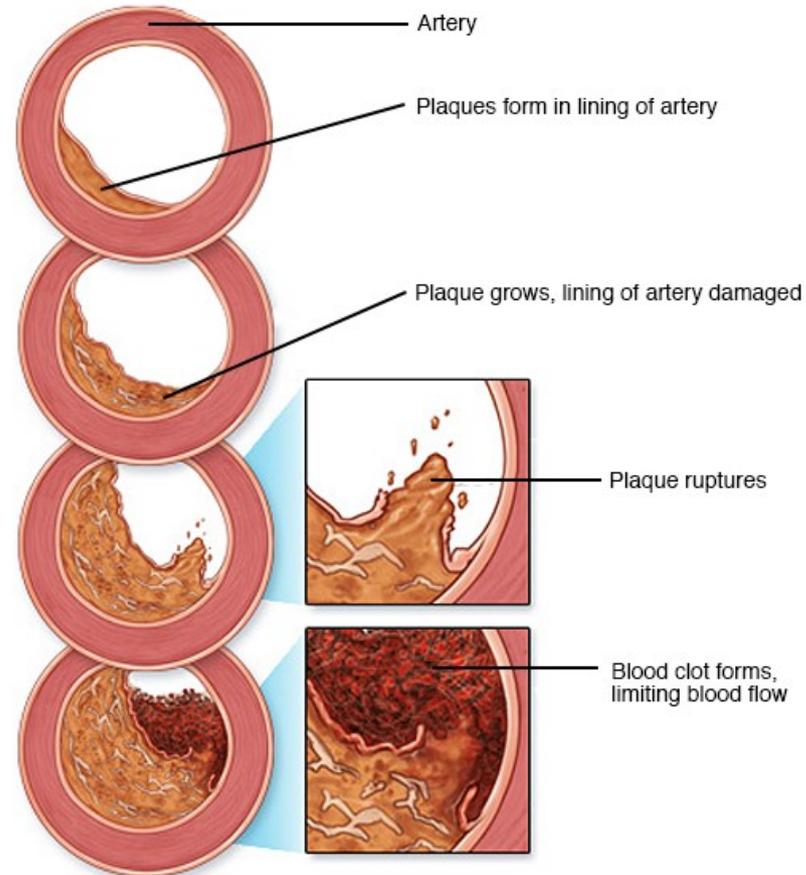
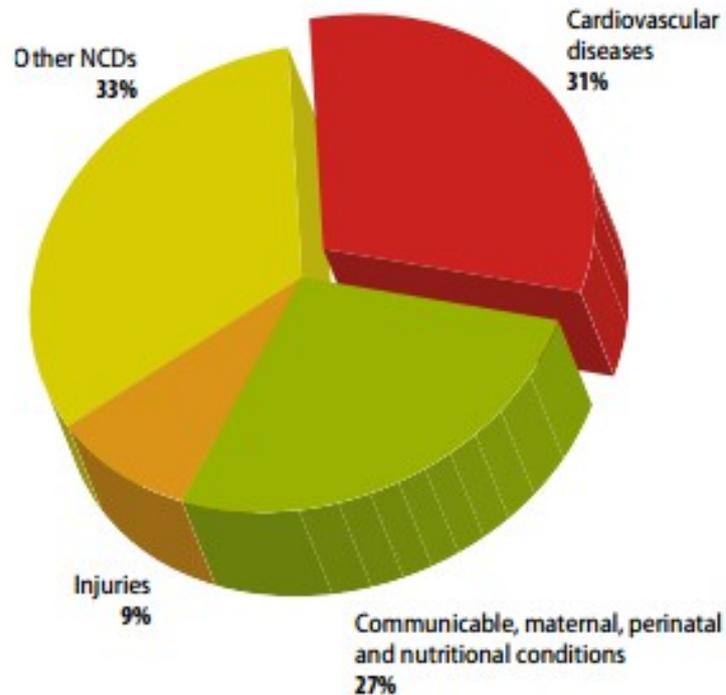


Dinámica de vórtices en modelos de arterias con estenosis

Grupos participantes:

- Física No Lineal
- Acústica Ultrasonora
- Grupo de Dinámica Cardiovascular, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Porqué estudiar este tipo de sistemas?



Porqué estudiar este tipo de sistemas?

- Flujo pulsátil
- Paredes elásticas
- Paredes opacas
- Dinámicas muy variadas

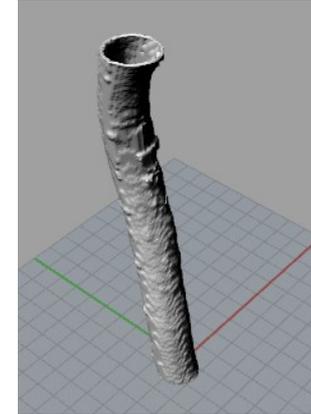
Qué se sabe?

- Formación de vórtices post-estenosis.
- Altos valores de esfuerzos de corte sobre paredes.
- Intenso proceso de mezcla, poco estudiado.
- Los estudios numéricos asumen paredes rígidas.
- Los estudios experimentales no utilizan modelos realistas.
- No hay estudios clínicos.

