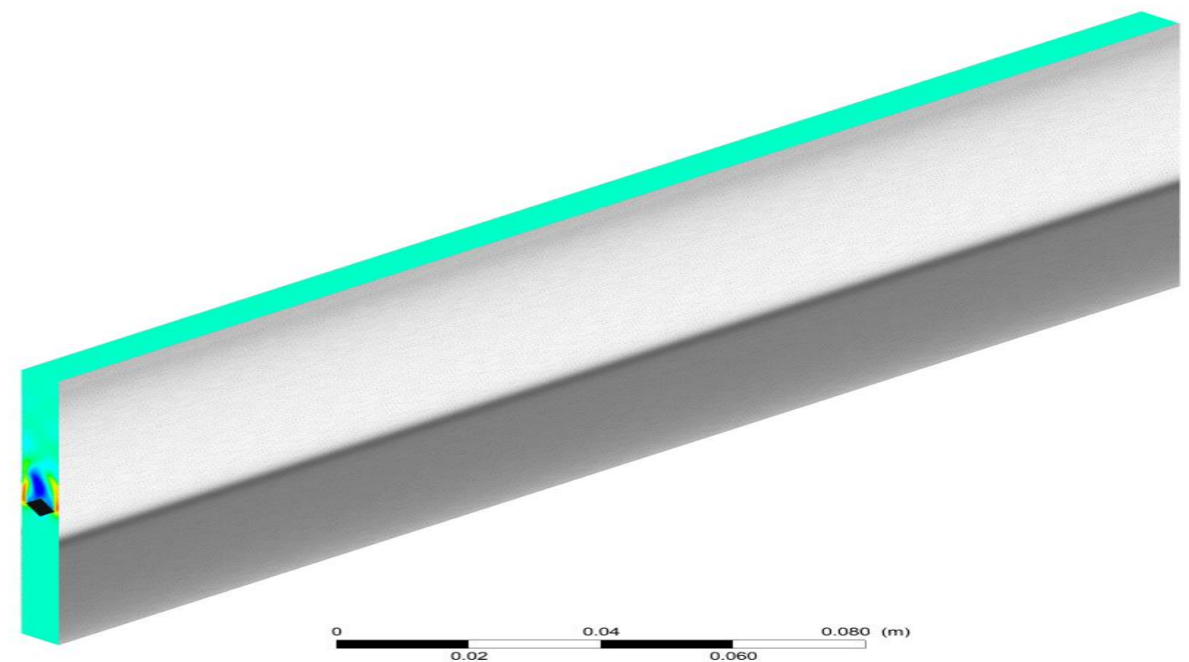
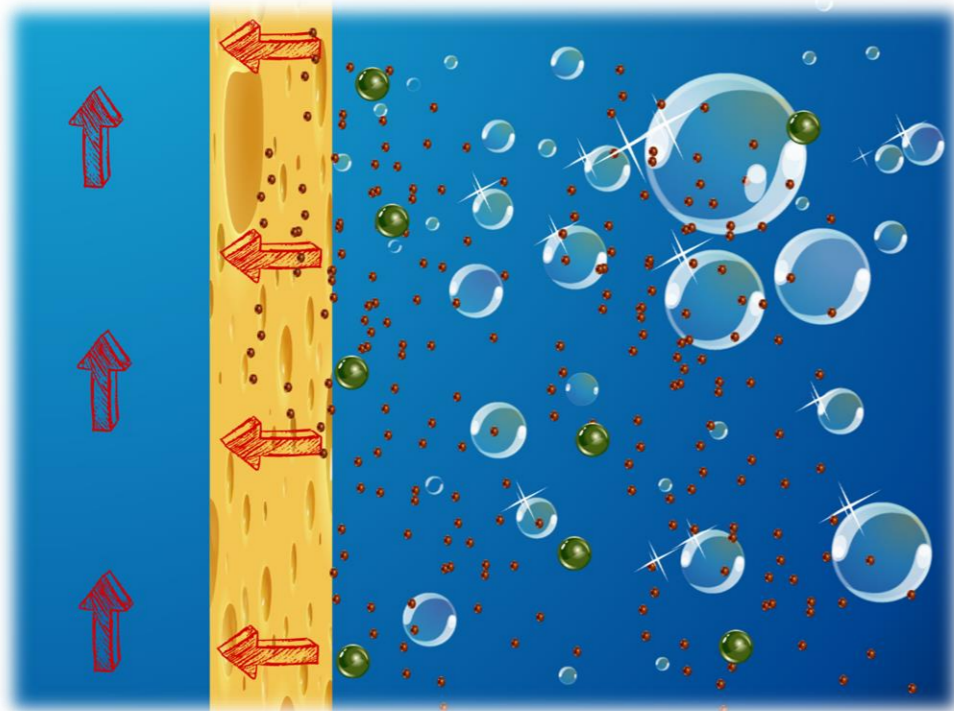
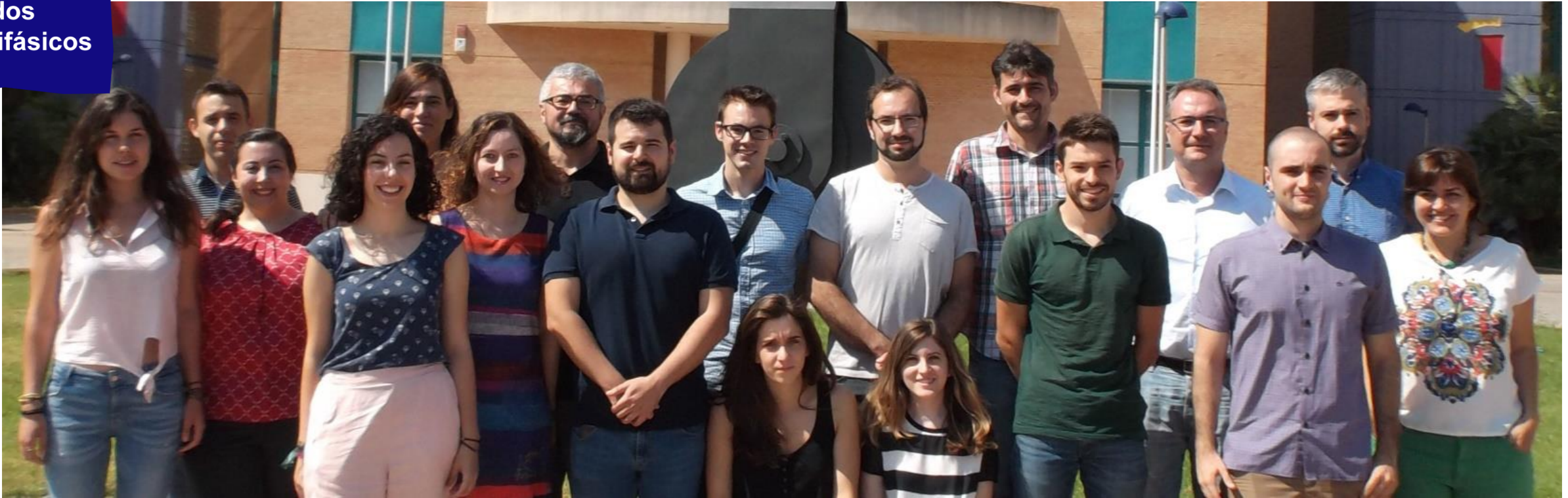


Simulación de ensuciamiento y limpieza de membranas mediante códigos CFD

Raúl Martínez-Cuenca

Rosario Arnau, José Javier Conesa, Sergio Chiva





¿Quiénes somos?

- 4 Profesores Titulares
- 1 técnico de laboratorio
- 3 becarios postdoctorales
- 8 estudiantes de doctorado
- 3 estudiantes

Apoyo financiero

+ 300.000 € en convocatorias competitivas y contratos privados de investigación con empresas

Líneas de investigación:

- Caracterización experimental de fluidos multifásicos.
- Desarrollo de instrumentación para la caracterización de fluidos multifásicos (sondas impedancia , técnicas láser, técnicas por procesamiento de imagen).
- Desarrollo de modelos matemáticos para la simulación de fluidos multifásicos. Modelado mediante técnicas CFD
- Nanofluidos: Estudios experimentales y desarrollo de modelos.
- Estudios hidráulicos orientados a la cooperación al desarrollo y responsabilidad social.

Índice

- 1** **Introducción**
- 2** **Modelado CFD de flujos multifásicos**
- 3** **Modelo local de *fouling***
- 4** **Ejemplos de actuación**

Introducción

¿Qué son los CFD?

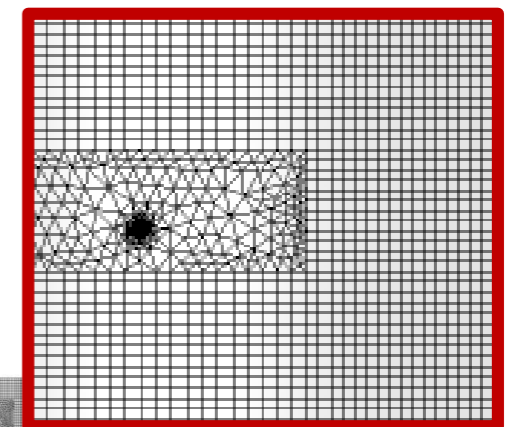
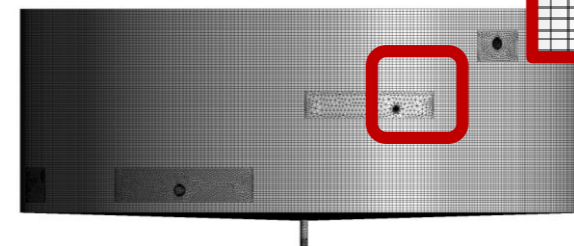
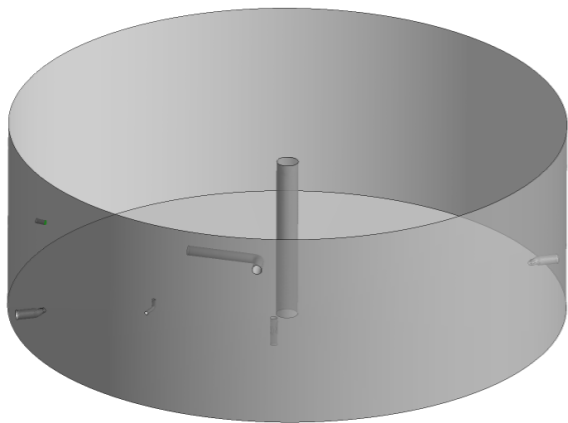
1. Códigos que permiten resolver numéricamente las ecuaciones que describen el comportamiento de los fluidos.

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$



$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x_1} \approx \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

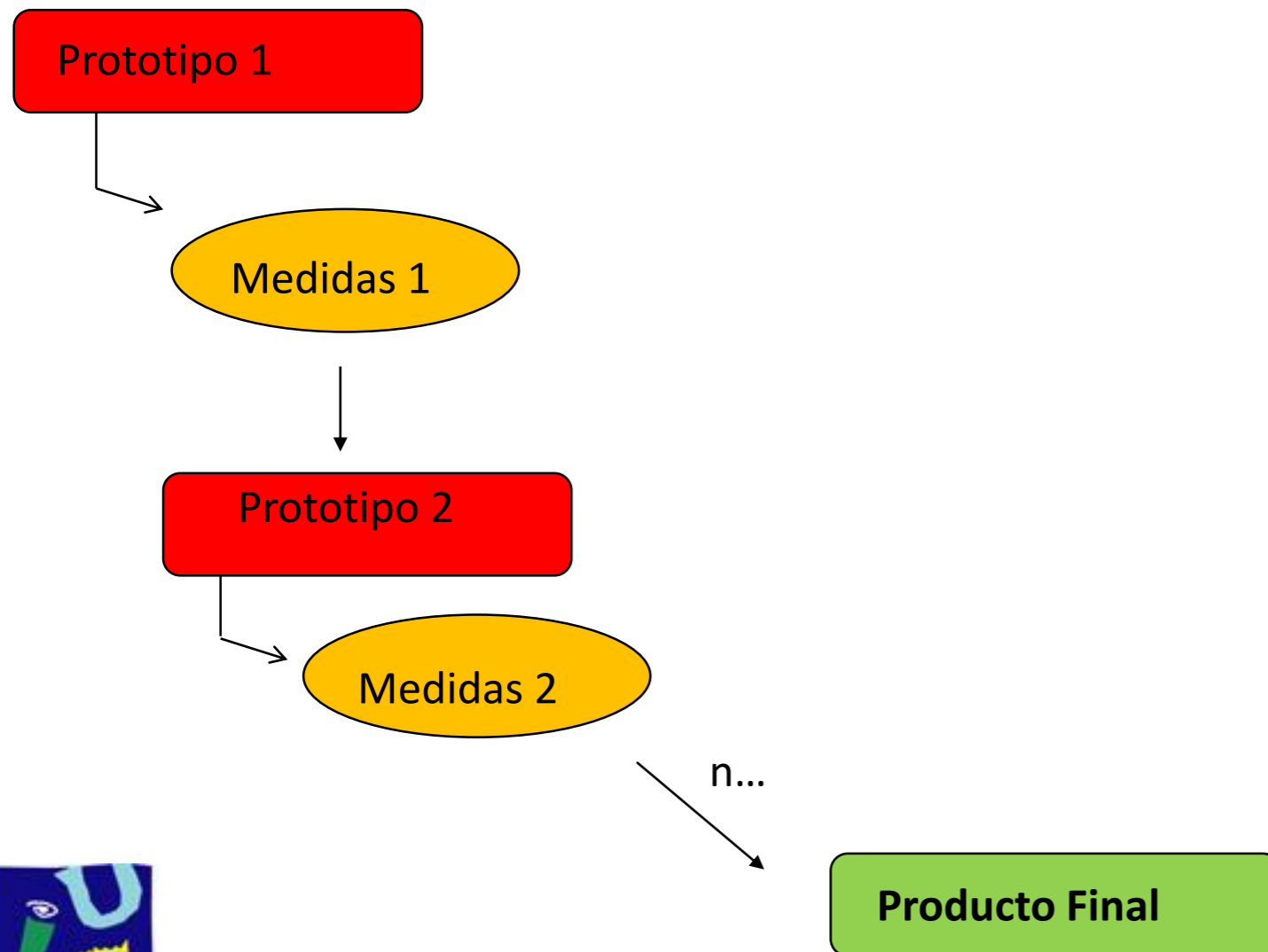
discretización
linearización



Introducción

¿Para qué se utilizan?

