



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales

CONICET



Departamento de Aeronáutica FCEFN-UNC

Modelización numérica de problemas de
flujos compresibles y plasmas astrofísicos en
ingeniería aeronáutica y aeroespacial

Reunión de Usuarios del CCAD-UNC

Córdoba, 2 de octubre

Grupo de Trabajo

Este grupo de trabajo se desempeña en el Departamento de Aeronáutica; Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. El mismo está integrado por los siguientes profesionales:

- Dr. Sergio Elaskar (UNC - CONICET)
- Dr. José Tamagno (UNC)
- Dra. Andrea Costa (UNC - CONICET)
- Dra. Walkiria Schulz (UNC)
- Dr. Gustavo Krause (UNC - CONICET)
- Dr. Juan Pablo Saldía (UNC - CONICET)
- Dr. Felipe Gutiérrez Marcantoni (UNC - CONICET)
- Ing. Luis Soria Castro (UNC - FADEA)
- Dr. Andrés Cimino (UNC - INTI)
- Ing. Denis Lorenzón (CONICET)

Áreas de trabajo

Temas de trabajo:

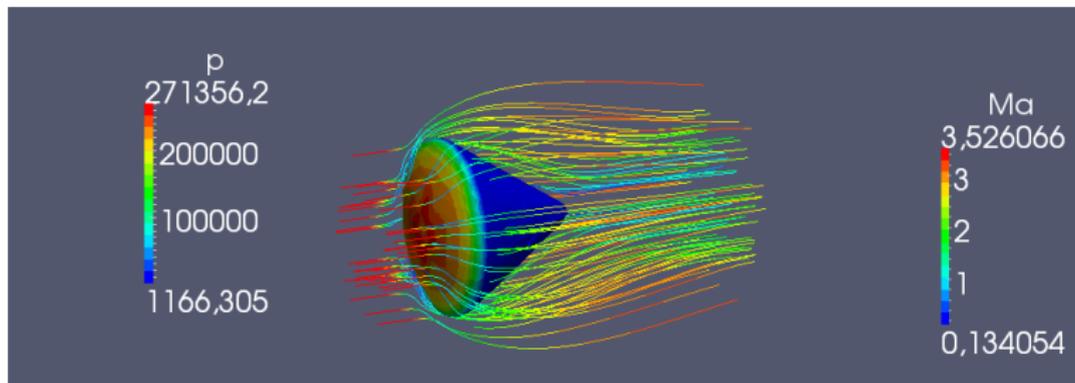
- Dinámica de Gases – Mecánica de Fluidos
 - Simulación numérica de flujos compresibles
 - Simulación numérica del flujo alrededor de tanques

- Magnetohidrodinámica - Plasmas
 - Simulación de flujos magneto-gas-dinámicos
 - Propulsión espacial por plasma
 - Ondas de Langmuir

Simulación numérica de flujos supersónicos de gases

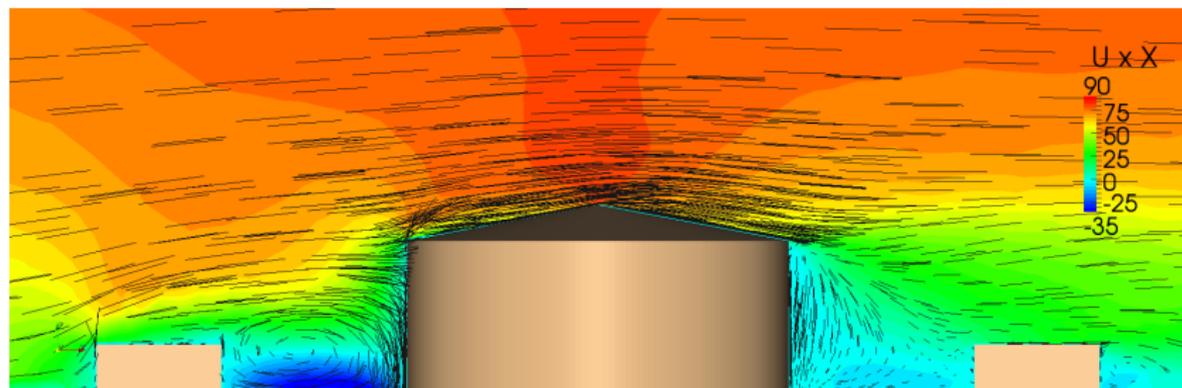
Se busca en esta investigación la mejora y desarrollo de algoritmos numéricos con la finalidad de incrementar la calidad de simulación de flujos gas-dinámicos con elevada entalpía incluyendo cambios químicos, efectos difusivos y turbulentos, como también la simulación de la propagación e interacción de ondas gas-dinámicas. Se está trabajando en dos líneas:

- 1 Desarrollo de códigos propios usando computación en paralelo.
- 2 Uso del software libre y abierto openFOAM.