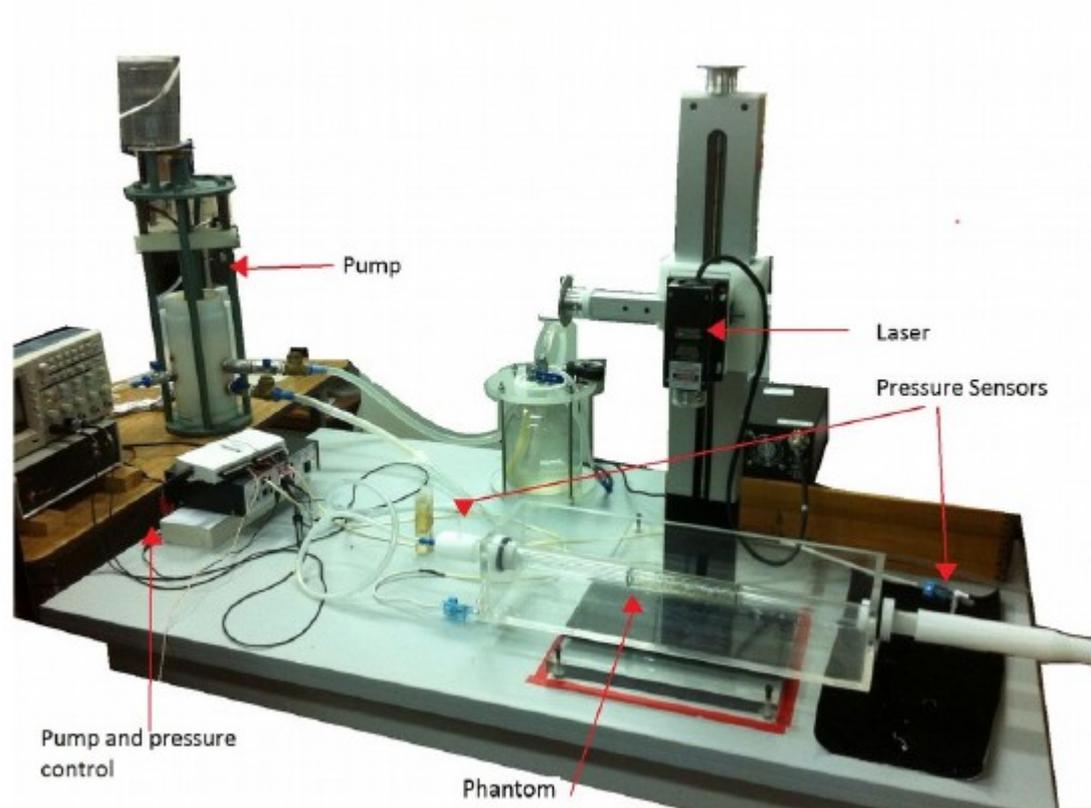
Qué hicimos?

- Implementación PIV-US (velocimetría ultrasónica de imágenes de partículas).
- Detección de Estructuras Lagrangianas Coherentes (LCS).
- Análisis de barreras materiales.
- Estudio de proceso de mezcla y transporte.

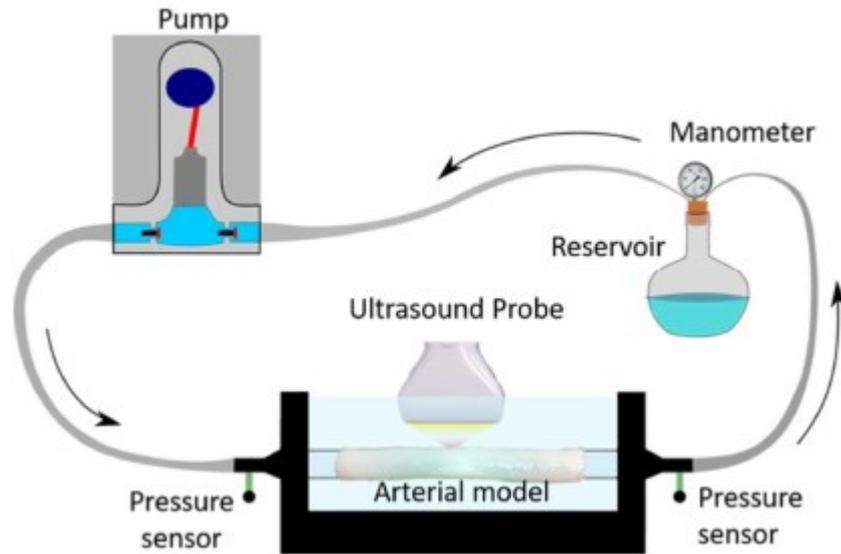
Cómo se construyó el modelo?



Dispositivo experimental

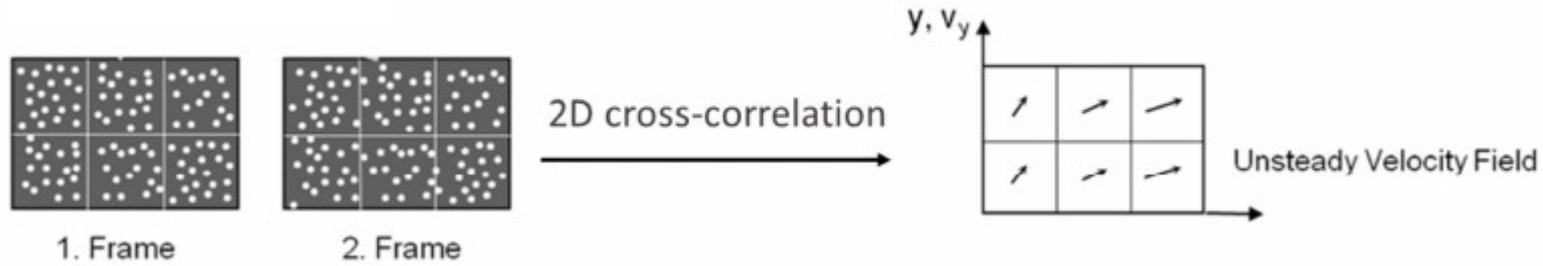
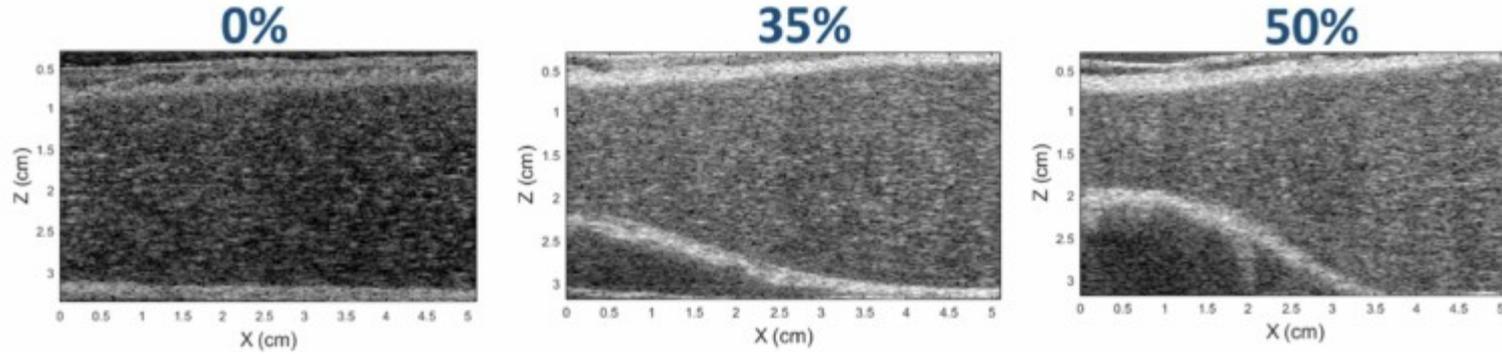