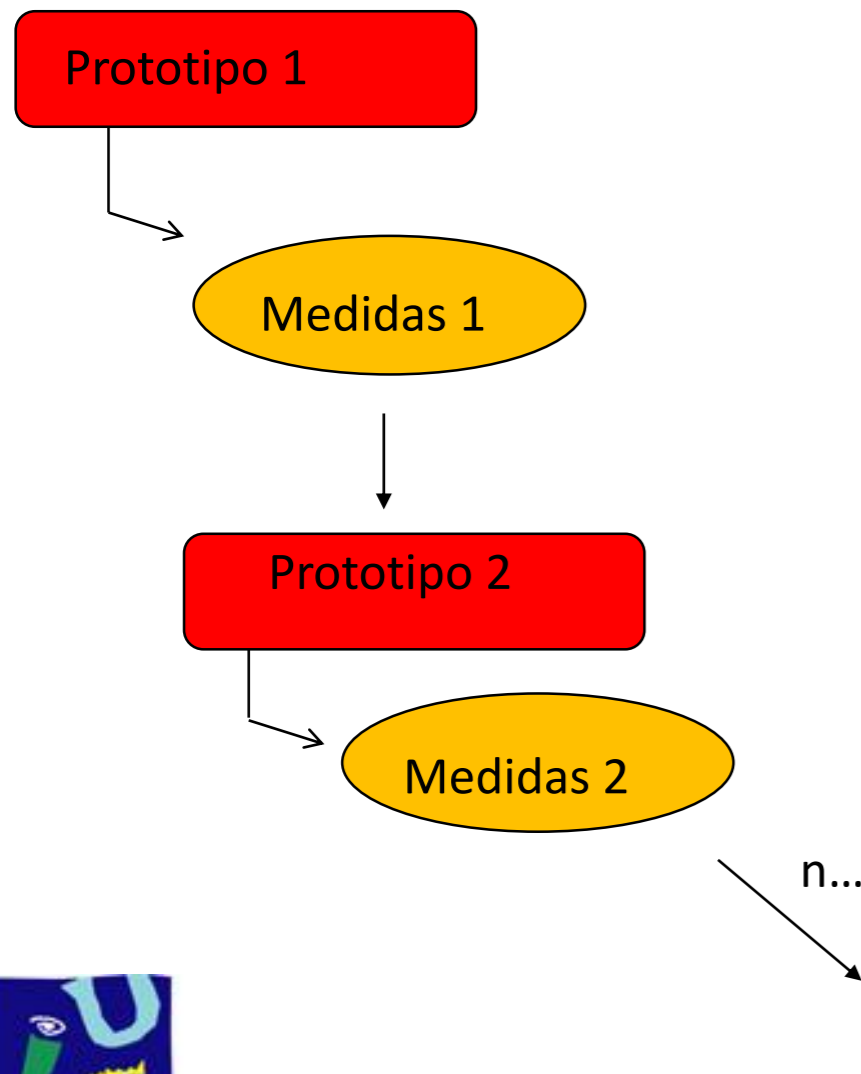
Prototipos físicos



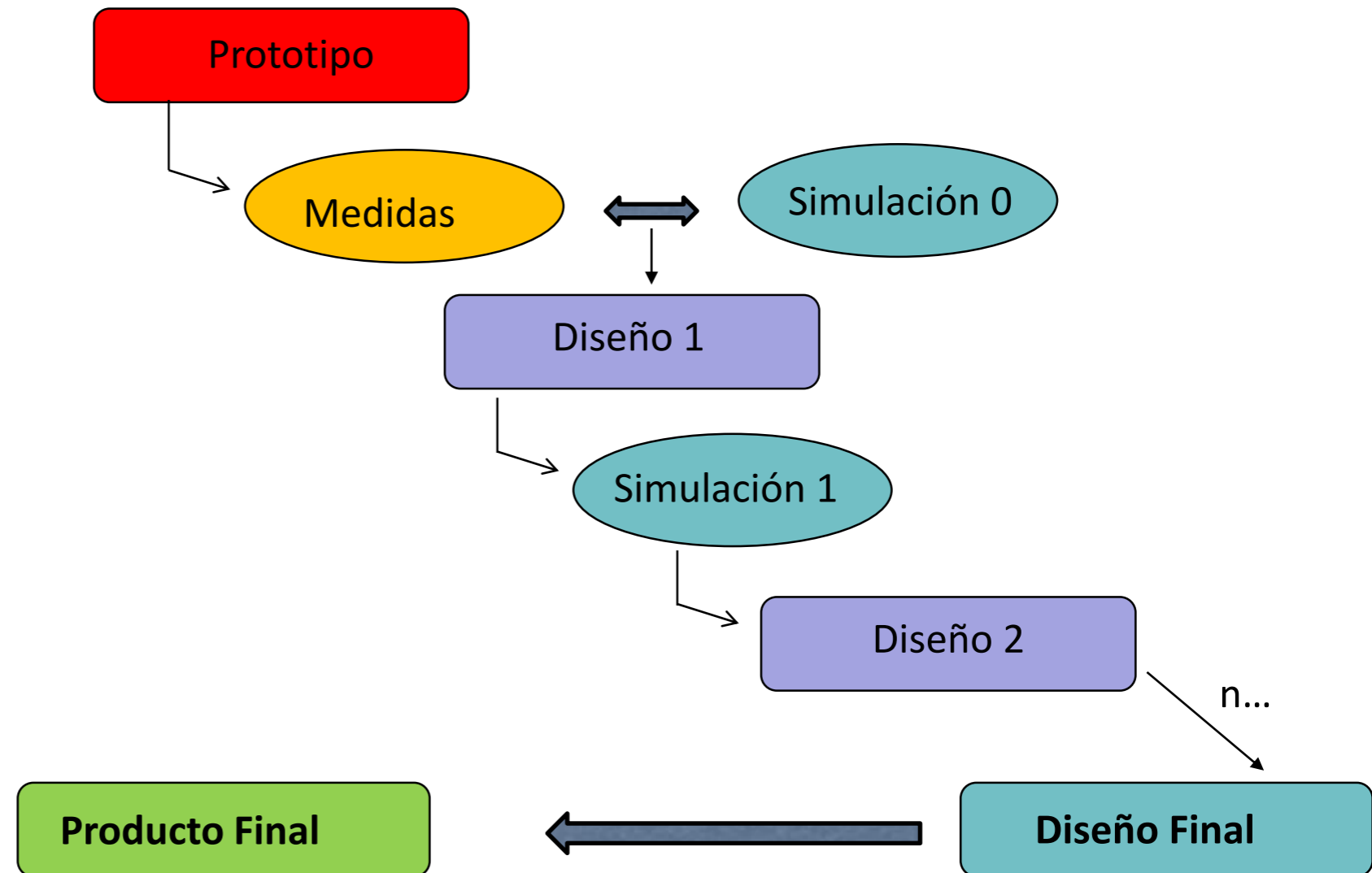
Introducción

¿Para qué se utilizan?

Prototipos físicos



Prototipos virtuales



Introducción

¿Para qué se utilizan?

1. Aerodinámica:

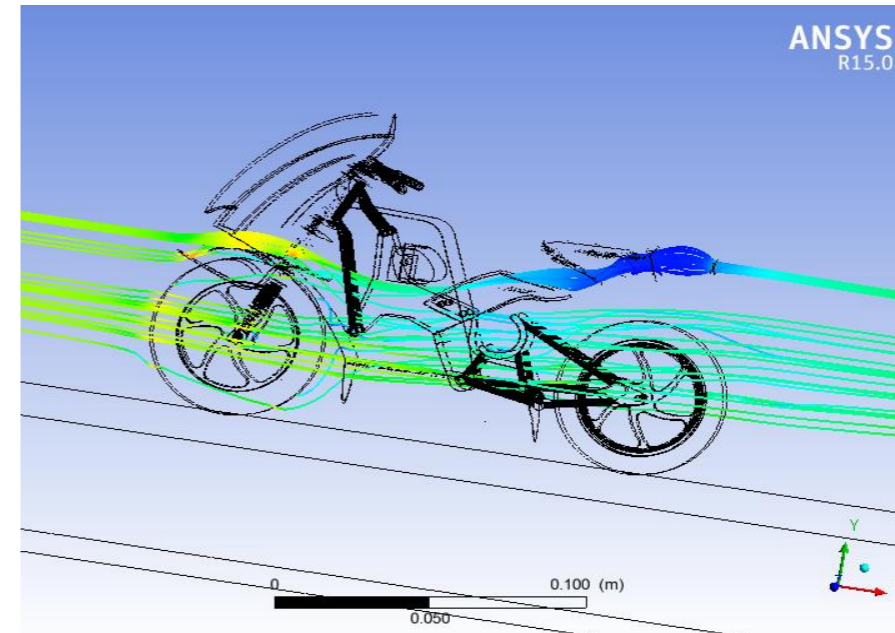
- Estudios de arrastre y empuje
- Estudios de refrigeración

2. Hidráulica

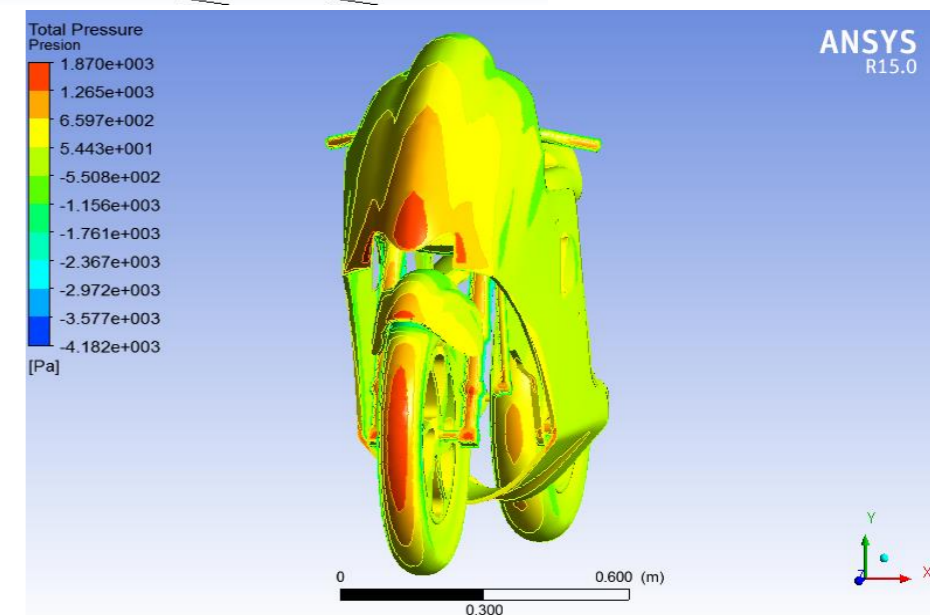
- Optimización de bombas
- Optimización de eyectores

3. Tratamiento de aguas:

- Aireación en reactores biológicos
- Eficiencia decantadores



Joan Albert Marí



Introducción

¿Para qué se utilizan?

1. Aerodinámica:

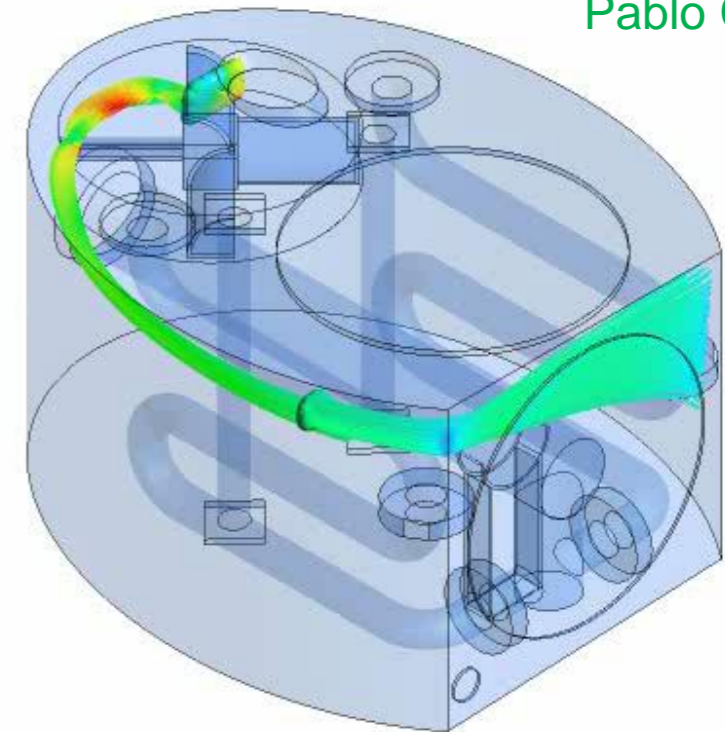
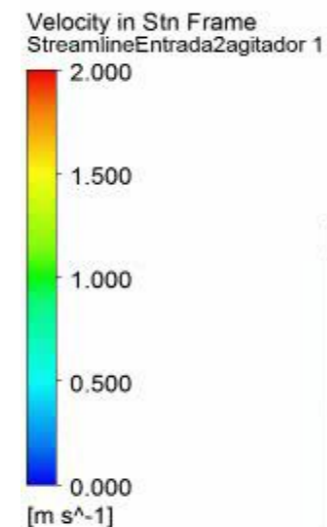
- Estudios de arrastre y empuje
- Estudios de refrigeración

2. Hidráulica

- Optimización de bombas y eyectores
- Optimización de tanques mezcladores

3. Tratamiento de aguas:

- Aireación en reactores biológicos
- Eficiencia decantadores



Pablo Carratalá



Introducción

¿Para qué se utilizan?

1. Aerodinámica:

- Estudios de arrastre y empuje
- Estudios de refrigeración

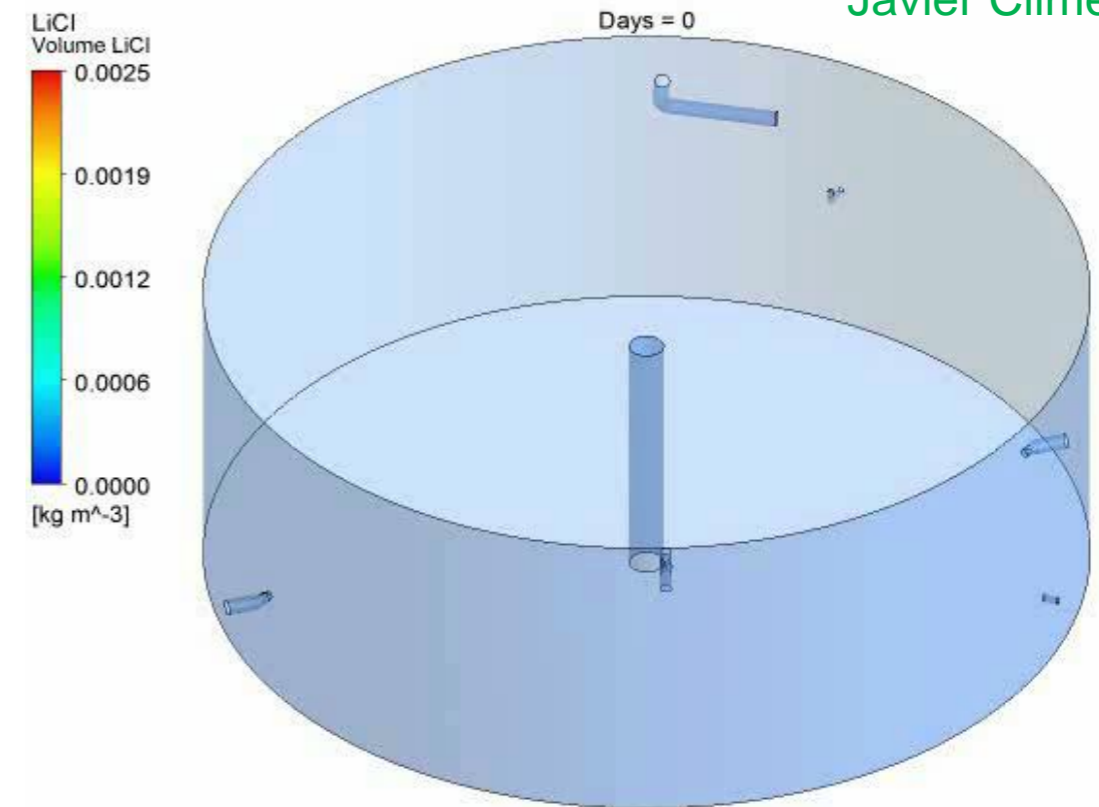
2. Hidráulica

- Optimización de bombas
- Optimización de eyectores

3. Tratamiento de aguas:

- Aireación en reactores biológicos
- Zonas muertas en digestores

Rosario Arnau
Javier Climent

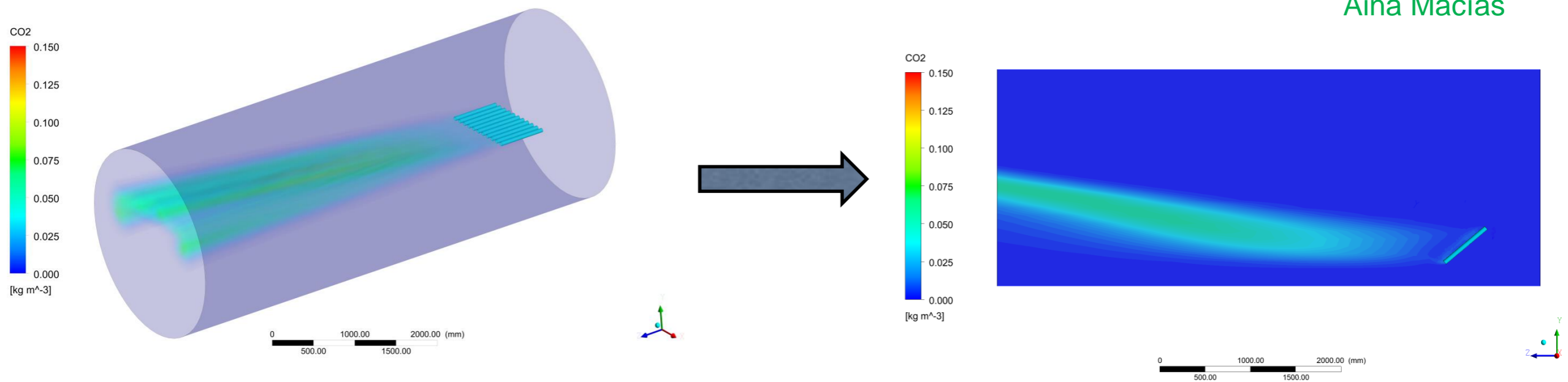


Introducción

¿Para qué se utilizan?

4. Transferencia de CO_2 al agua para prevención del *macrofouling*:

- Diseño y posicionamiento de los difusores
- Mejora de la eficiencia energética en un **15%**

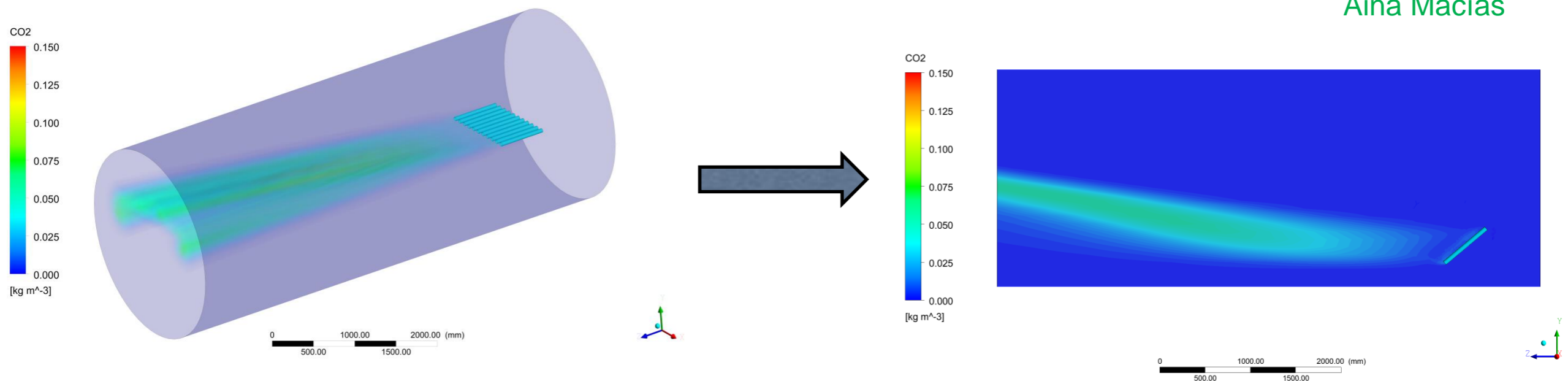


Introducción

¿Para qué se utilizan?

4. Transferencia de CO_2 al agua para prevención del *macrofouling*:

- Diseño y posicionamiento de los difusores
- Mejora de la eficiencia energética en un **15%**

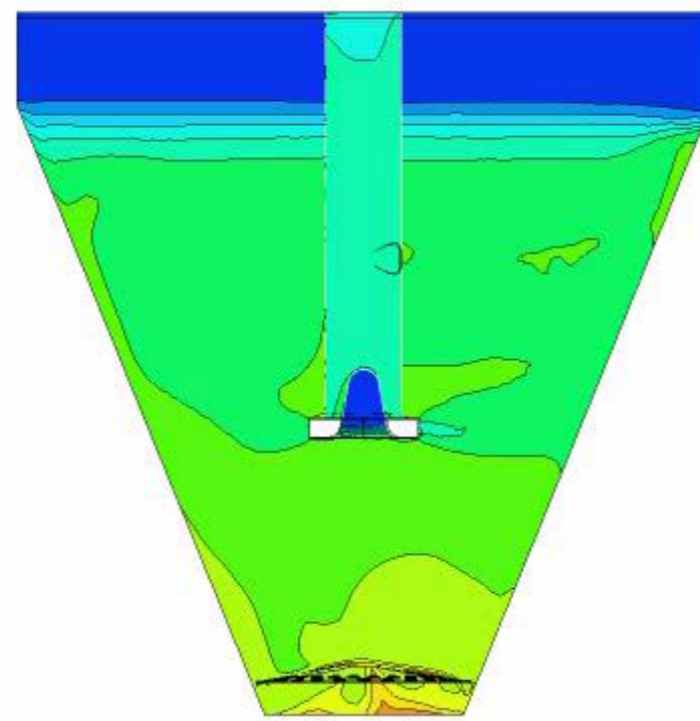


Introducción

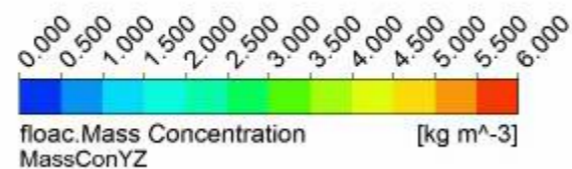
¿Para qué se utilizan?