Simulación numérica del flujo de aire alrededor de tanques

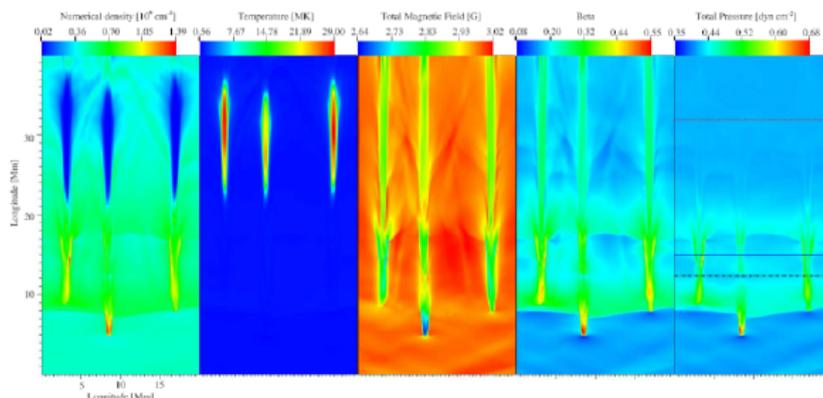
- Se llevan a cabo simulaciones del flujo de aire alrededor de tanques y silos utilizando CFD.
- El objetivo principal es obtener la distribución de presiones alrededor de los cuerpos localizados sobre el nivel del terreno para investigar los efectos topográficos (localización en colinas), de diques de contención y de grupo.
- Este trabajo se enmarca en una colaboración con el grupo de investigación del Prof. Pascal Bruel (INRIA - Team CAGIRE).
- El software utilizado es **Code Saturne**.



Simulación numérica de flujos magneto-gas-dinámicos

Esta investigación tiene dos objetivos principales: Mejoramiento y desarrollo de algoritmos numéricos con la finalidad de incrementar la calidad de simulación de flujos magneto-gas-dinámicos ideales y reales. Aplicación de los nuevos algoritmos y códigos computacionales a la simulación del comportamiento dinámico no lineal de estructuras magnéticas en la corona solar. Se está trabajando en dos líneas:

- 1 Desarrollo de códigos propios.
- 2 Uso del software libre y abierto **FLASH**.



Código High Performance Gas Dynamics (*HPGD*)

En cuanto al código *HPGD* de desarrollo propio, el mismo cuenta con las siguientes características:

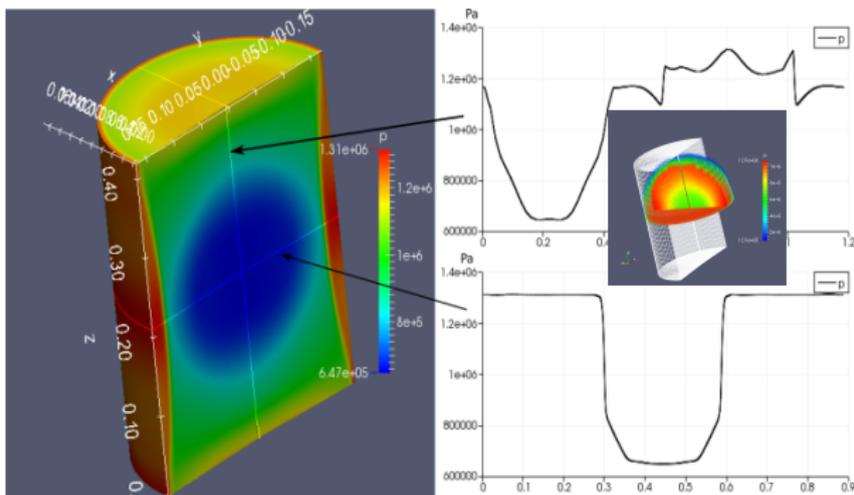
- Framework para la solución de EDPs en sistemas de cómputo de alta performance.
- Mallas híbridas no estructuradas tanto en 2D cómo en 3D
- Uso extensivo de librerías paralelizadas
 - *Global Arrays* → administración en paralelo de estructura de datos
 - *PETSc* → solver de sistemas lineales (métodos iterativos)
 - *Parmetis* → partición de dominio
- Aplicación en problemas de aero-termodinámica → Navier-Stokes 2D y 3D con no equilibrio termoquímico

Estas características producen muy buena escalabilidad en problemas que involucren grandes dominios computacionales con fenómenos gas-dinámicos complejos.

