



## CURSO DE POSTGRADO: MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CON PLATAFORMA OPEN-SOURCE SALOME/CODE\_SATURNE CON APLICACIONES EN INTERACCIÓN FLUIDO ESTRUCTURA Y MICROFLUÍDICA

### Responsable Académico

Dr. Luciano Garelli (Centro de Investigación de Métodos Computacionales - CIMEC. Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ingeniería)

### Equipo Docente

Dr. Ing. Luciano Garelli

Dr. Bioing. Pablo Kler (CIMEC. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe)

### Duración

Se contempla una carga horaria total de cuarenta (40) horas, que incluyen clases teóricas y prácticas.

### Fundamentación

La Mecánica de Fluidos Computacional es una disciplina de amplia aplicación en muchas áreas de ingeniería (hidráulica, siderúrgica, aeroespacial, nuclear, bioingeniería). La plataforma Salome/Code\_Saturne permite abordar la resolución de problemas ingenieriles formulados como sistemas de ecuaciones diferenciales parciales, de forma completa, es decir incorporando las herramientas de pre-procesamiento para definición de las geometrías y los dominios físicos de los problemas, solvers matemáticos avanzados para ensamblar y resolver los sistemas de ecuaciones resultantes de la aplicación del método numérico de resolución y el pos-procesamiento para la interpretación de los resultados obtenidos. Code\_Saturne posibilita la resolución de problemas de Interacción Fluido Estructura, los cuales son un caso especial en donde además de modelar el fluido se debe modelar los desplazamientos de un sólido inmerso en el mismo y el acoplamiento (en las dos direcciones) entre ambos medios (fluido-sólido).

En microfluídica se estudia el flujo y transporte de especies en pequeños canales y estructuras microfabricadas en dispositivos que involucran reacciones químicas y/o biológicas con aplicaciones diversas en campos como química analítica, bromatología, control ambiental, o energía.

### Justificación

El estudio y la comprensión detallada de los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se presentan en el estudio de las dos aplicaciones mencionadas presentan una elevada complejidad basada tanto en su naturaleza multifísica y multiescala, como también en las dificultades que implican la instrumentación y medición de parámetros físicos, que obstaculizan la obtención de



información suficiente para la comprensión integral de los fenómenos y las variables que los afectan. En este marco, la complejidad de los fenómenos requiere de herramientas de modelado matemático y algoritmos de simulación numérica eficientes que permitan una mayor comprensión y un mejor aprovechamiento de dichos fenómenos en los dispositivos, para mejorar sus diseños, aumentar su rendimiento y también poder expandir así su aplicabilidad. Dichos algoritmos, requieren además su implementación en plataformas de cálculo de alto desempeño (HPC), a los fines de obtener resultados en tiempos compatibles con las etapas de I+D de los dispositivos.

### **Objetivos Generales y Específicos**

**Objetivo general:** el objetivo general del curso es familiarizar a los estudiantes con el uso de la herramienta Salome/Code-Saturne en el ámbito de la resolución de problemas de interacción fluido estructura y microfluídica como aplicaciones directrices que motiven futuras exploraciones y desarrollos propios en las temáticas específicas o de interés de cada alumno y sus grupos de pertenencia académica.

#### **Objetivos específicos:**

- Introducir a los alumnos a la utilización de la plataforma Salome/Code-Saturne, historia, metodología, instalación.
- Familiarizar a alumnos con la generación de geometrías y mallas en Salome y desarrollar habilidades básicas de manejo en dicho entorno.
- Familiarizar a alumnos con la resolución de problemas de flujo de fluidos, transporte, e interacción fluido estructura utilizando la plataforma Code-Saturne y desarrollar habilidades básicas de manejo en dicha plataforma.
- Familiarizar a los alumnos con las herramientas de pos-procesamiento de resultados, la interpretación de los mismos y diferentes procesos de validación.
- Introducir a los alumnos en la utilización de la plataforma Salome/Code-Saturne en entornos de HPC (High Performance Computing) para la resolución de problemas computacionalmente muy demandantes.



## **Unidades Temáticas**

### **Unidad I: Introducción a SALOME**

Generación de geometrías - Módulo GEOM. Generación de mallas - Módulo MESH. Post-procesamiento de resultados - ParaVis.