Dispositivo experimental

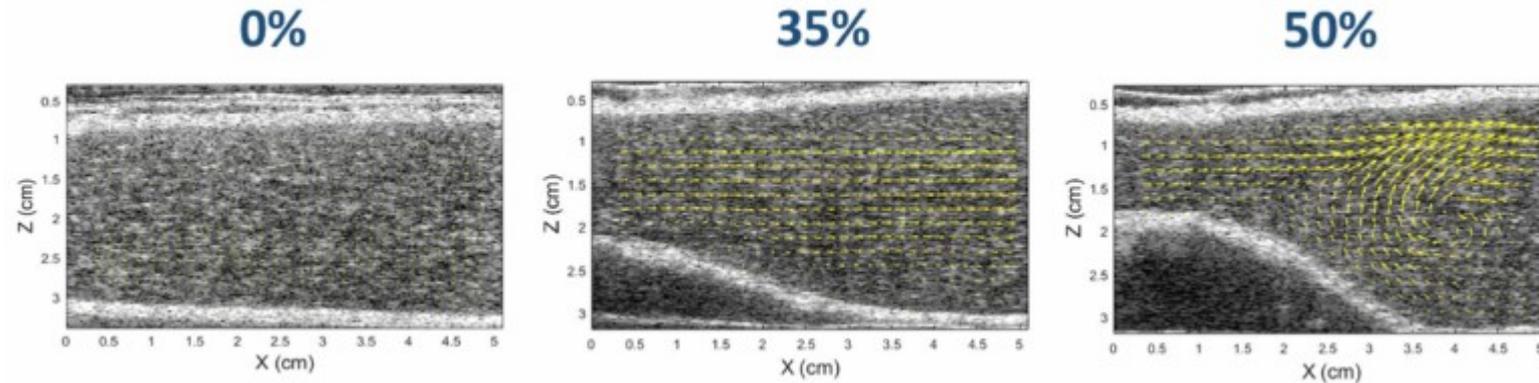


- Frecuencia de bombeo: 0.9Hz.
- Número de Reynold, $R_e = \frac{D v_x}{\nu}$ [1100 - 2000]
- Obstrucción: 50% y 35%
- Frecuencia de muestreo: 200Hz
- Resolución: 1.6 mm y 0.8 mm (radial y axial respectivamente).