5. Diseño de clarificadores:

- Control del flujo en el interior para mejorar homogeneización del manto



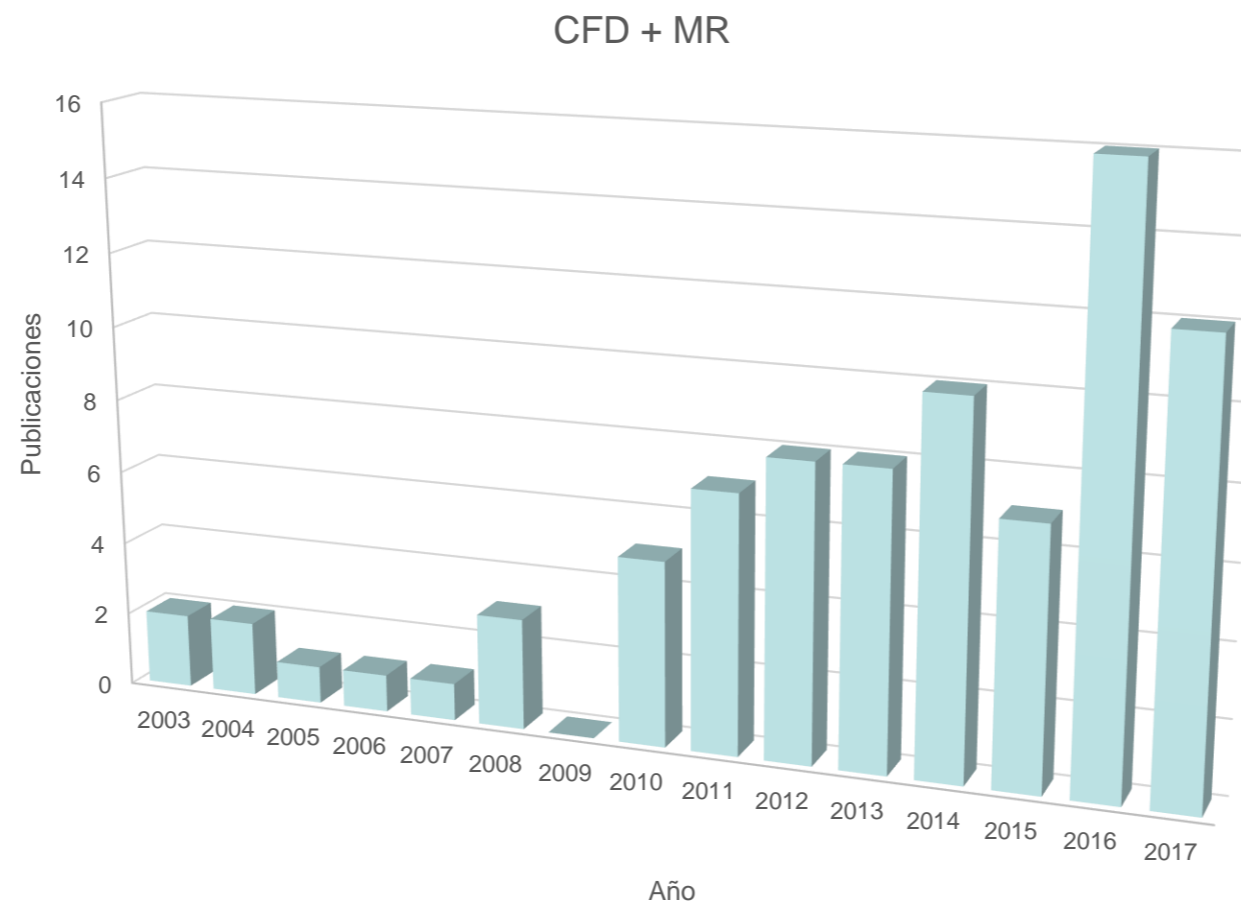
Jose Vilarroig
Javier Climent



Introducción

Estado de desarrollo

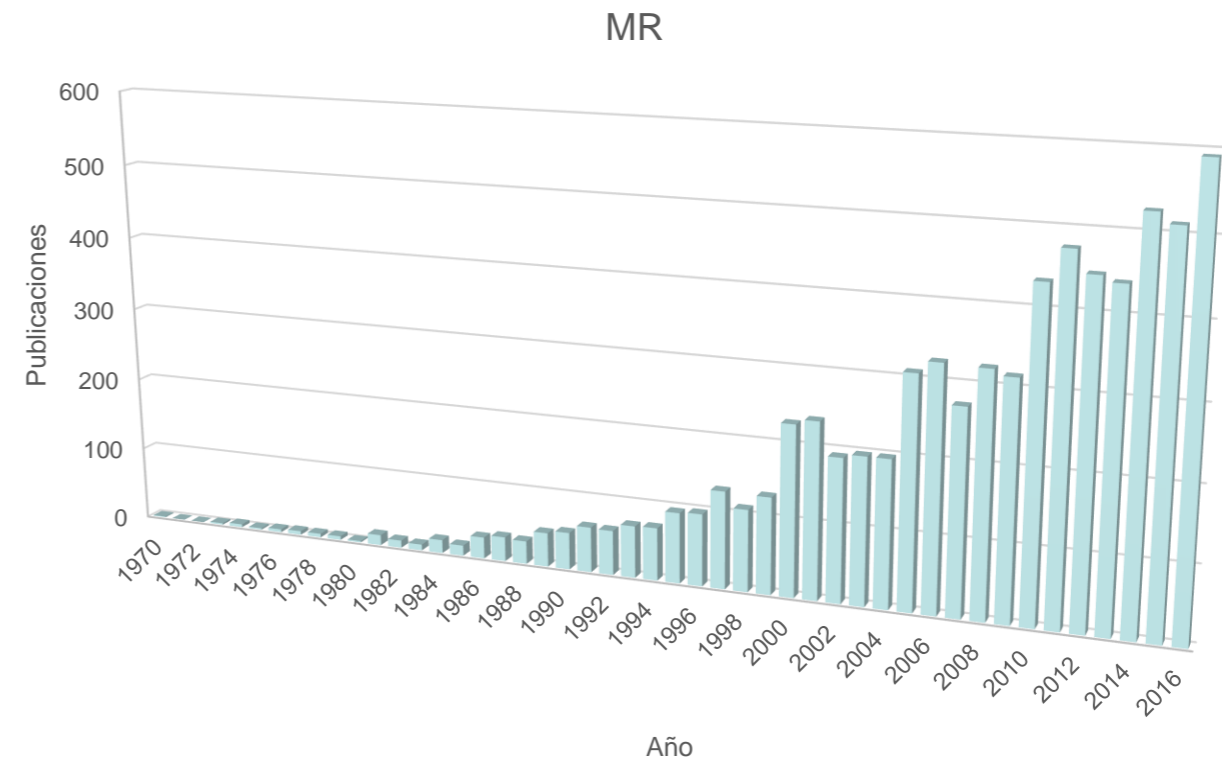
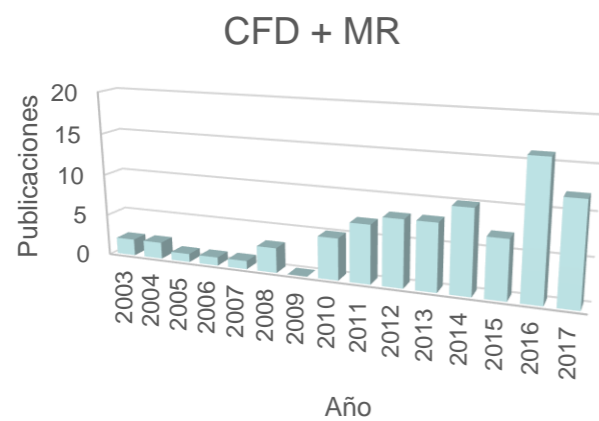
Publicaciones sobre CFD y reactores de membrana (MR)



Introducción

Estado de desarrollo

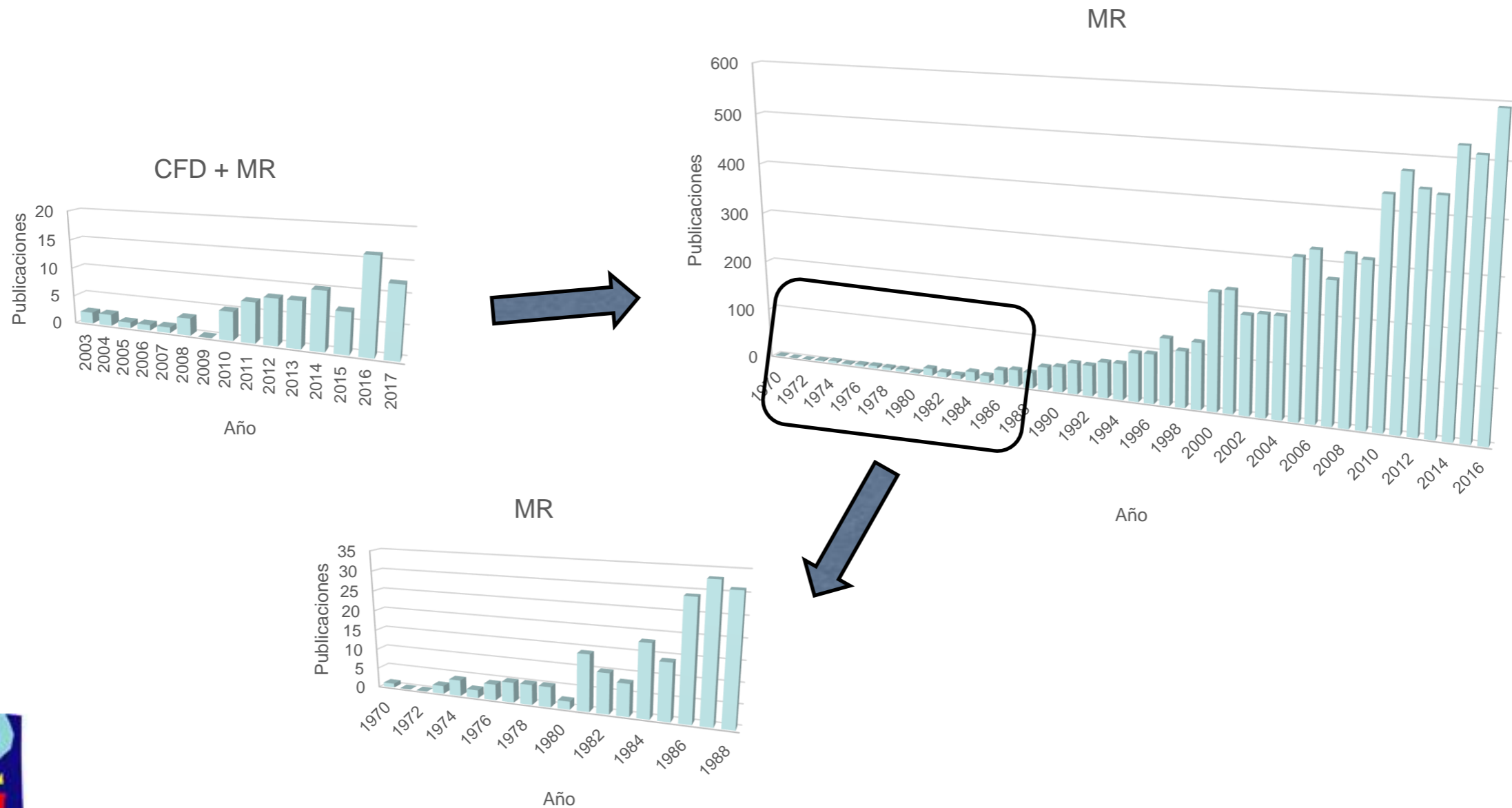
Publicaciones sobre reactores de membrana



Introducción

Estado de desarrollo

Publicaciones sobre reactores de membrana



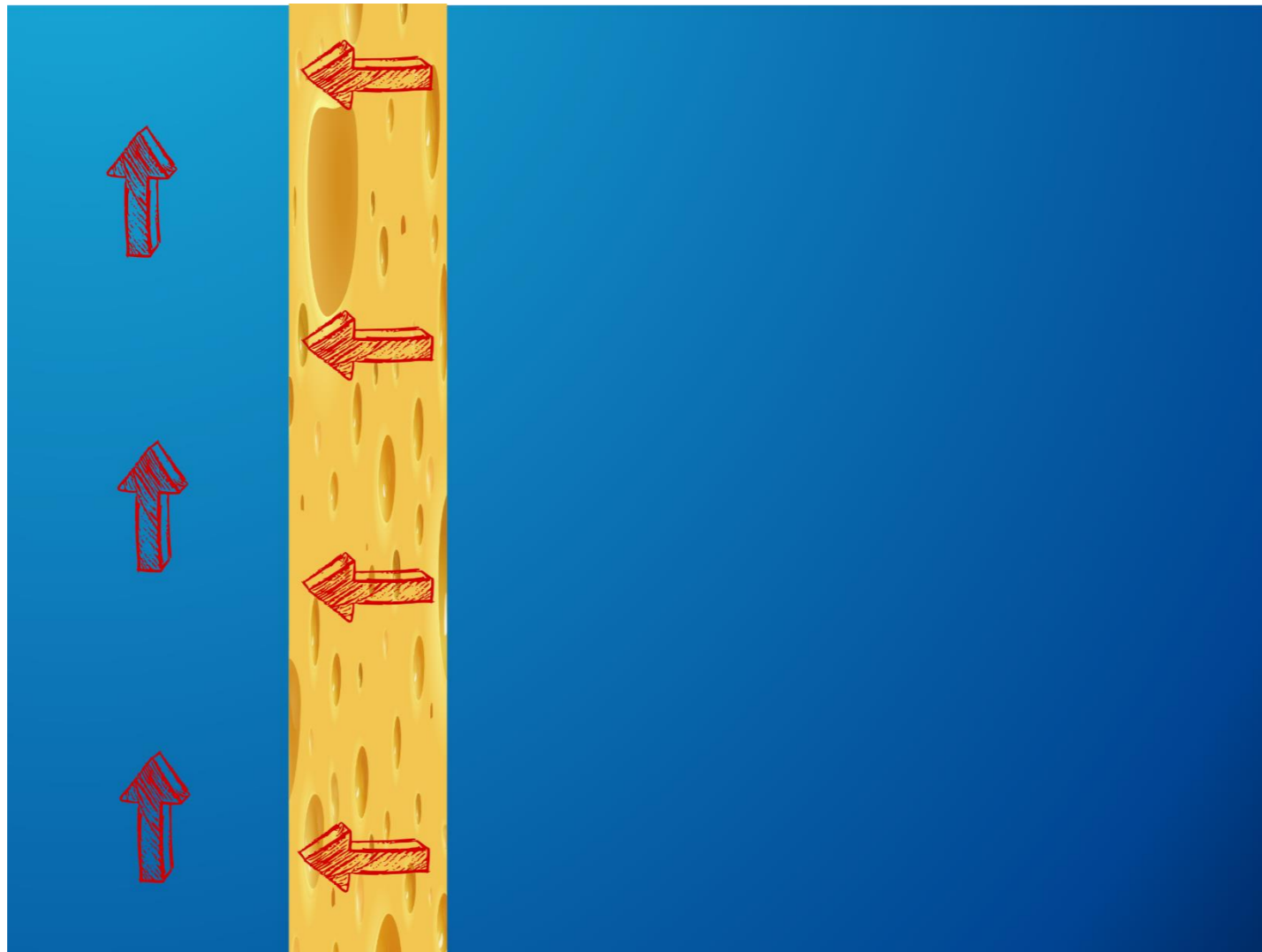
Introducción

- 1** **Introducción**
- 2** **Modelado CFD de flujos multifásicos**
- 3 Modelo local de *fouling*
- 4 Ejemplos de actuación



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Qué necesitamos simular?