Modelado de Explosiones

Esta línea de investigación se centra en el desarrollo de algoritmos para la predicción de los parámetros estáticos y dinámicos asociados a procesos detonantes y explosivos

- 1 Simulaciones que implican cinéticas detalladas involucran grandes recursos de cálculo y pos-procesamiento



Modelado de detonaciones

Se trabaja en la simulación de detonaciones en mezclas de hidrocarbúros, lo cual requiere el uso de modelos cinéticos detallados.

- Incluso en simulaciones planas los volúmenes de cálculo y datos son demandantes.

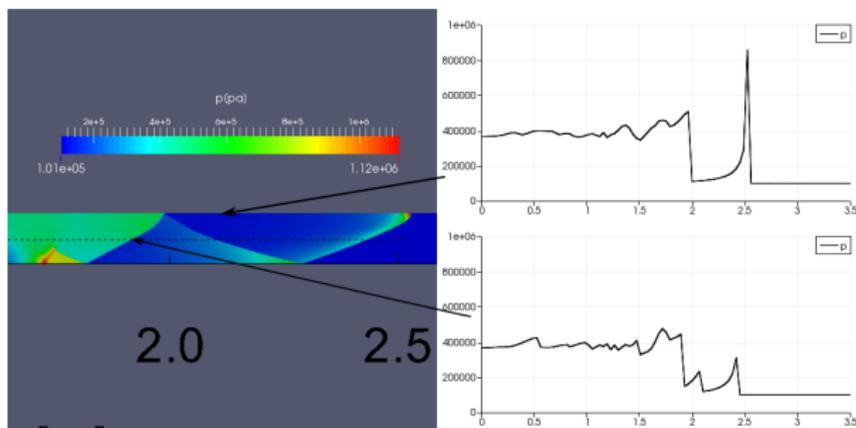


Figura: Detonación semi-confinada metano-aire

Problemas Computacionales

La simulación de los fenómenos físicos mencionados involucra los siguientes problemas computacionales:

- Resolución espacial (discretización adecuada)
- Resolución temporal (paso de tiempo adecuado)
- Complejidad de los fenómenos estudiados (requerimiento de memoria y capacidad de cálculo)
- Problemas *stiff* (requerimiento de algoritmos específicos)
- Modelado de la turbulencia (*RANS*, *LES*, *DES*)
- Mallas no estructuradas y multiescala (requerimiento de memoria)

Por otro lado, la visualización de resultados implica el manejo de grandes volúmenes de datos por lo que existe una importante demanda de recursos gráficos.

Requerimientos Computacionales

Los requisitos computacionales necesarios están definidos por el tipo de problema estudiado:

$$\text{Requerimientos} \rightarrow \frac{\text{N}^\circ \text{ Ecs.} \times \text{N}^\circ \text{ Celda}}{\text{Paso de tiempo}}$$