PIV-US



Campos de velocidad para $Re=1400$



Flujo laminar

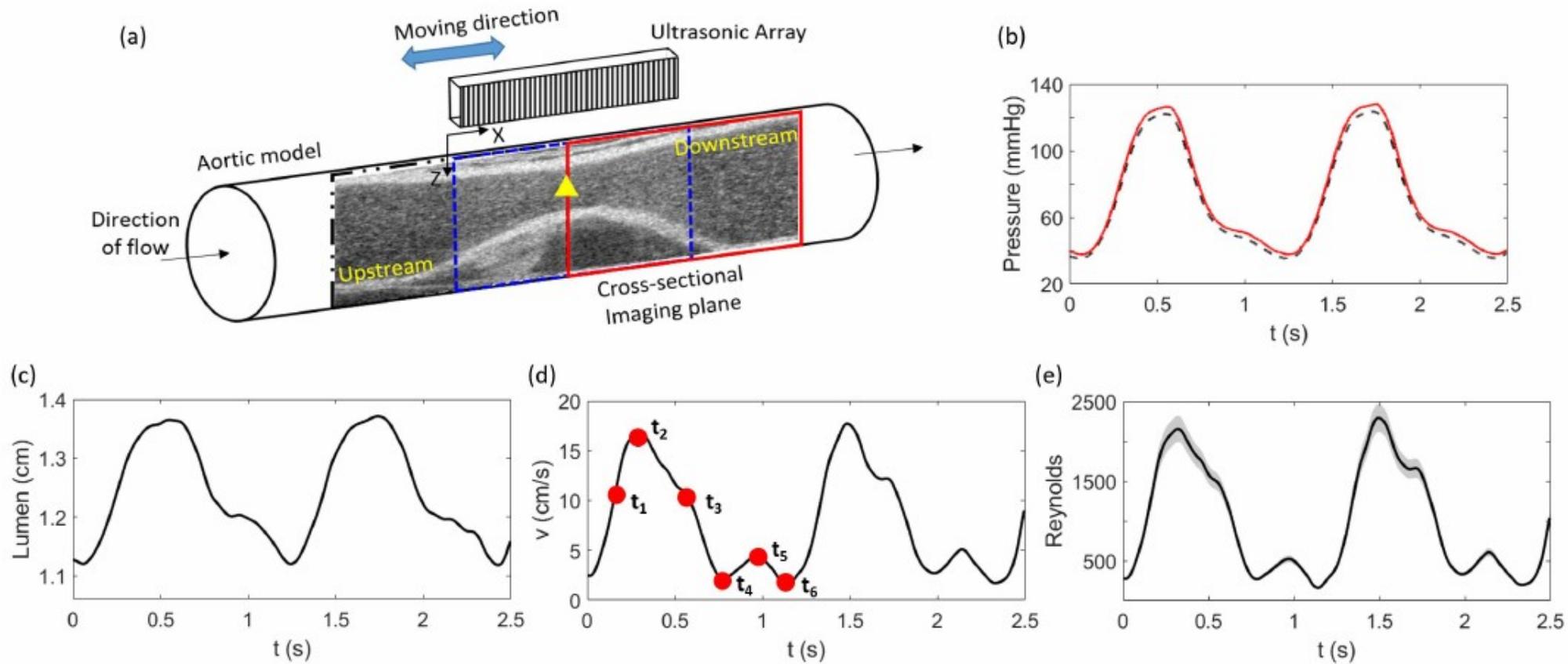
Inversión de flujo
sobre estenosis

Formación de
vórtices y
desprendimiento

$Re = 600$: Flujo laminar

$Re = 1000$: Vórtice de menor tamaño

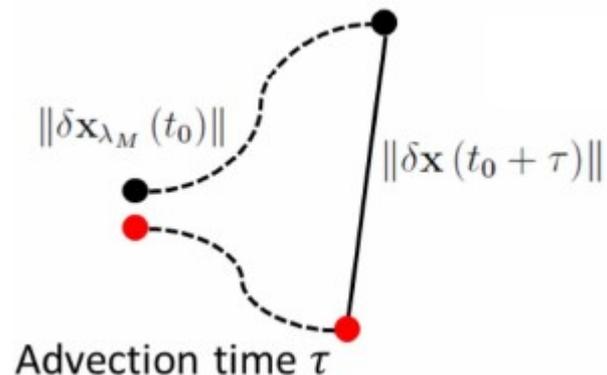
$Re = 2100$: similar a 1400



Herramientas

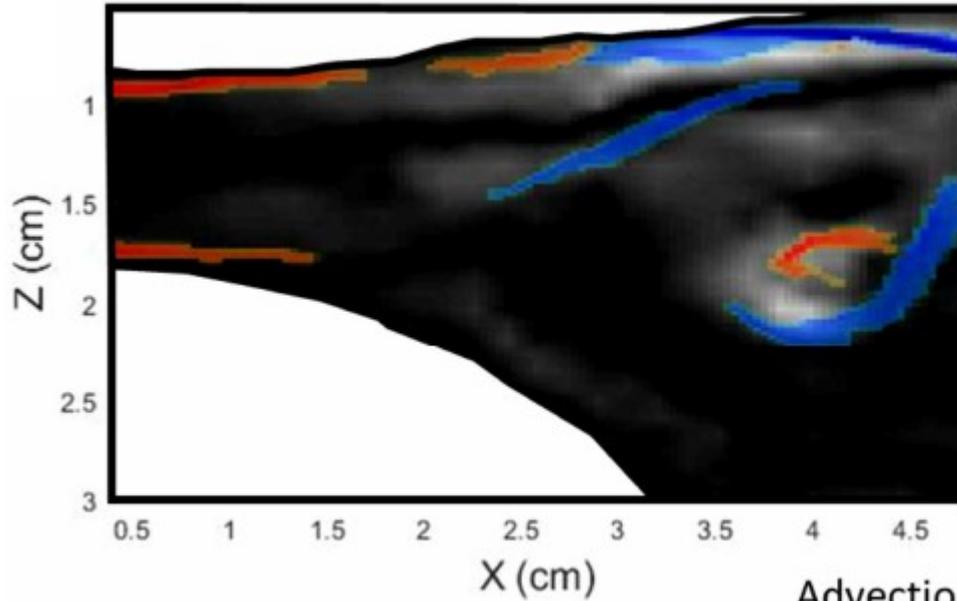
Exponentes de Lyapunov a Tiempo Finito (FTLE)

$$\max \|\delta \mathbf{x}(t_0 + \tau)\| = \sqrt{\lambda_M(c)} \|\delta \mathbf{x}_{\lambda_M}(t_0)\| = e^{\tau \Lambda_{t_0}^{t_0 + \tau}} \|\delta \mathbf{x}_{\lambda_M}(t_0)\|$$



- Variedad repelora: Λ^- , $\tau < 0$
- Variedad atractora: Λ^+ , $\tau > 0$
- $\tau = T / 3 = 0.35$ s
- Partículas advectadas, Runge-Kutta de 4th orden, interpolación cúbica.
- Definen LCS

FTLE para $Re=1400$, estenosis: 50%



- Barrera azul: variedad atractora
- Barrera roja: variedad repelora
- Escala de gris: vorticidad

Herramientas

Particle Residence Time (PRT) y Final Position (FP)