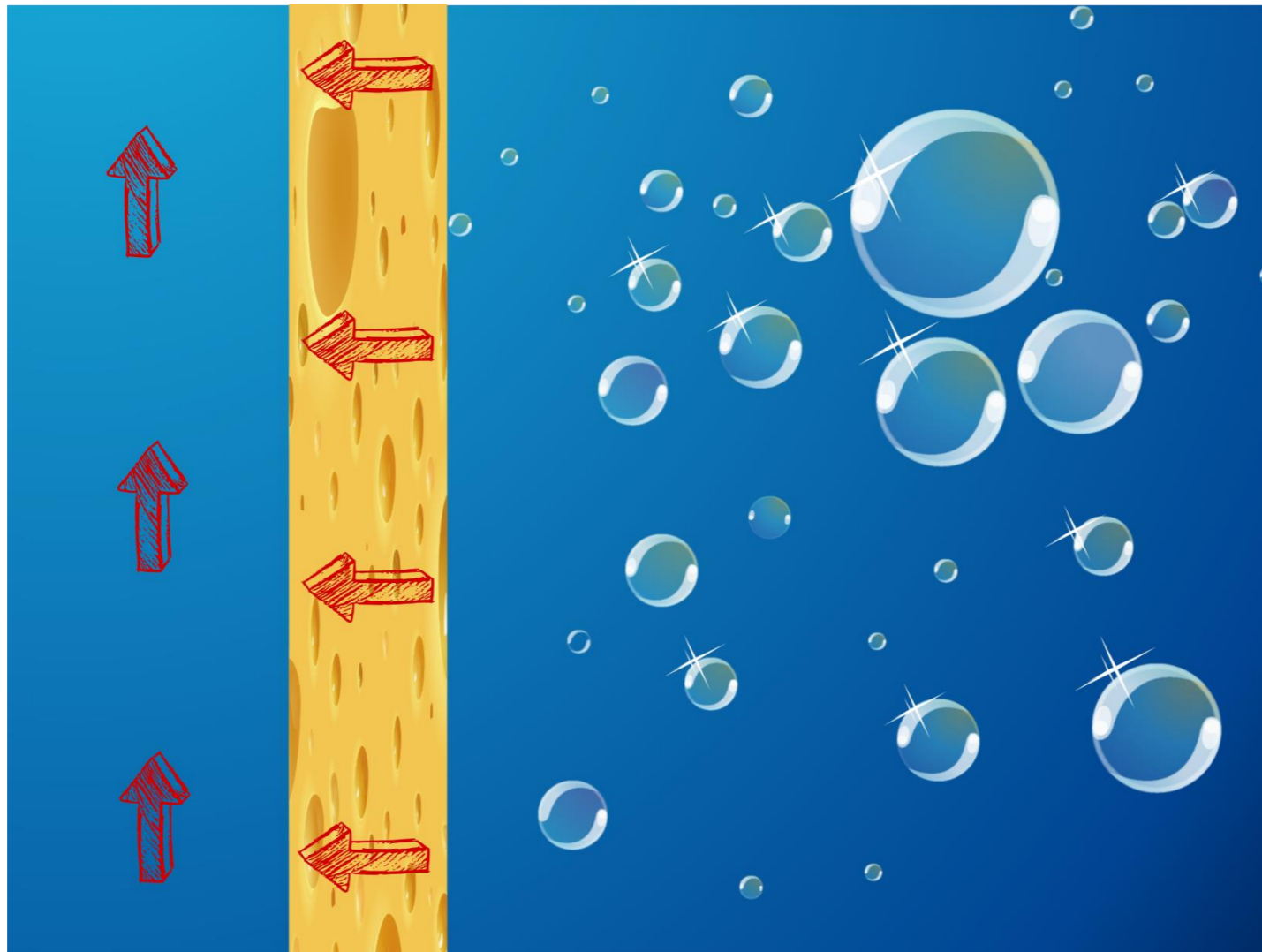


- Medio poroso
- Líquido



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Qué necesitamos simular?

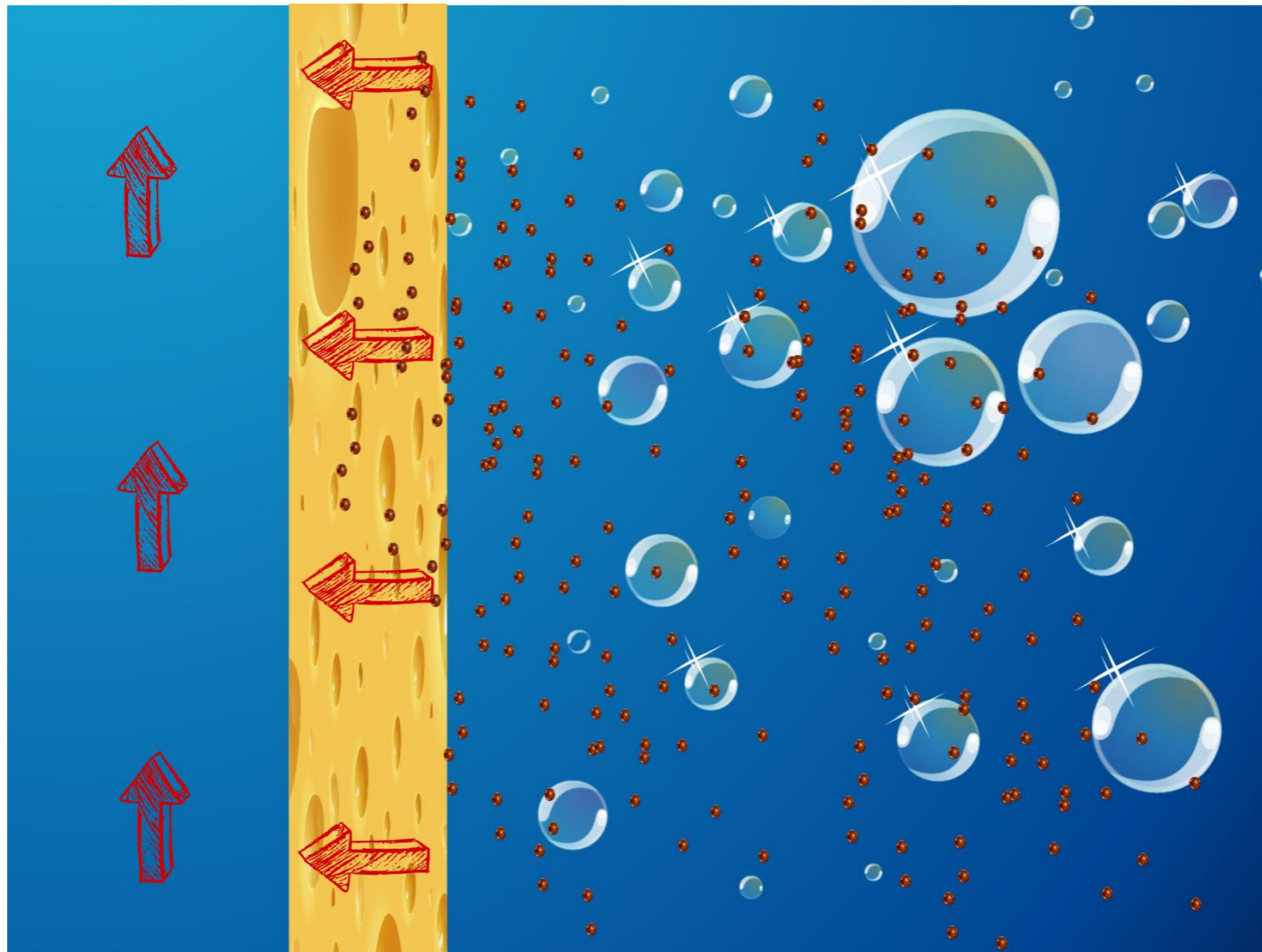


- Medio poroso
- Líquido
- Burbujas



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Qué necesitamos simular?

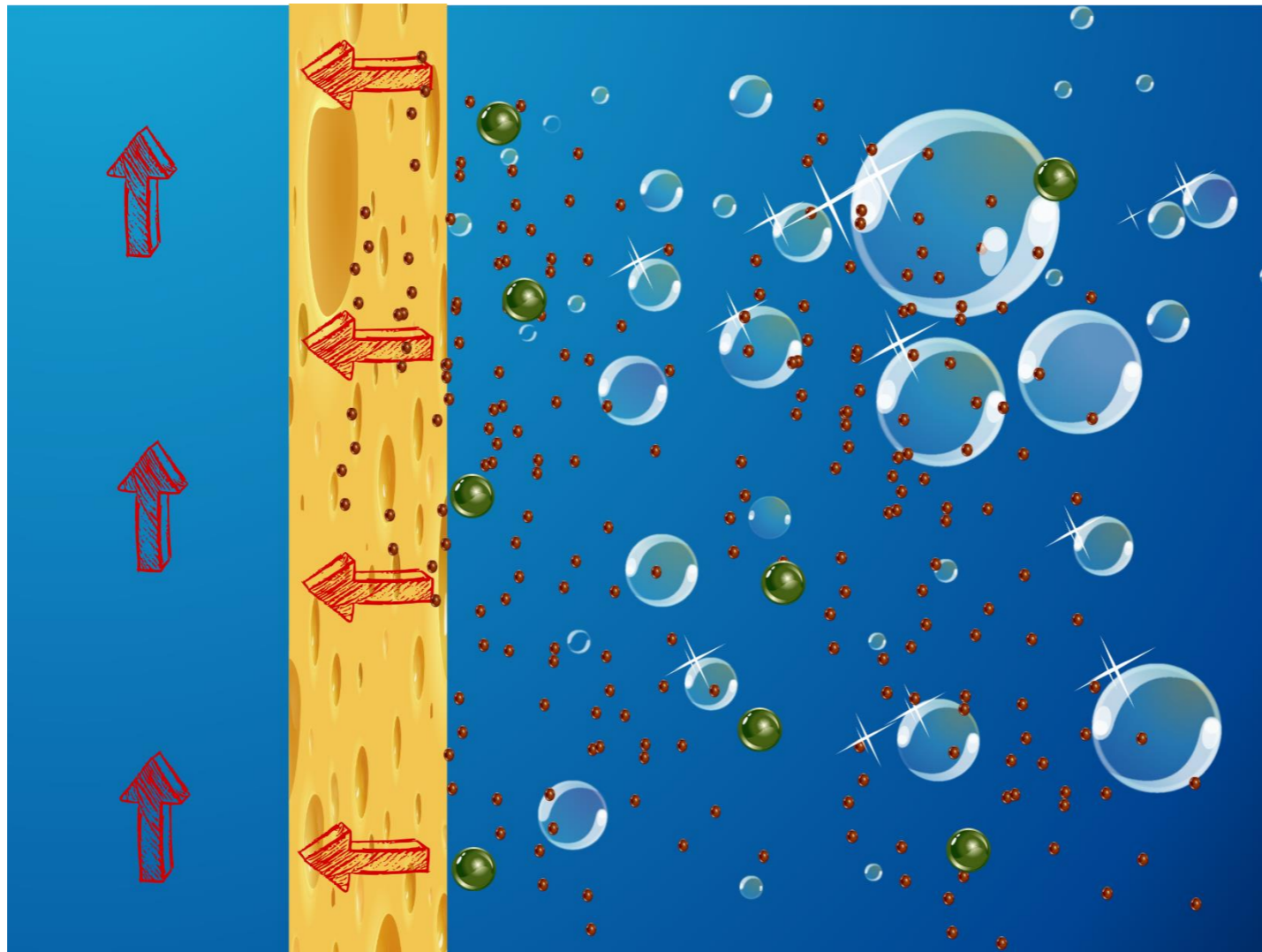


- Medio poroso
- Líquido
- Burbujas
- Sólidos pequeños



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Qué necesitamos simular?



- Medio poroso
- Líquido
- Burbujas
- Sólidos pequeños
- Sólidos grandes
- Película

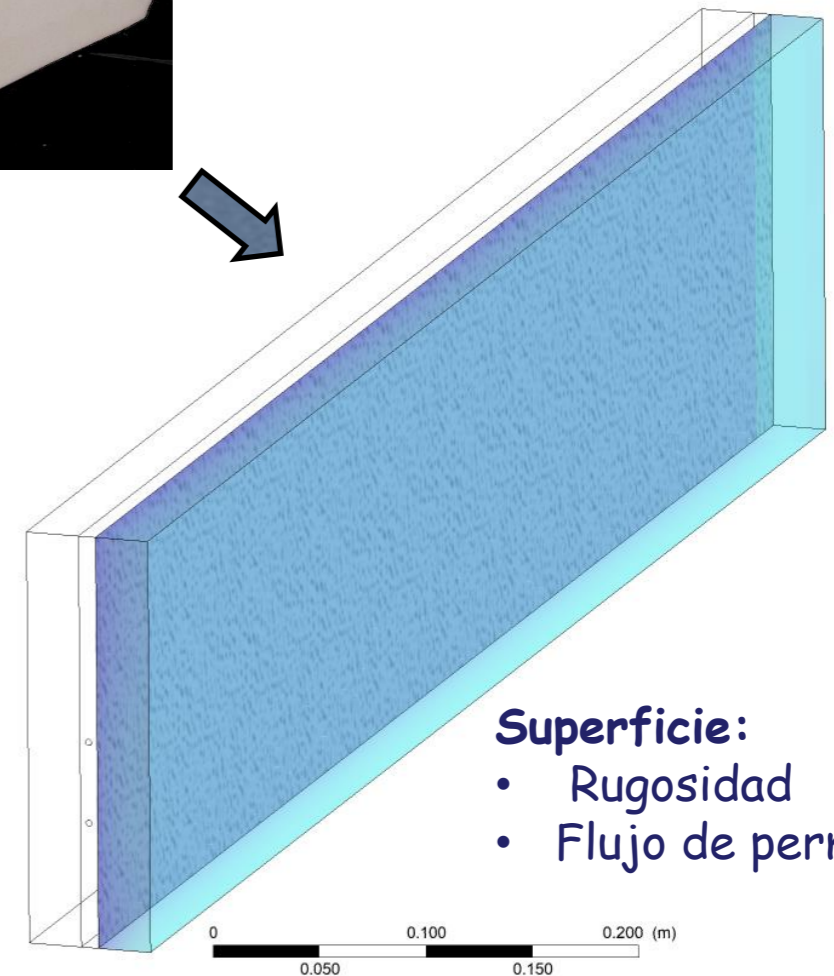
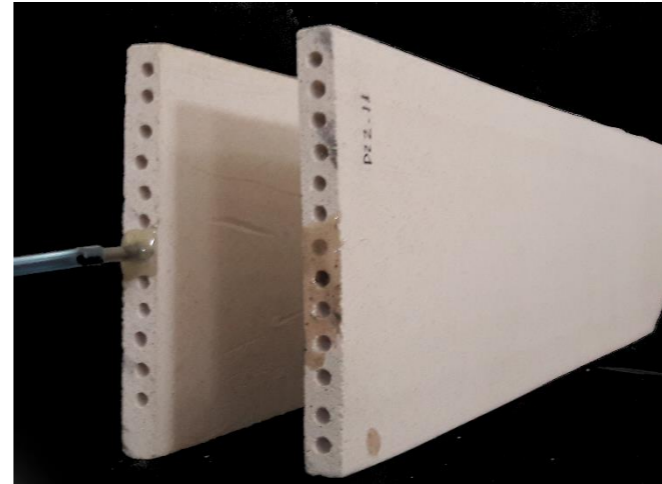
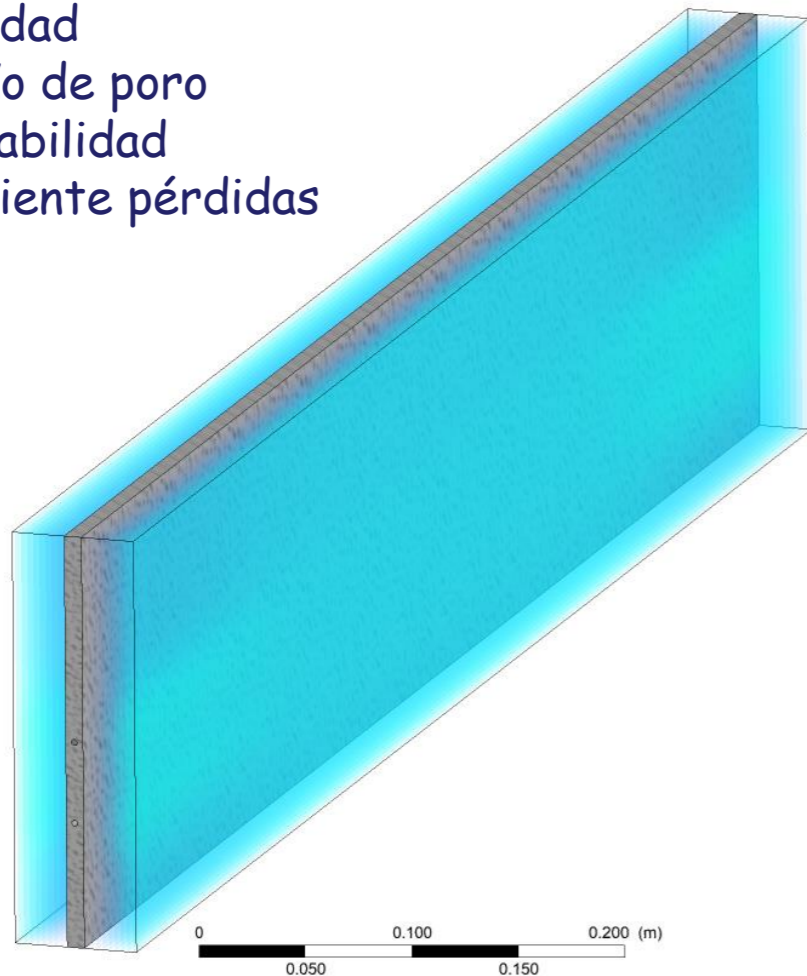


Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos las membranas?

Medio poroso:

- Rugosidad
- Tamaño de poro
- Permeabilidad
- Coeficiente pérdidas



Superficie:

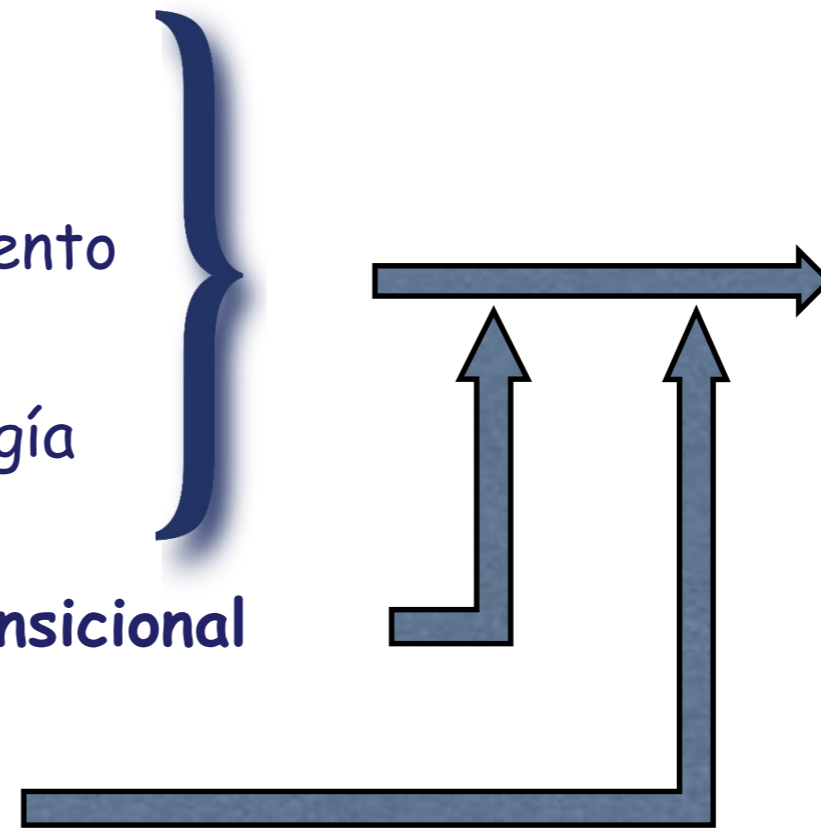
- Rugosidad
- Flujo de permeado



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos el fluido base?