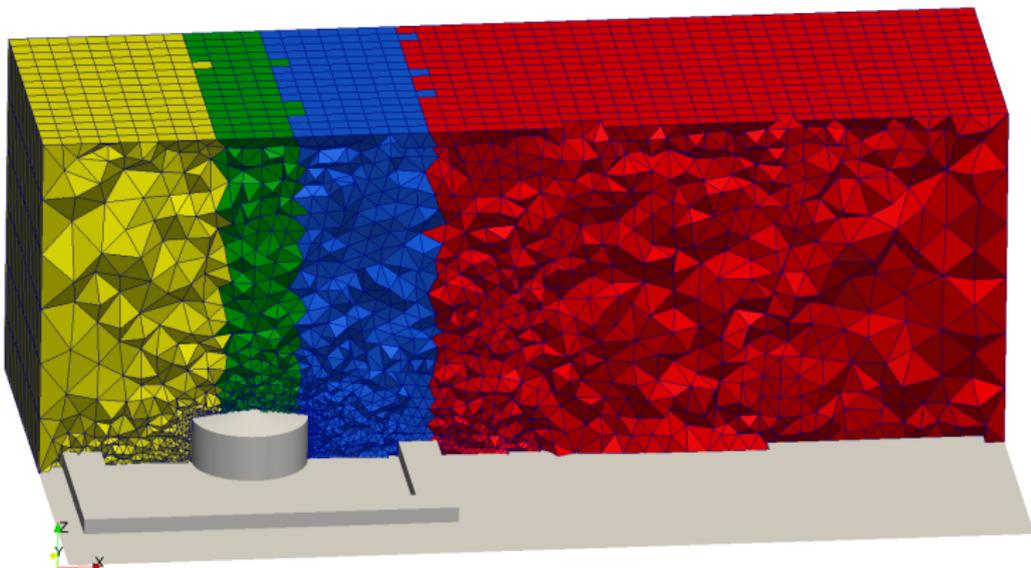
En la simulación de un flujo gas-dinámico, la complejidad del fenómeno incrementa notablemente los requerimientos:

- Flujo turbulento: $\text{N}^\circ \text{ Ecs.} = (4 + Nd)$
- Flujo turbulento reactivo:
 $\text{N}^\circ \text{ Ecs.} = (4 + Nd) + (Ns - 1) + ODEs(f(Nr, Ns))$
- Flujo turbulento reactivo con no equilibrio termodinámico:
 $\text{N}^\circ \text{ Ecs.} = (4 + Nd + EMT) + (Ns - 1) + ODEs(f(Nr, Ns))$

Ejemplo: Para un problema de combustión Aire + Metano, podrían llegar a considerarse 53 especies con 800 reacciones, lo que significa un total de 59 ecuaciones de transporte sobre el dominio y 42400 *stiff ODEs*.

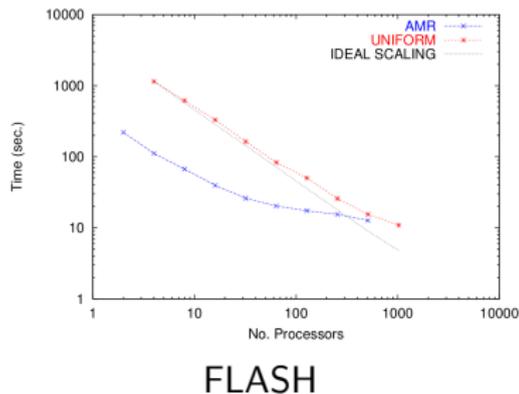
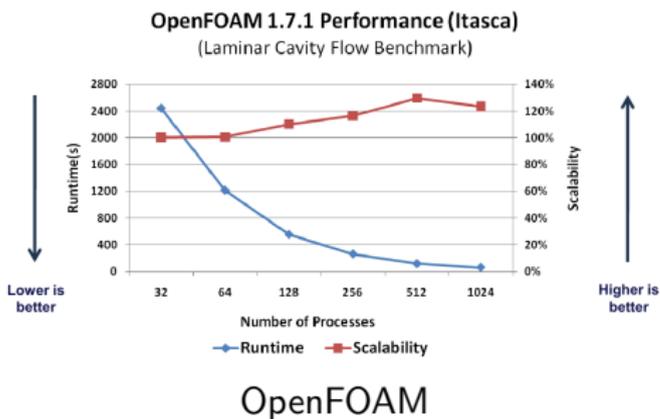
Solución mediante HPC

Solución HPC → **Descomposición de Dominio**



Ejemplos de Escalabilidad

Tanto OpenFOAM como FLASH han demostrado muy buenas performances para su implementación con recursos de cómputo masivamente paralelos.



Expectativas

Aunque tenemos acceso a recursos computacionales que se encuentran entre los de mayor capacidad en el país (CCAD), aún los tiempos de cálculo resultan elevados.

Ejemplo: para un dominio de 55000 celdas, resolver las ecuaciones de Euler 2D en OpenFOAM nos lleva 8 horas utilizando 10 núcleos.

Contar con mejores recursos nos permitiría, mejorar las simulaciones.

- Incluyendo física más compleja.
- Analizando dominios más complejos con una mejor resolución espacial.
- Disminuyendo los tiempos de cálculo.
- Mejorando la visualización.

Muchas gracias por su atención