PRT

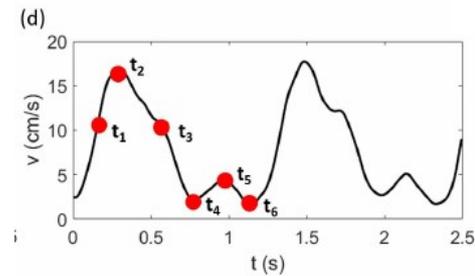
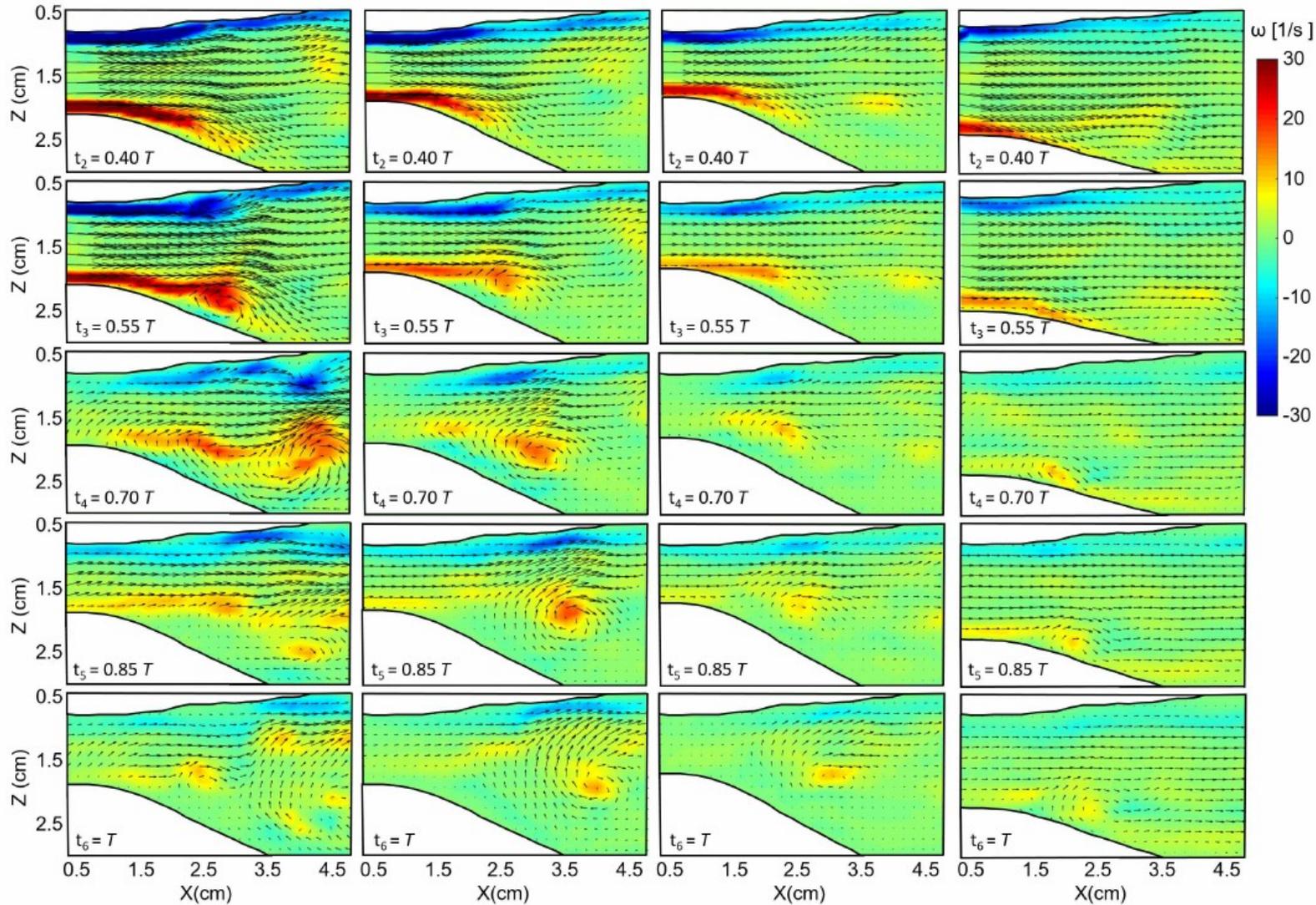
- Cada pixel corresponde a posición inicial.
- Valor del pixel: tiempo de permanencia en la ROI.

FP

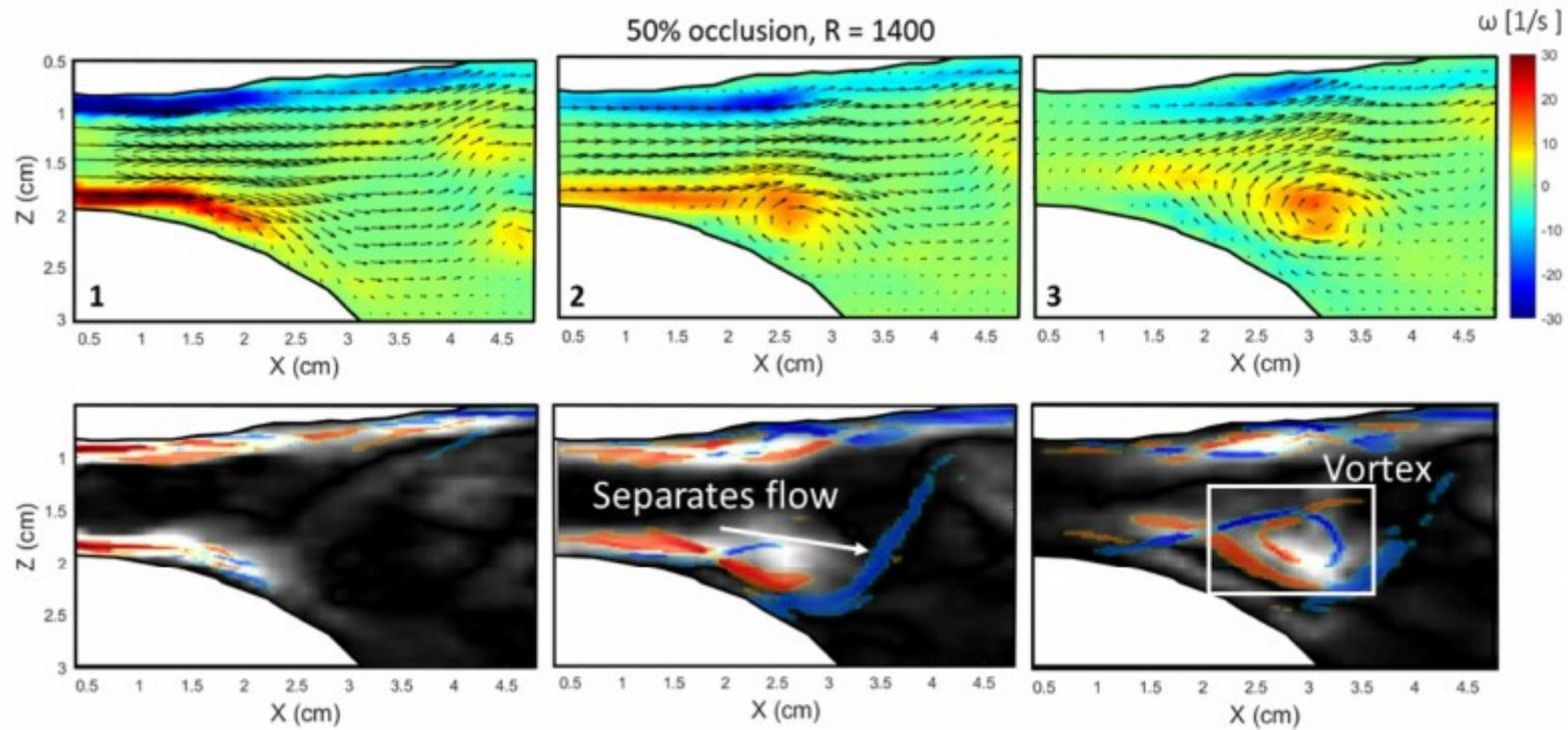
- Cada pixel corresponde a posición inicial.
- Valor del pixel: Posición final dentro de diferentes subregiones.