- Ecuación conservación de la masa
- Ecuaciones de conservación de momento
- Ecuación de conservación de la energía
- Ecuaciones de turbulencia: **SST** transicional
- Reología: **Ostwald de Waele**



- Velocidad
- Presión
- Temperatura
- Turbulencia
- Shear stress

$$\mu(C) = K(C) \cdot \gamma^{n(C)-1}$$

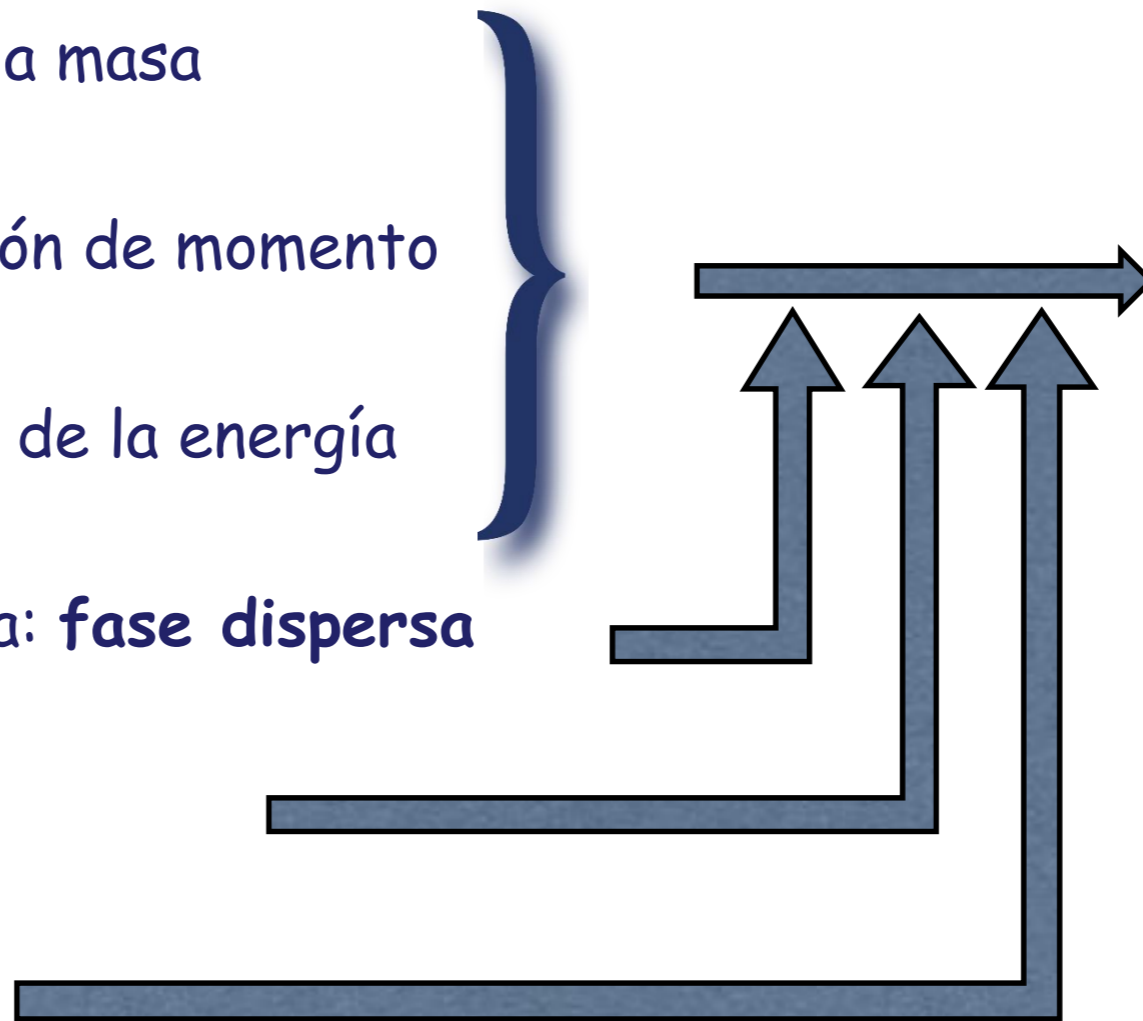
Concentración de sólidos



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos las burbujas?

- Ecuación conservación de la masa
- Ecuaciones de conservación de momento
- Ecuación de conservación de la energía
- Ecuaciones de turbulencia: **fase dispersa**
- Fuerzas interfaciales **(1)**
- Balance de población **(2)**



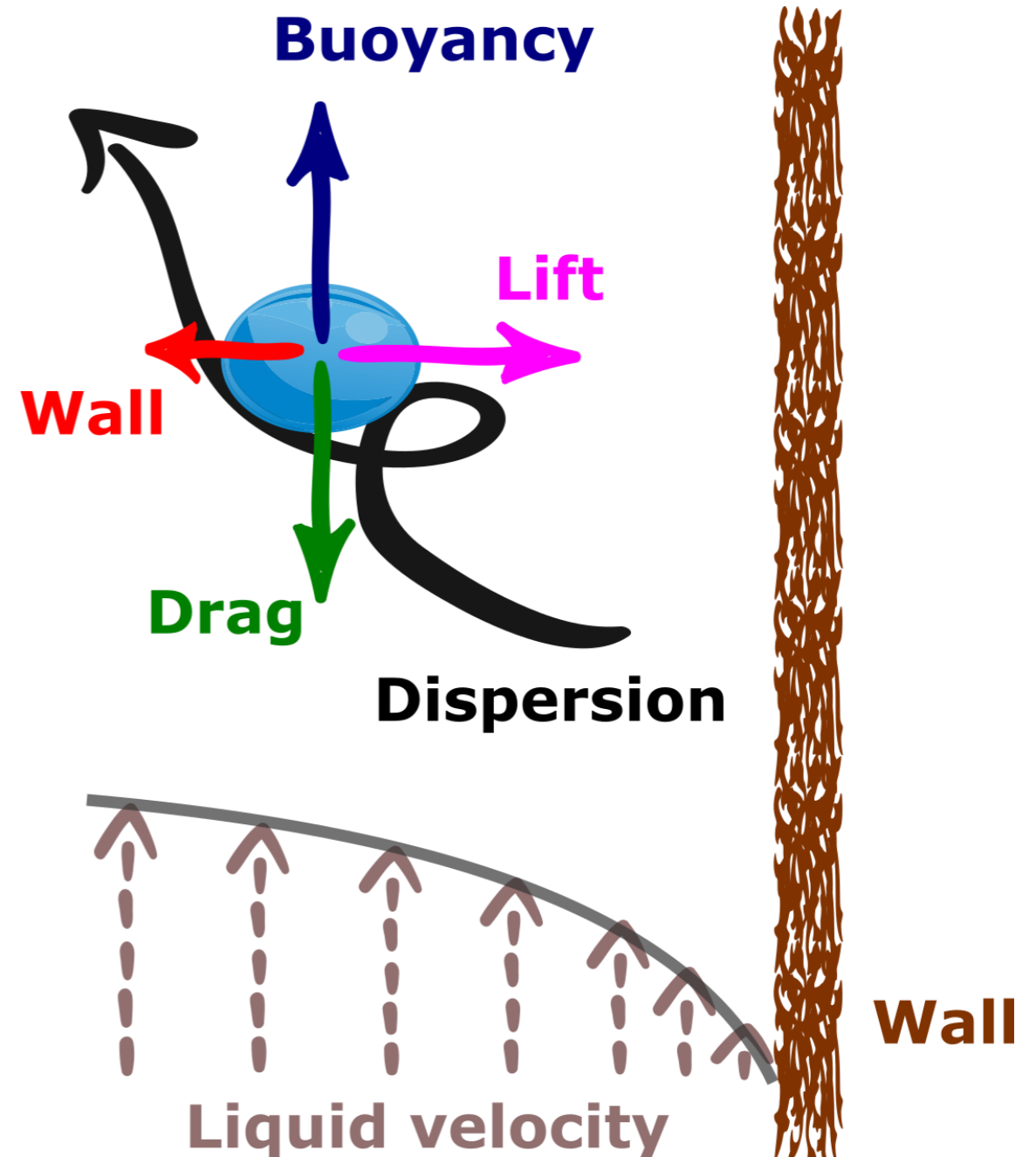
- Velocidad
- Presión
- Temperatura
- Concentración
- Tamaños



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos las burbujas?

- Fuerzas interfaciales:
 - Drag: Ishii-Zuber
 - Fuerza de pared: **UJI**
 - Lift: **UJI**
 - Dispersión turbulenta: Favre

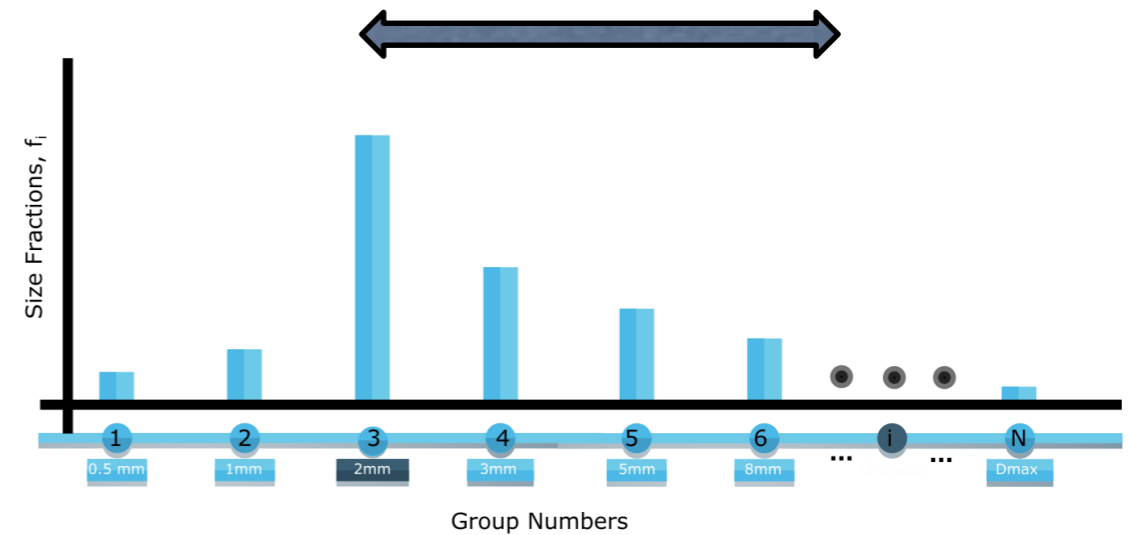


Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos las burbujas?

- Balance de población:

- Homogeneous *MUSIG*



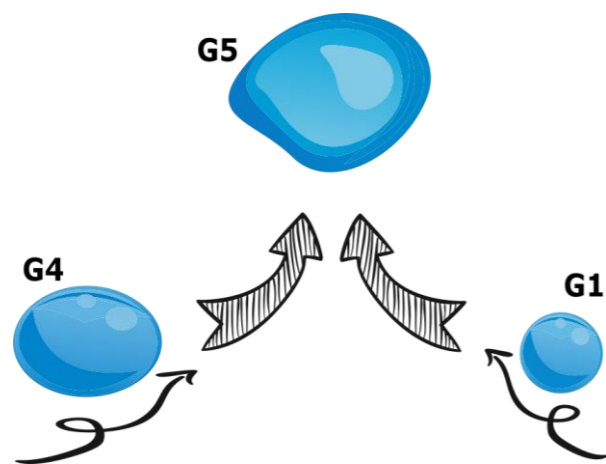
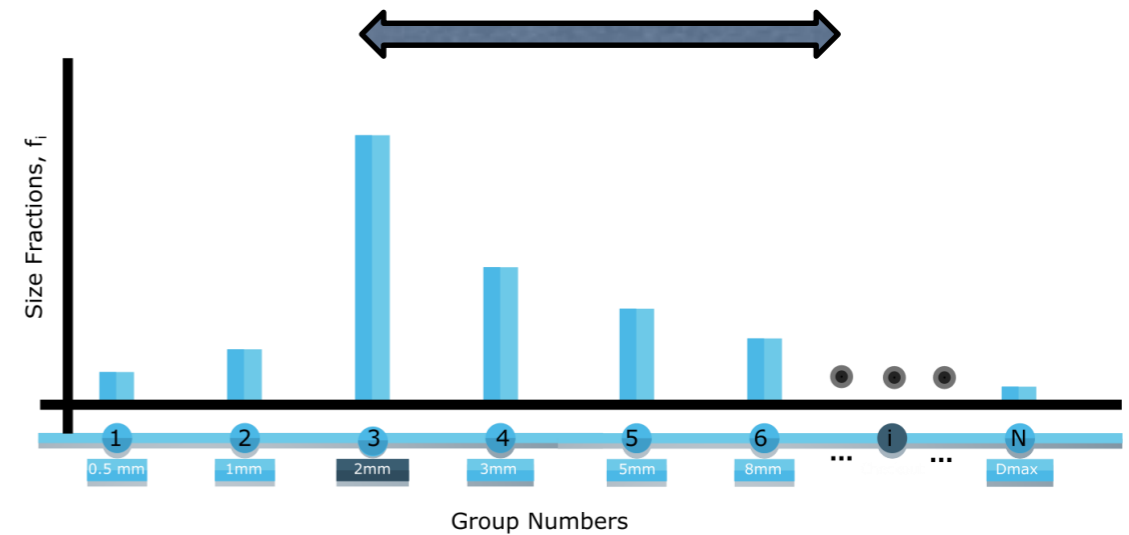
Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos las burbujas?

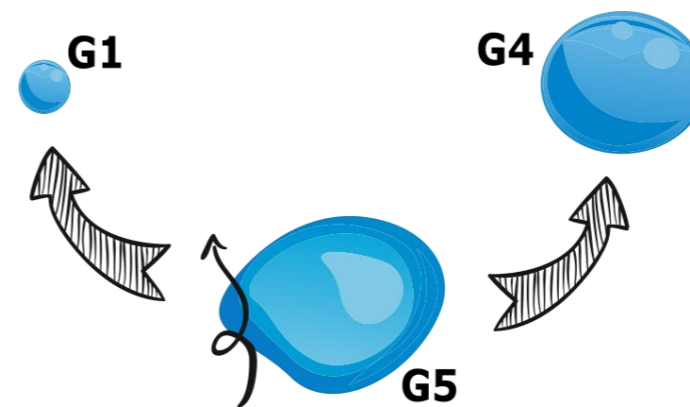
- Balance de población:

- *Homogeneous MUSIG*

- Tasas de coalescencia y rotura



Coalescencia (UJI)



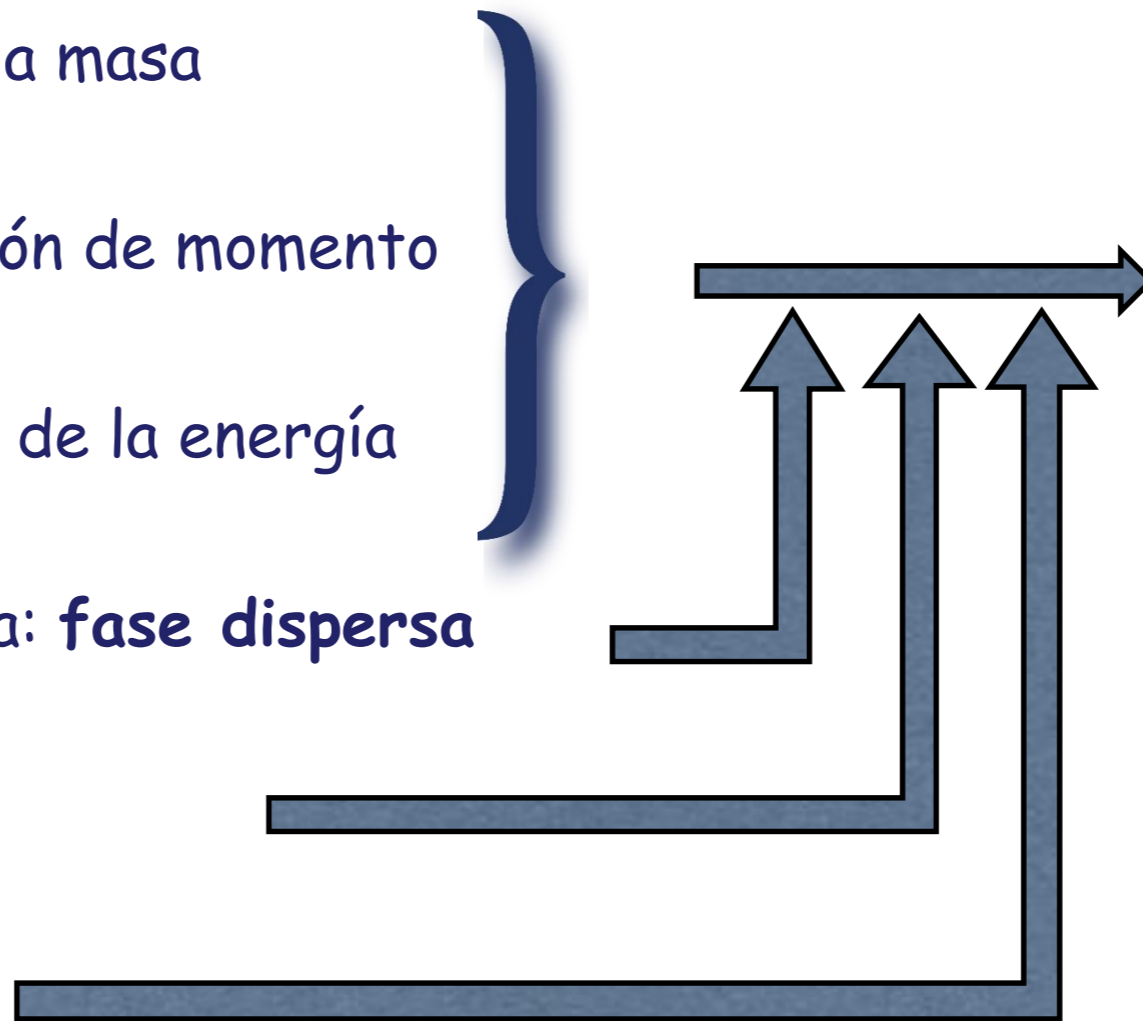
Rotura (Luo and Svendsen)



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos los sólidos suspendidos?