### **Unidad II: Introducción a CODE\_SATURNE**

Capacidades del solver CFD - Interfaz de usuario (GUI). Ecuaciones de gobierno. Discretización espacial y temporal. Condiciones de contorno. Generación de un caso de estudio (Cavidad cuadrada).

### **Unidad III: Programación de funciones de usuario**

Acceso a datos de la malla. Definición de condiciones de contorno. Operaciones en paralelo (HPC). Operaciones adicionales de pos-procesamiento

### **Unidad IV: Modelos de turbulencia**

Descripción de los modelos de turbulencia disponibles. Modelo K-epsilon. Modelo K-omega. Modelo LES. Otros modelos. Ley de pared.

### **Unidad V: Acoplamiento interno para la resolución de problemas de interacción fluido estructura**

Definición de la estructura para acoplamiento interno. Matrices de masa, rigidez y amortiguamiento. Generación de un caso de estudio. VIV (Vortex Induced Vibration) Cilindro.

### **Unidad VI: Utilizando CODE\_SATURNE en plataformas HPC. Escalabilidad**

Acceso remoto al Clúster (CIMEC). Sistema de cola SLURM. Paralelización MPI-OpenMP. Operaciones en paralelo. Medición de escalabilidad - Problema cavidad cúbica.

### **Unidad VII: Fundamentos de microfluídica y transporte a bajos números de Reynolds**

Orígenes de la microfluídica. Aplicaciones comunes. Técnicas de fabricación y materiales. Microhidrodinámica. Diferentes aproximaciones a la conservación de la cantidad de movimiento. Modelos reducidos. Flujos capilares y en medios porosos. Nociones generales.

### **Unidad VIII: Modelos acoplados flujo – transporte**

Advección-difusión. Electromigración. Reacciones químicas y biológicas. Dispersión Mecánica. Aplicaciones.



## Destinatarios

El curso está dirigido a ingenieros civiles, hidráulicos, mecánicos, electromecánicos, en materiales, en bioinformática y bioingenieros.

## Metodología de Trabajo

Las instancias para el desarrollo del curso serán clases teóricas, prácticas y de coloquio, realizándose una conceptualización y aplicación inmediata por medio de estudio dirigido y trabajos prácticos sobre la computadora. El curso cuenta con una exigencia total de 40 horas, con una carga horaria diaria de 8 horas, las que se distribuirán en 4 horas de clase teórica y 4 horas para la resolución de trabajos prácticos para favorecer el análisis individual y grupal de problemas.

## Criterios y Procedimientos de Evaluación

A los fines de acreditar la aprobación del curso, los alumnos deberán realizar una serie de guías de trabajos prácticos con asistencia de los docentes, en equipamiento propios (notebooks) y clusters de HPC. Dichos trabajos prácticos consistirán en la resolución de ejemplos concretos de problemas físicos relacionados a la temática mediante la utilización de la plataforma Salome/Code-Saturne.

## Bibliografía

- Code Saturne 5 - User Guide.  
<http://code-saturne.org/cms/sites/default/files/docs/5.0/user.pdf>
- Code Saturne 5 - Theory Guide.  
<http://code-saturne.org/cms/sites/default/files/docs/5.0/theory.pdf>
- Code Saturne 5 – Tutorials.  
<http://code-saturne.org/cms/documentation/Tutorials>
- Salome Documentation.  
<https://www.salome-platform.org/user-section/documentation/current-release>
- Introduction to Microfluidics. Tabeing Patrick. ISBN: 0191524557. Oxford, 2005.

## Infraestructura y Equipamiento

A los fines de aumentar las capacidades pedagógicas del curso y las posibilidades de que sus objetivos curriculares se alcancen de manera adecuada, resultaría conveniente que los asistentes dispongan durante el curso de:

- Una notebook o PC de escritorio de capacidad mediana.



- Una instalación funcional de la plataforma Salome/Code Saturne, teniendo como opción utilizar una máquina virtual que se les facilitará durante el cursado.
- Acceso a los clusters HPC del CIMEC (<https://cimec.org.ar/c3/>) para realizar cómputos en paralelo, el cual será provisto por los docentes.