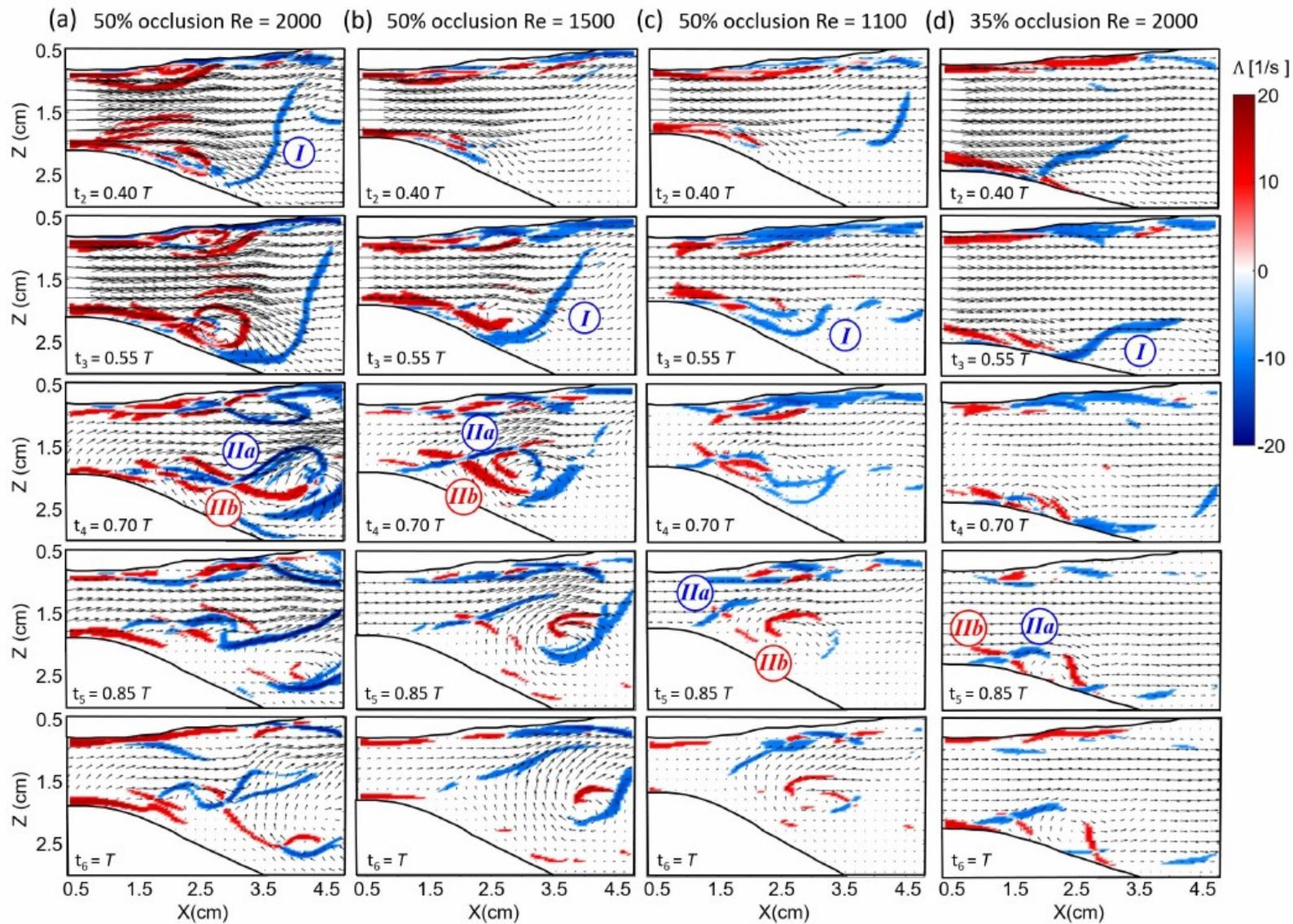
Resultados

(a) 50% occlusion $Re = 2000$ (b) 50% occlusion $Re = 1500$ (c) 50% occlusion $Re = 1100$ (d) 35% occlusion $Re = 2000$