- Ecuación conservación de la masa
- Ecuaciones de conservación de momento
- Ecuación de conservación de la energía
- Ecuaciones de turbulencia: **fase dispersa**
- Fuerzas interfaciales **(1)**
- Balance de población **(2)**



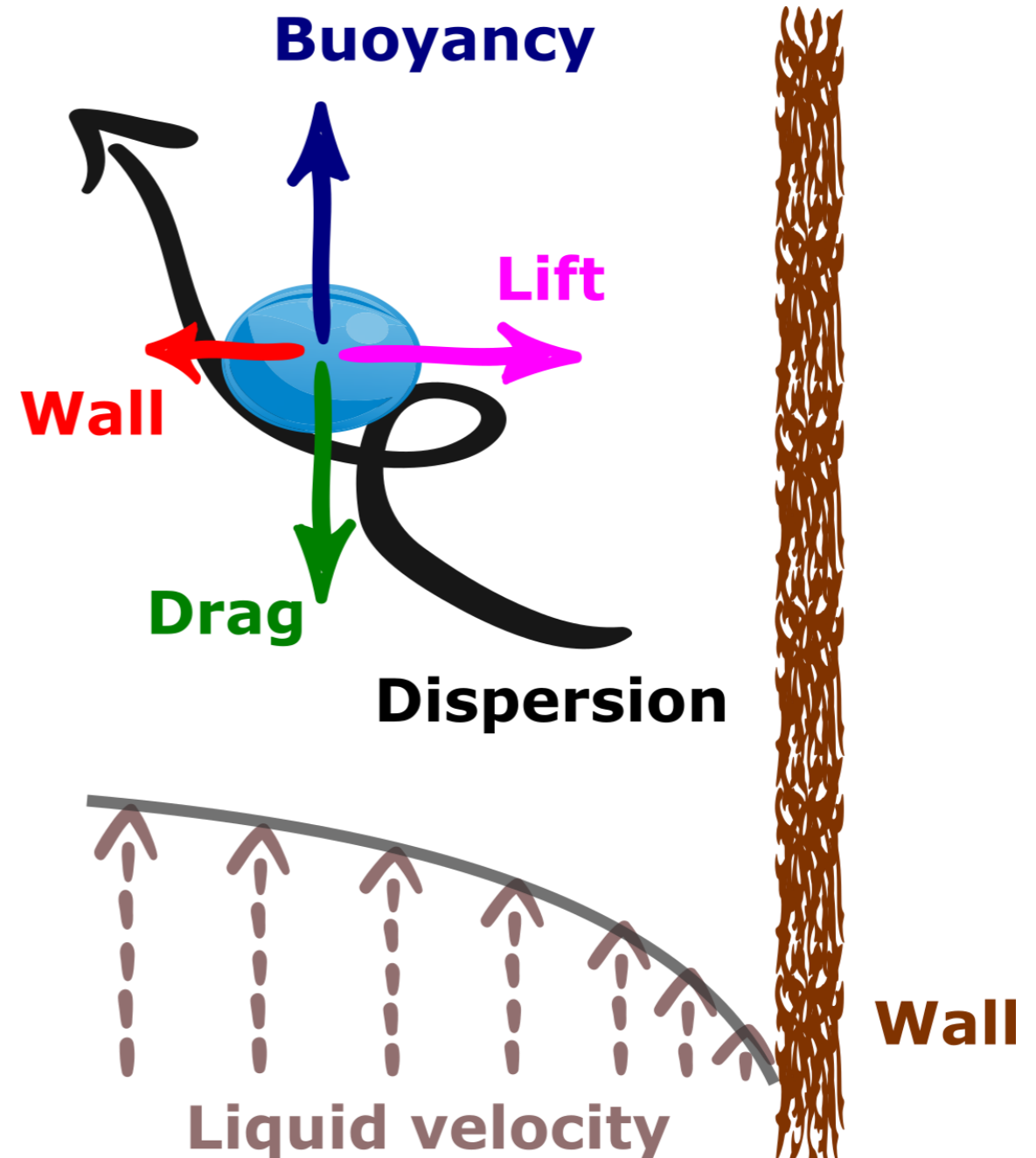
- Velocidad
- Presión
- Temperatura
- Concentración
- Tamaños



Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos los sólidos suspendidos?

- Interfacial forces:
 - Drag: Schiller-Neumann
 - Fuerza de pared: No
 - Lift: UJI
 - Dispersión turbulenta: Favre

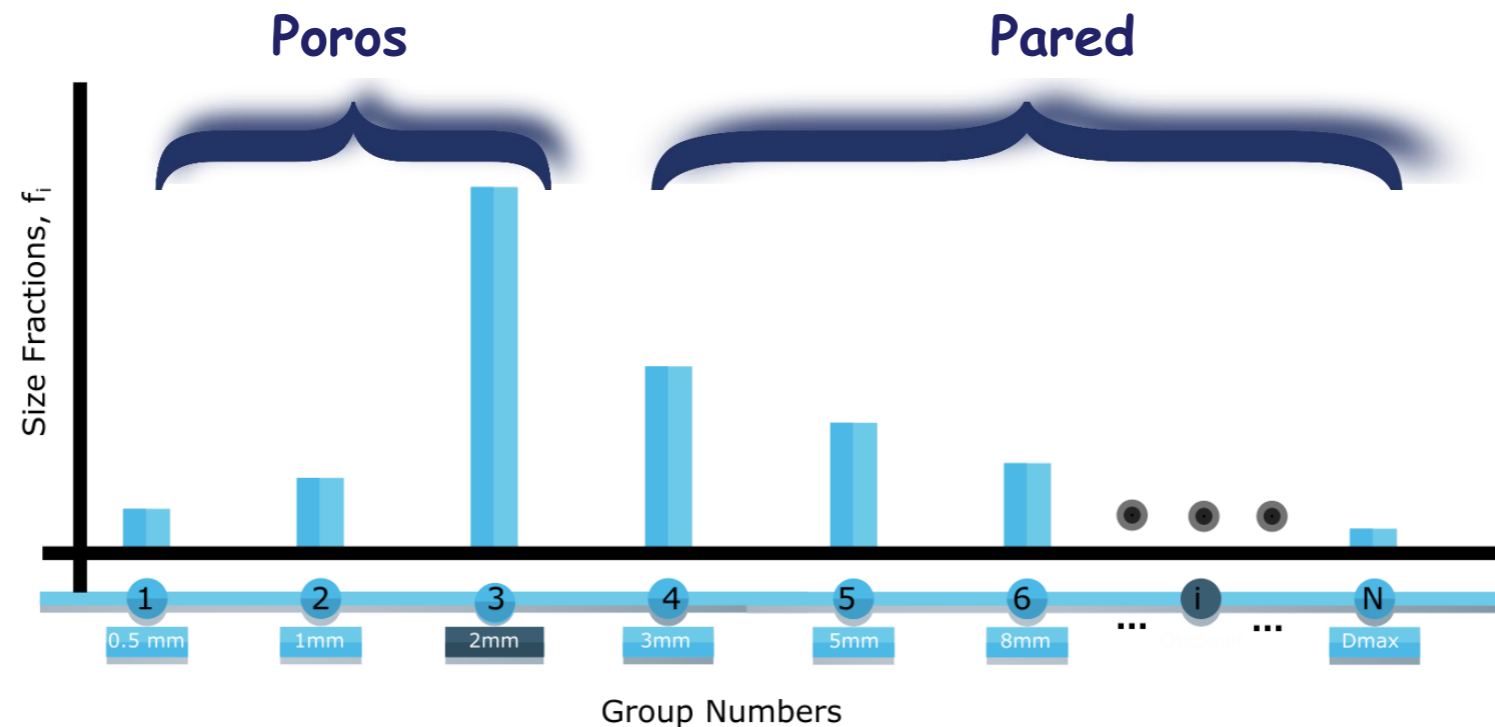


Modelado CFD de flujos multifásicos

¿Cómo modelamos los sólidos suspendidos?

- Balance de población:

- *Inhomogeneous MUSIG*



- Tasas de **coalescencia** y rotura



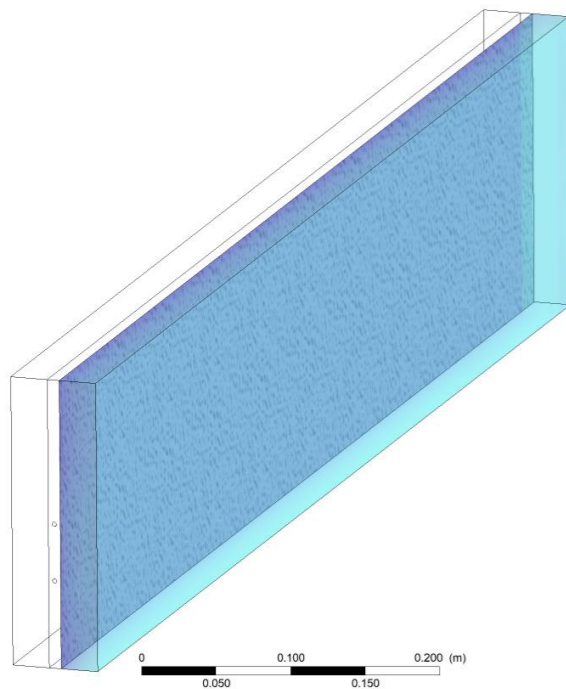
Modelado CFD de flujos multifásicos

- 1 **Introducción**
- 2 **Modelado CFD de flujos multifásicos**
- 3 **Modelo local de *fouling***
- 4 Ejemplos de actuación



Modelo local de *fouling*

¿Cómo modelizamos la película sobre las membranas?



Superficie:

- Rugosidad
- Flujo de permeado
- Resistencia al flujo:

$$R = R_m + R_p + R_{sc}$$

Membrana Poros Película



$$R_{sc} = r_c M_c$$

$M_c =$ Concentración superficial de sólidos $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$

$$\left(\frac{dM_c}{dt}\right) = \underbrace{\left(\frac{24CJ^2}{24J + K_l G}\right)}_{\text{Attachment}} - \underbrace{\left(\frac{\beta(1 - \alpha)GM_c^2}{\gamma V_f \theta_f + M_c}\right)}_{\text{Detachment}}$$



Modelo local de *fouling*

¿Cómo modelizamos la película sobre las membranas?

$$\left(\frac{dM_c}{dt}\right) = \underbrace{\left(\frac{24CJ^2}{24J + K_lG}\right)}_{\text{Attachment}} - \left(\frac{\beta(1 - \alpha)GM_c^2}{\gamma V_f \theta_f + M_c}\right)$$

C = Concentración de sólidos $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

J = Flujo de permeado $\left(\frac{L}{\text{m}^2 h}\right)$

G = *Shear rate* (s^{-1})



Modelo local de *fouling*

¿Cómo modelizamos la película sobre las membranas?

$$\left(\frac{dM_c}{dt}\right) = \left(\frac{24CJ^2}{24J + K_lG}\right) - \underbrace{\left(\frac{\beta(1 - \alpha)GM_c^2}{\gamma V_f \theta_f + M_c}\right)}_{\text{Detachment}}$$

$G = \text{Shear rate}(s^{-1})$

$\beta = \text{Tasa de erosión de la capa} [-]$

$\alpha = \text{Pegajosidad de la capa} [-]$

$\gamma = \text{Coeficiente de compresión} \left(\frac{kg}{m^3s}\right)$

} **Propiedades de la película**

$V_f = \text{Volumen filtrado}(m^3)$

$\theta_f = \text{Tiempo de filtrado} (min)$

} **Propiedades del proceso de filtrado**



Ejemplos de actuación

Teoría

Análisis del flujo a través de membranas y optimización

Limpiado de membranas mediante burbujeo

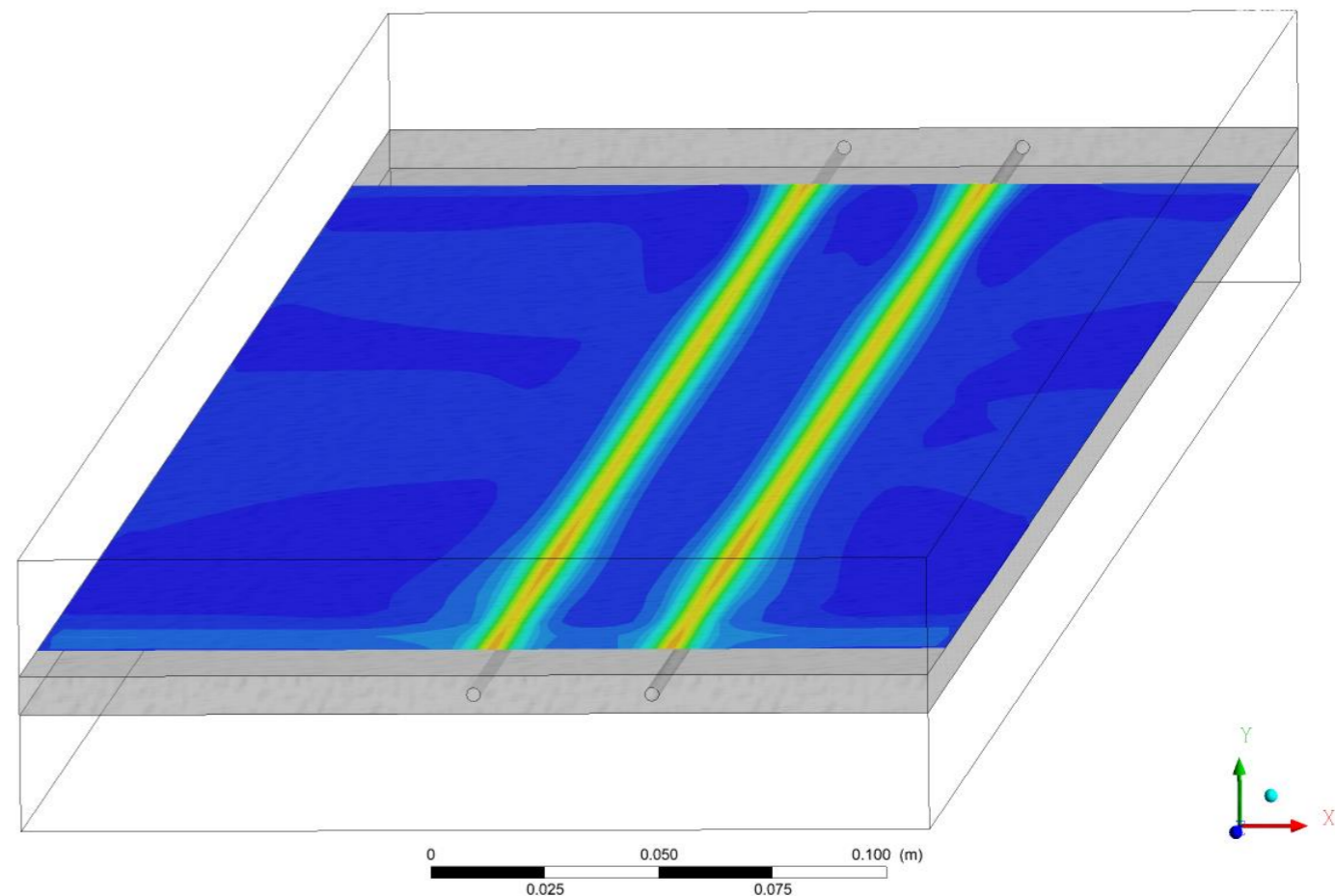
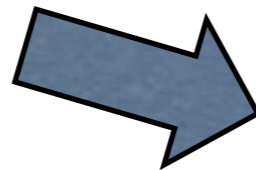
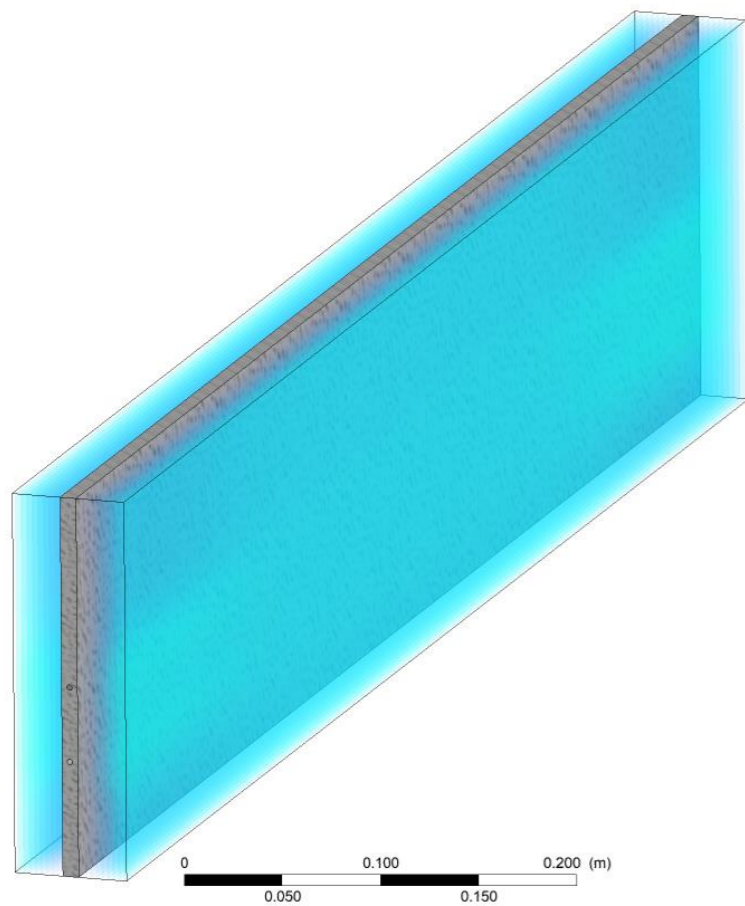
Limpiadores mecánicos