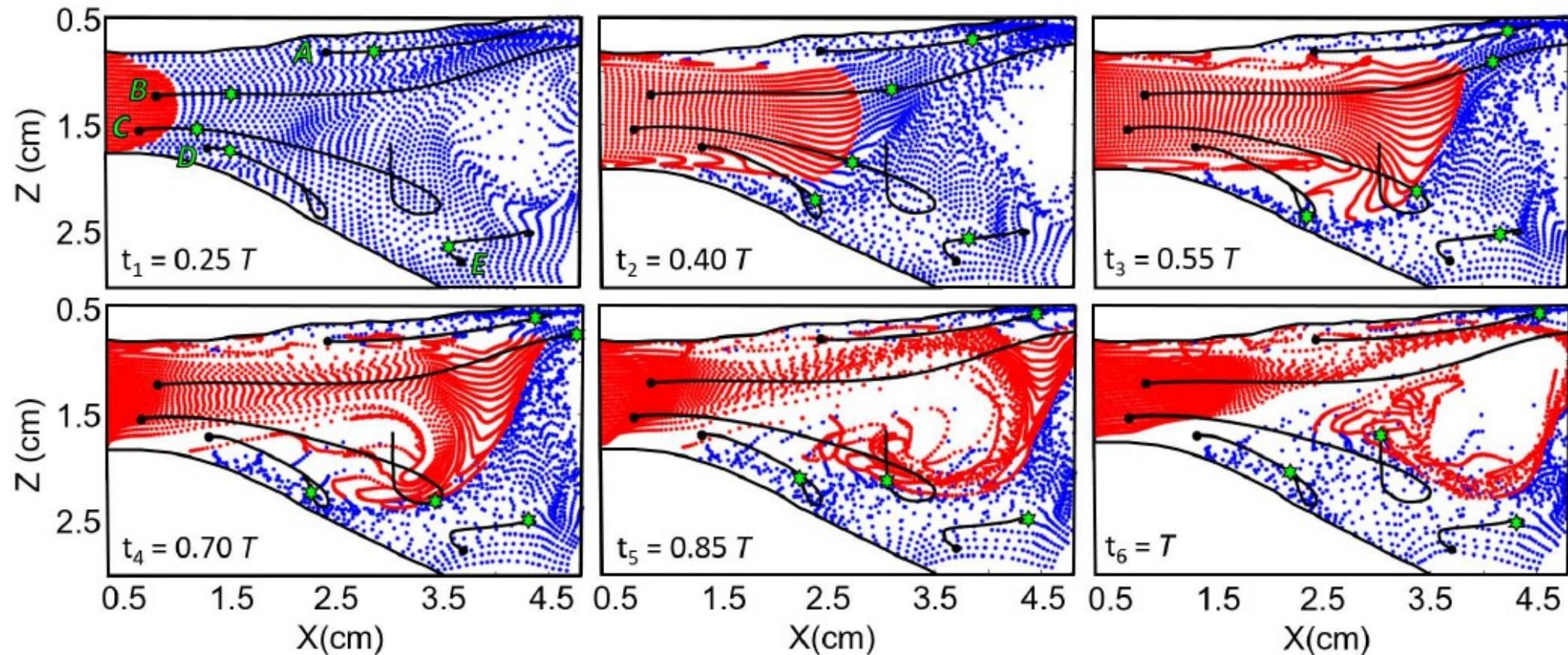
- Campos de velocidades
- Vorticidad



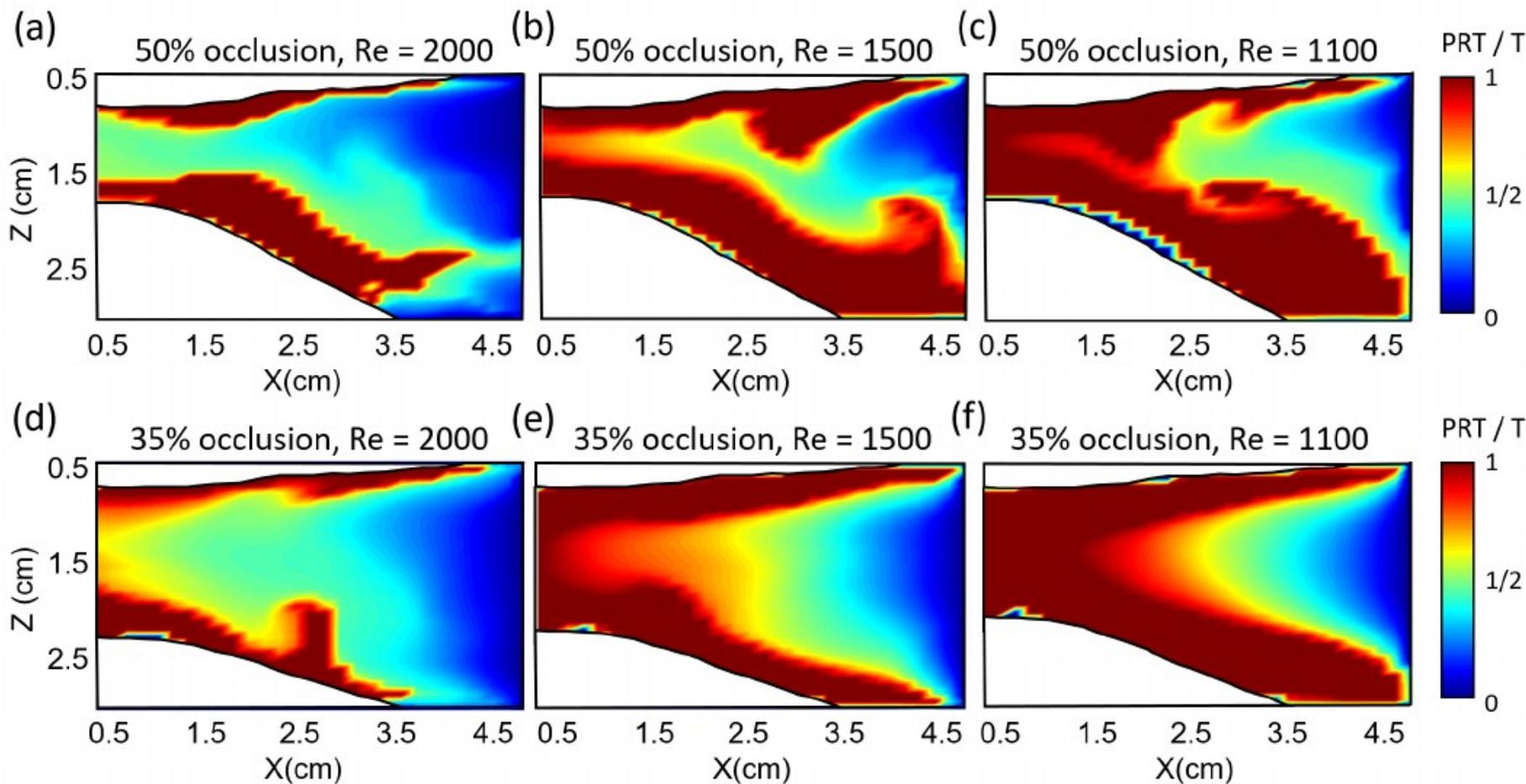


Trayectorias

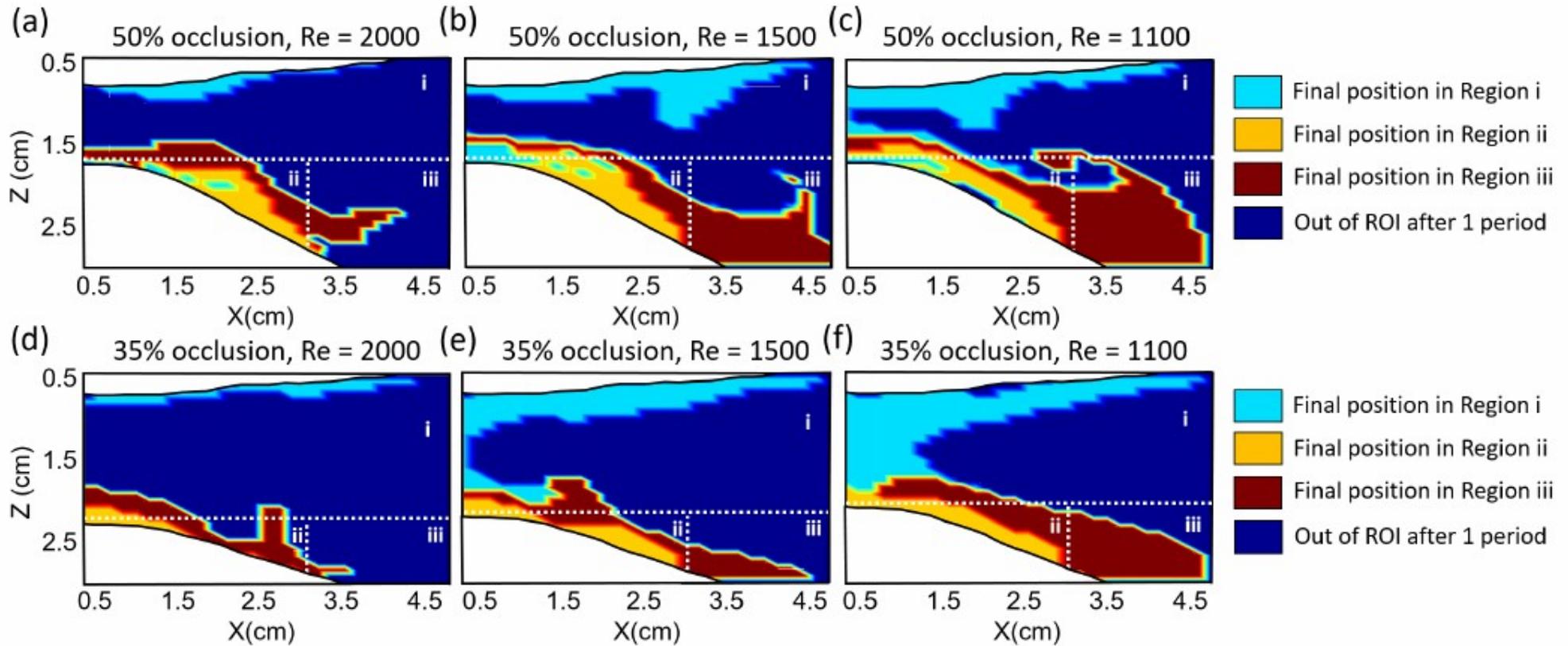
● Fluid particles at the beginning of systole ● Fluid particles entering the domain



Mapas Tiempo de permanencia



Mapas posición final



Conclusiones

- Utilizando un enfoque novedoso que combina Echo-PIV con descriptores eulerianos y lagrangianos.
- Analizamos la dinámica del flujo y los fenómenos de transporte en modelos aórticos estenóticos con propiedades morfológicas, mecánicas y ópticas cercanas a las de las arterias reales.
- Caracterizamos la cinemática del vórtice mostrando que la velocidad de propagación del vórtice aumenta con el número de Re .
- Los campos FTLE identifican barreras materiales que gobiernan el transporte detrás de la estenosis.

Conclusiones

- Los mapas PRT y FP, muestran que las partículas permanecen en la estenosis.
- Proporcionan una forma alternativa de comprender el proceso de crecimiento de la estenosis.
- Este estudio integral demuestra que este tipo de enfoque puede ayudar para cerrar la brecha entre la física fundamental y las aplicaciones clínicas relevantes, como la evolución y la ruptura de la placa.

Muchas gracias