Ejemplos de actuación

Análisis del flujo a través de membranas y optimización

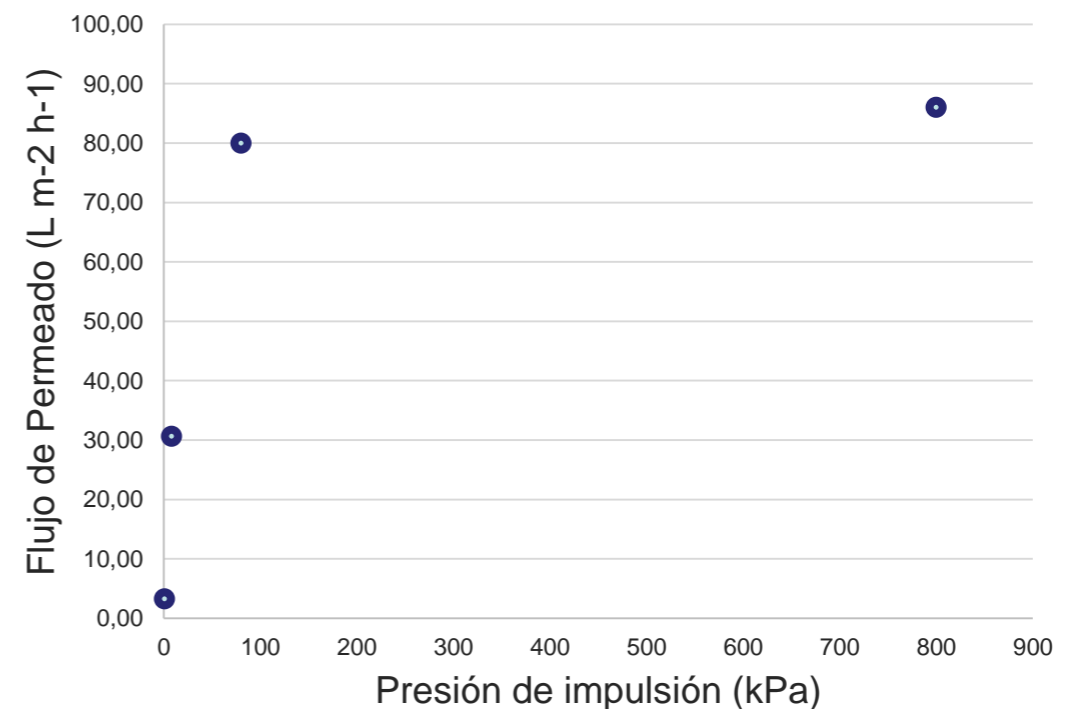
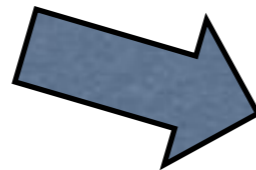
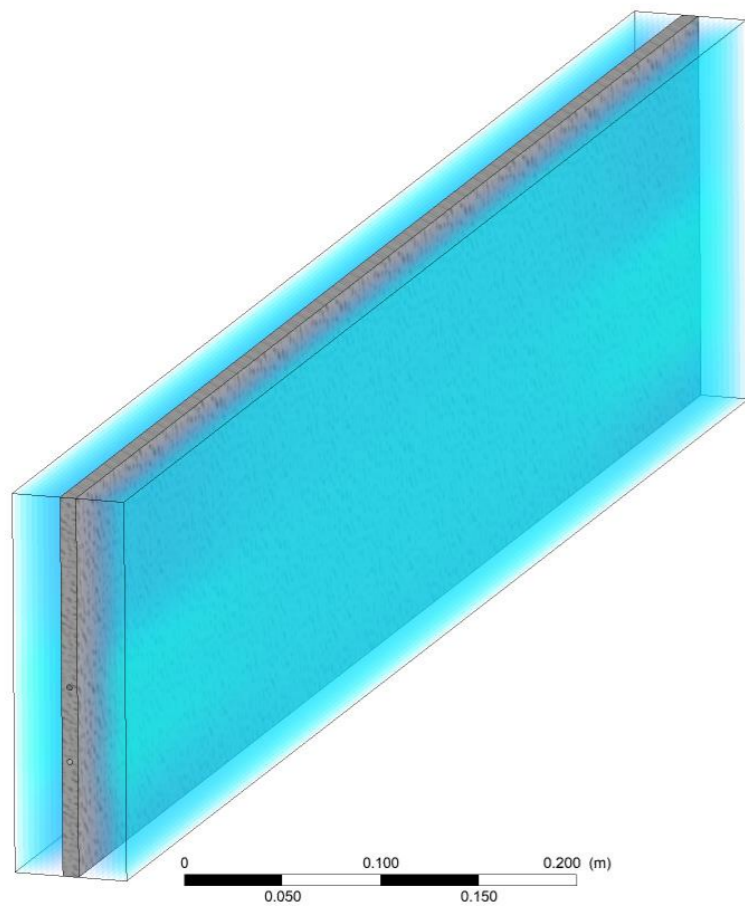
Optimización del espaciado entre canales para homogeneizar el flujo de permeado



Ejemplos de actuación

Análisis del flujo a través de membranas y optimización

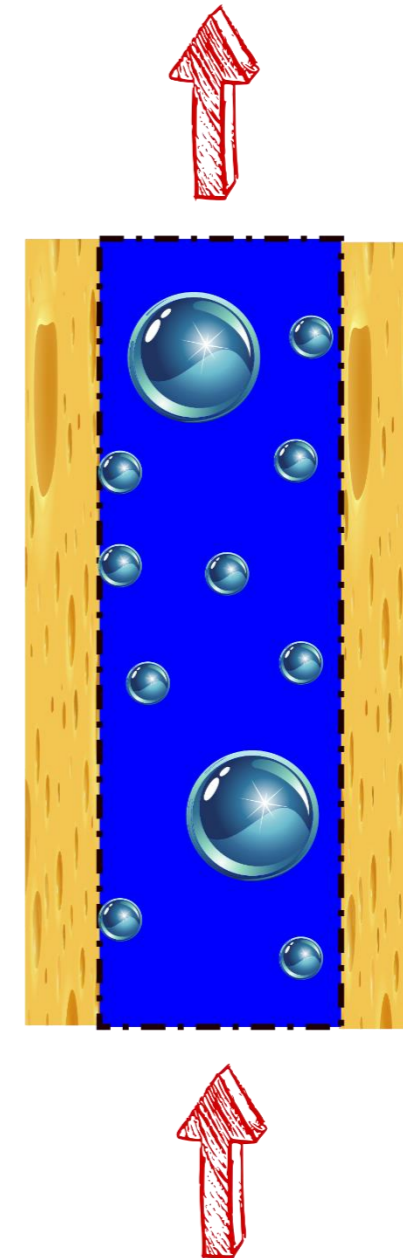
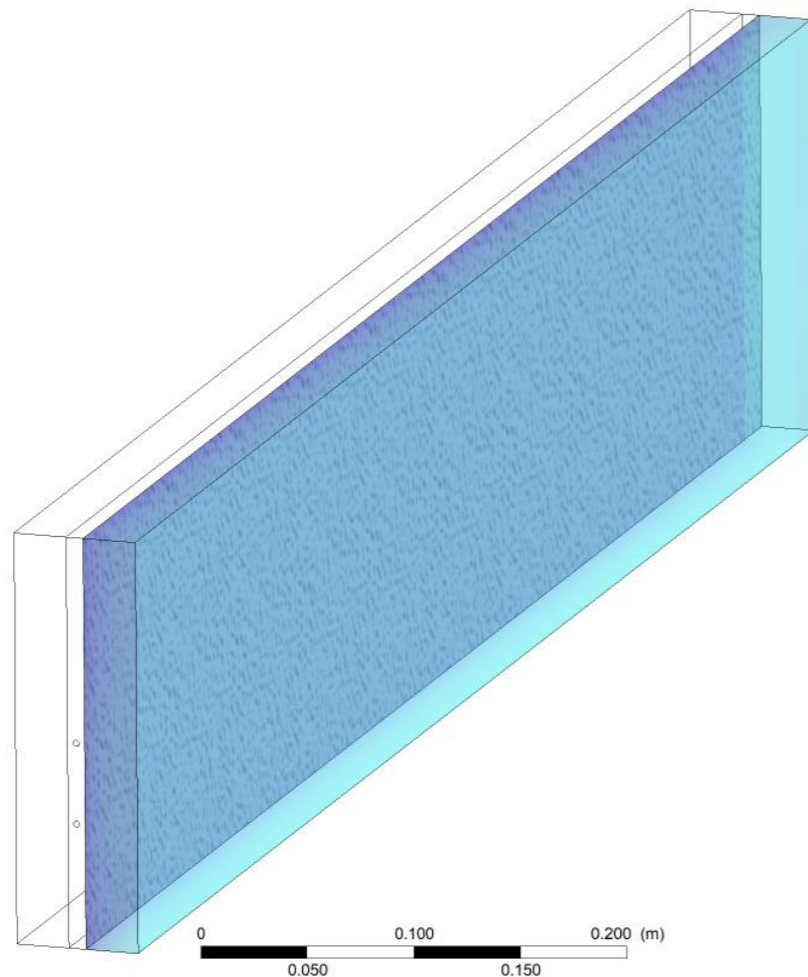
Evaluación del flujo de permeado tras 15 minutos de filtrado



Ejemplos de actuación

Limpiado de membranas mediante burbujeo

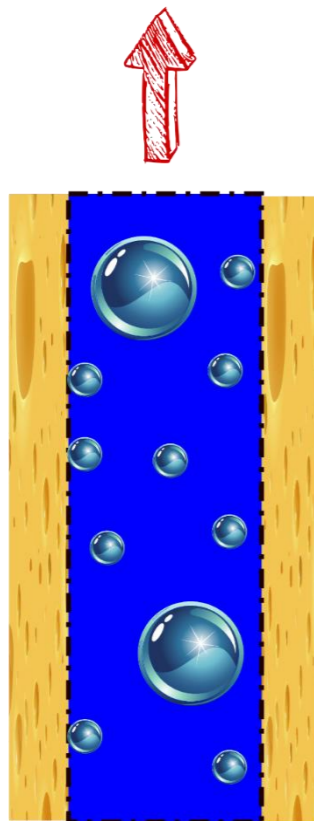
Optimización del burbujeo para la limpieza



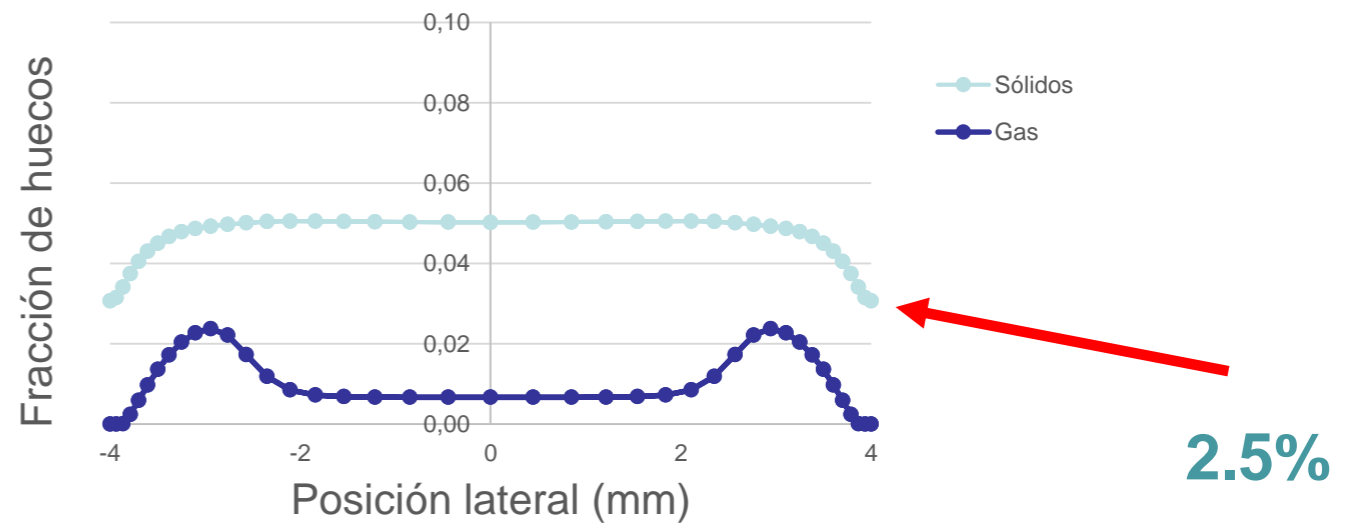
Ejemplos de actuación

Limpiado de membranas mediante burbujeo

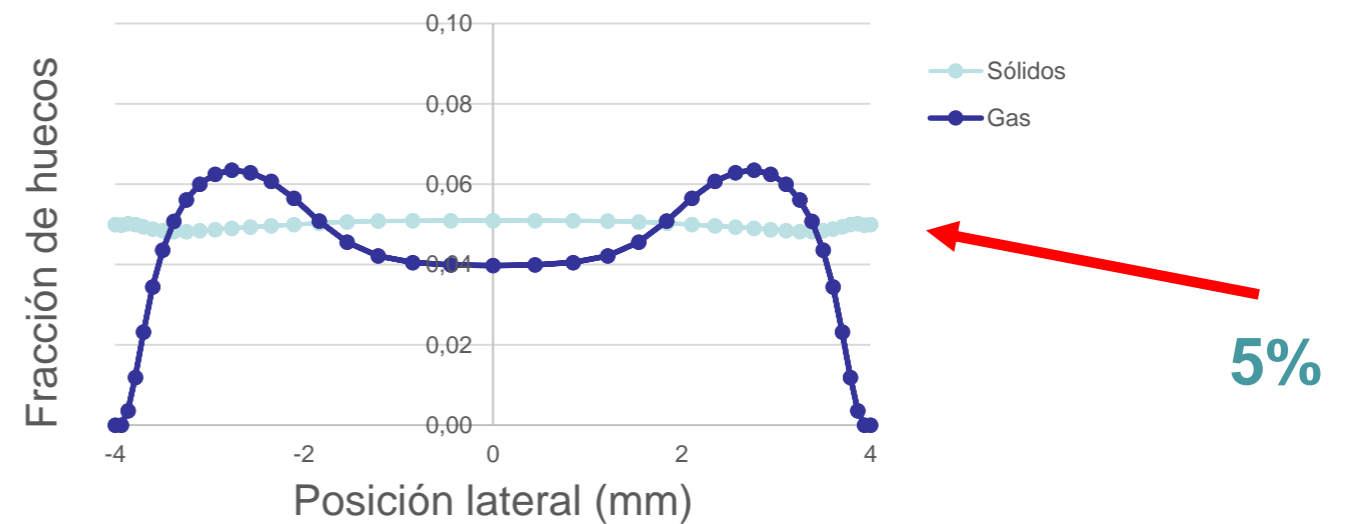
Optimización del burbujeo para la limpieza: influencia del gas sobre la distribución de sólidos



1%



5%

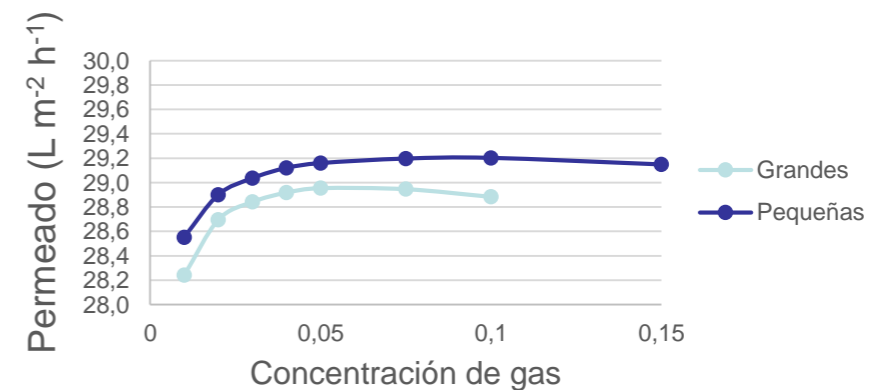
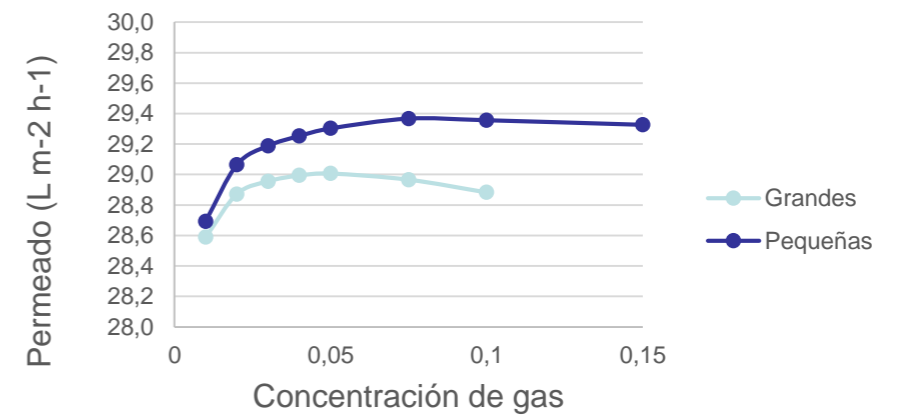
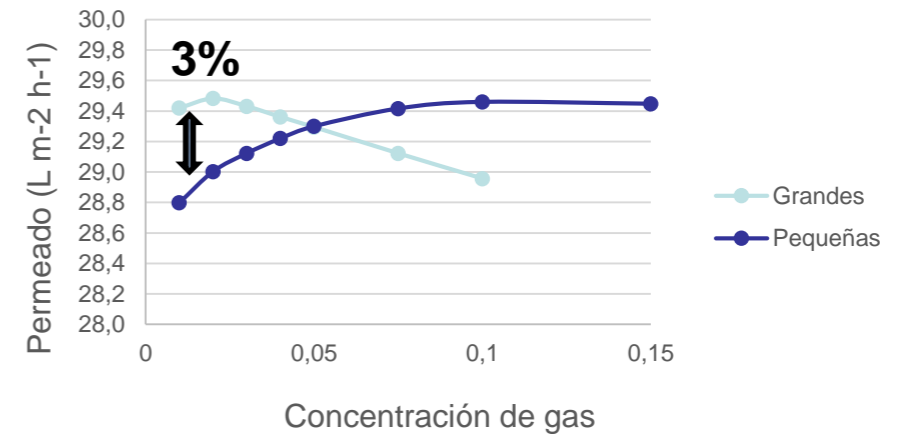
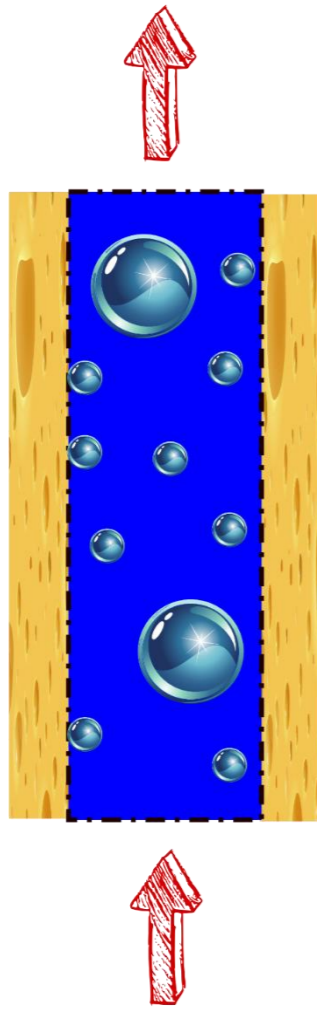


¿% gas?

Ejemplos de actuación

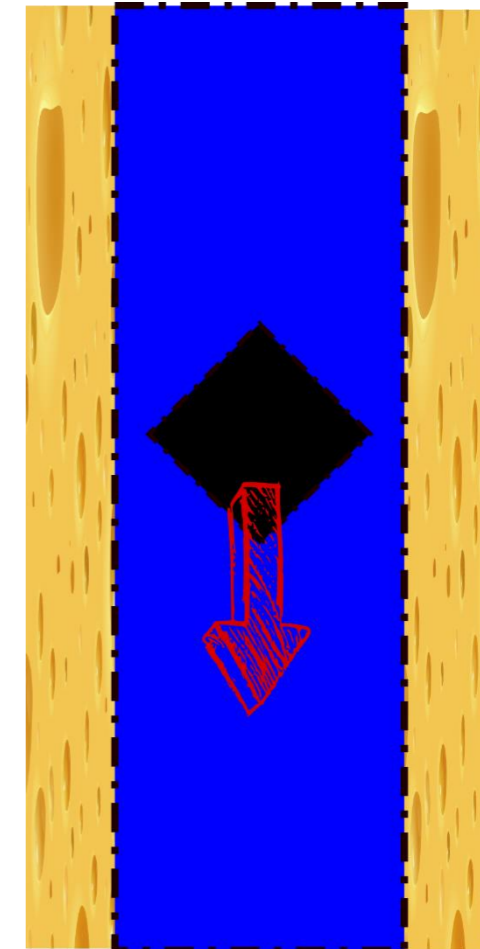
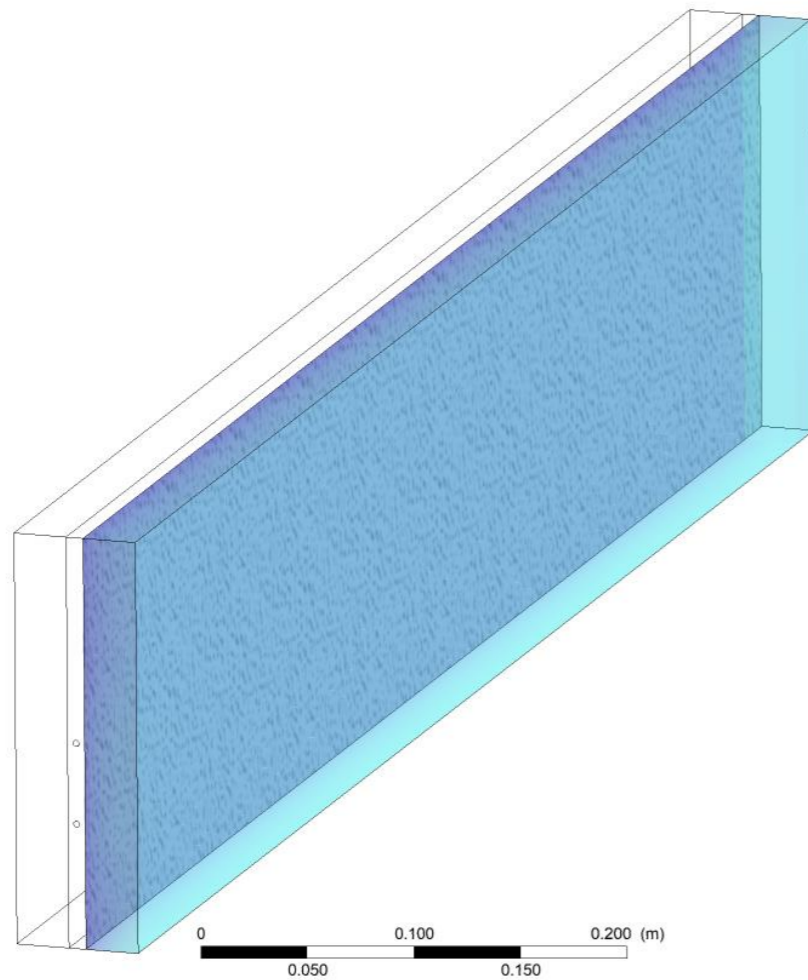
Limpiado de membranas mediante burbujeo

Propuesta: combinar burbujas pequeñas y grandes



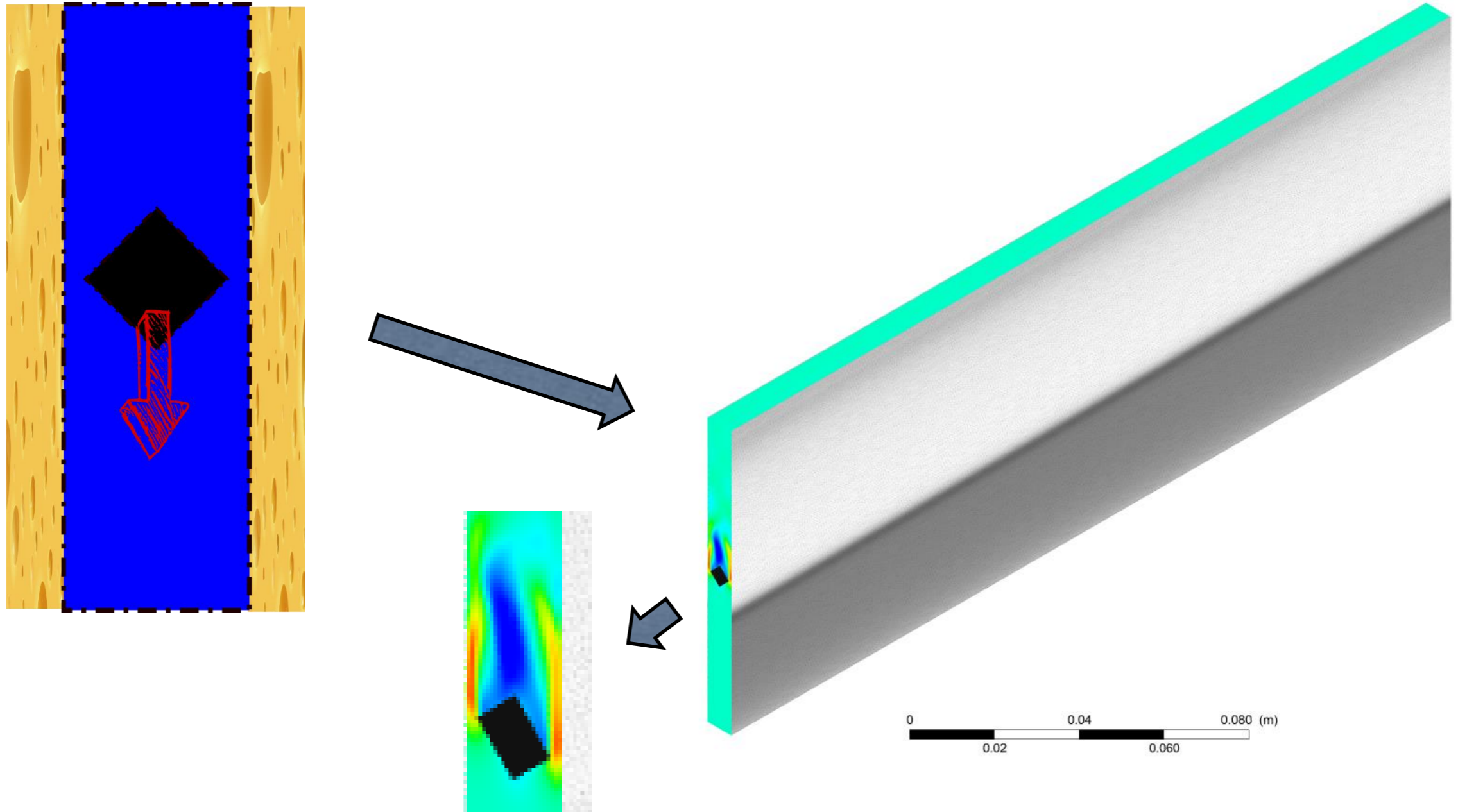
Ejemplos de actuación

Limpiadores mecánicos



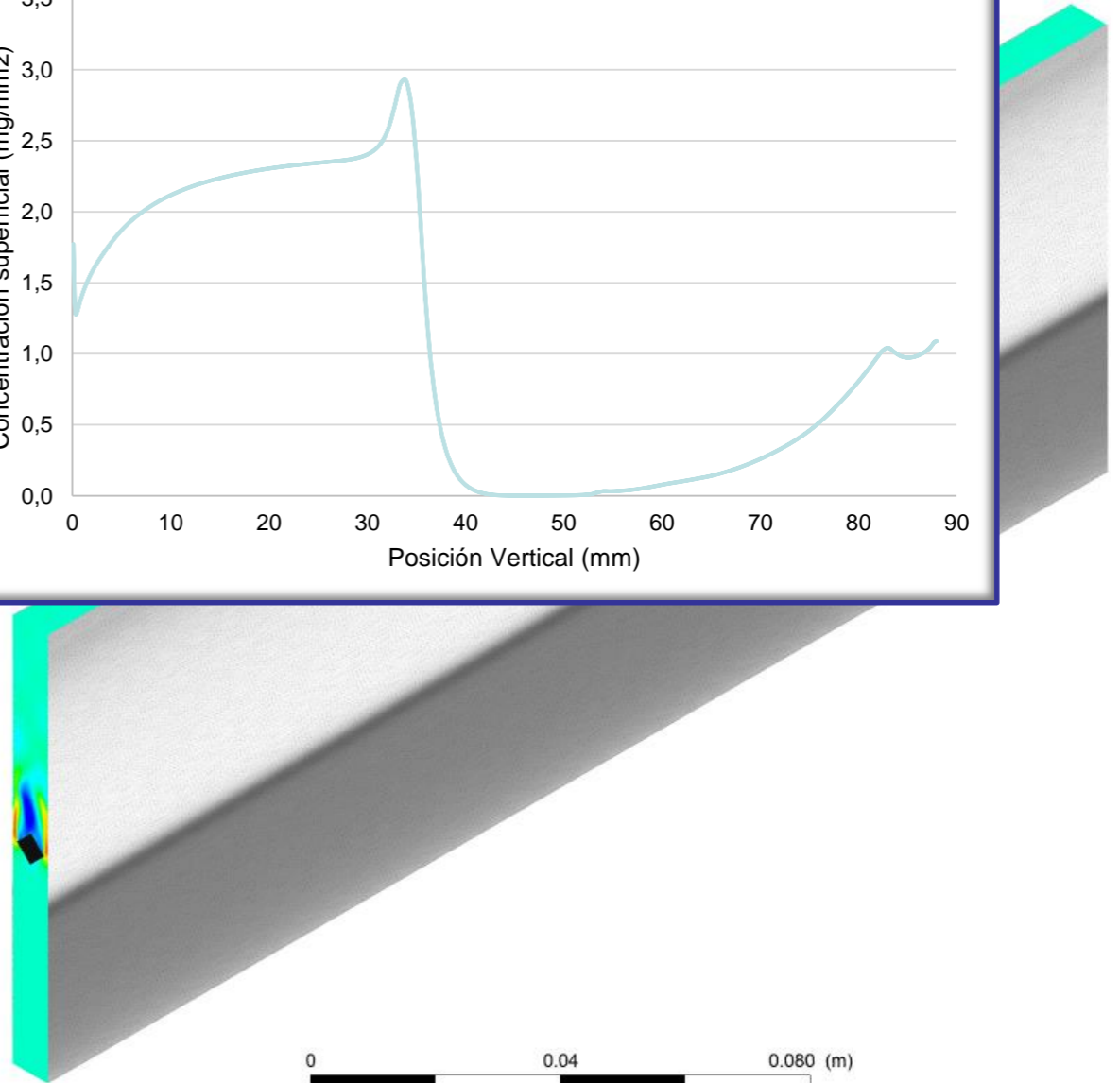
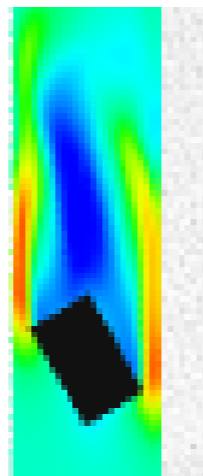
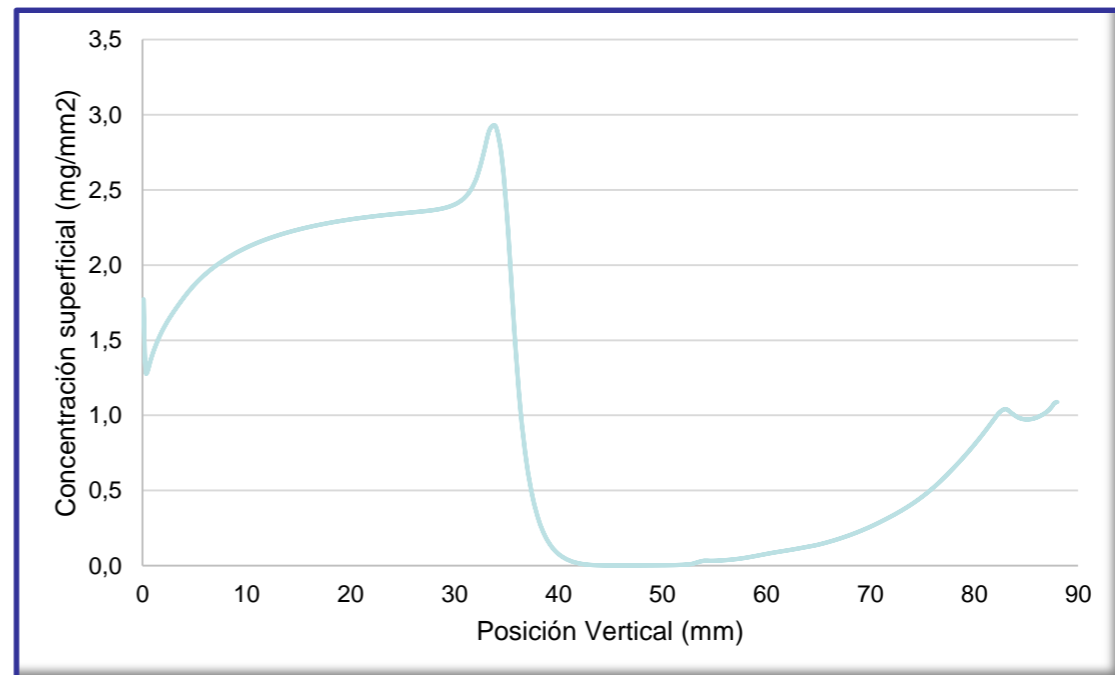
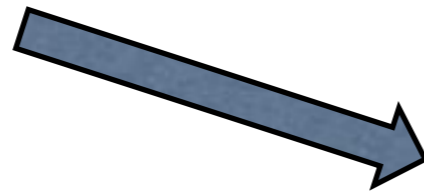
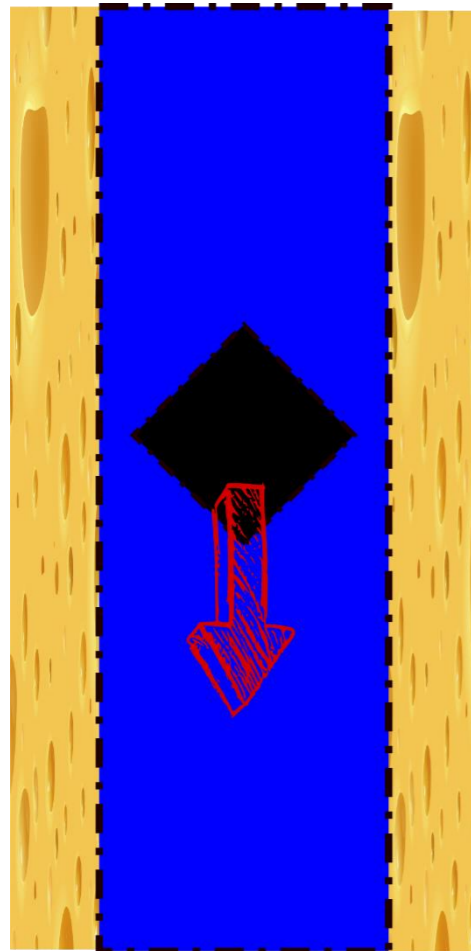
Ejemplos de actuación

Limpiadores mecánicos



Ejemplos de actuación

Limpiadores mecánicos



Conclusiones

¡Muchas gracias por su atención!

- Diseño de canales en nuevas geometrías de membrana
- Estrategias de burbujeo óptimas
- Diseño de sistemas de limpieza mecánicos