



UNC

Universidad  
Nacional  
de Córdoba



FCEFN

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

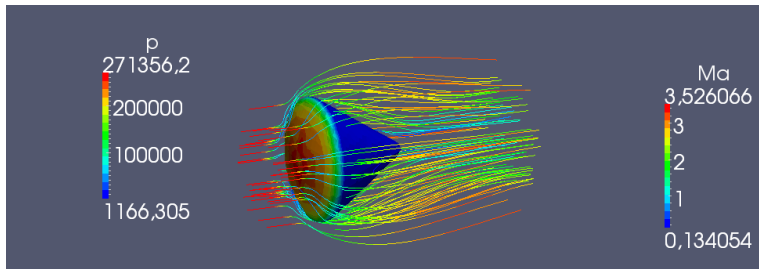
Temas de trabajo:

- 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

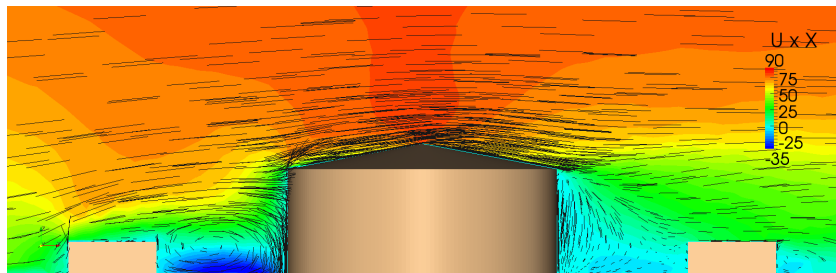
Se busca en esta investigación la mejora y desarrollo de algoritmos numéricos con la finalidad de incrementar la calidad de simulación de flujos gas-dinámicos con elevada entalpía incluyendo cambios químicos, efectos difusivos y turbulentos, como también la simulación de la propagación e interacción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

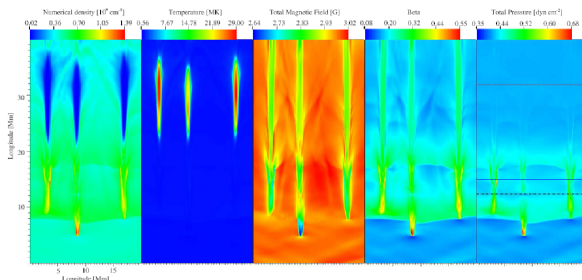
- Se llevan a cabo simulaciones del flujo de aire alrededor de tanques y silos utilizando CFD.
- El objetivo principal es obtener la distribución de presiones alrededor de los cuerpos localizados sobre el nivel del terreno para investigar los efectos topográficos (localización en colinas), de diques 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:

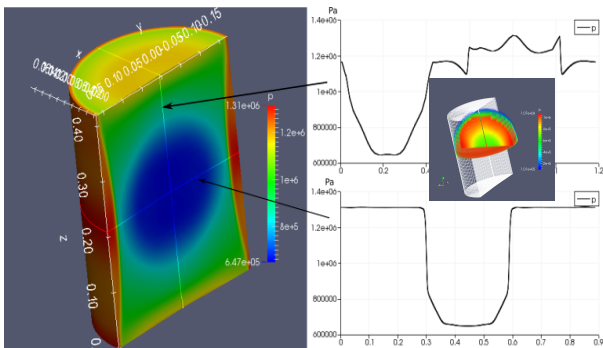
- Framework para la solución de EDPs en sistemas de cómputo de alta performance.
- Mallas híbridas no estructuradas tanto en 2D cómo en 3D
- Uso extensivo de librerías paralelizadas
  - *Global Arrays* → administración en paralelo de estructura de datos
  - *PETSc* → solver de sistemas lineales (métodos 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 voúmenes de cálculo y datos son demandantes.

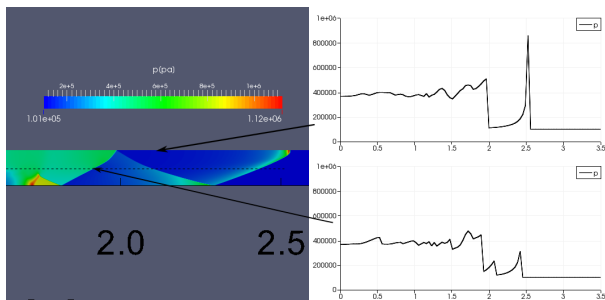


Figura: Detonación semi-confinada metano-aire

# 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:

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

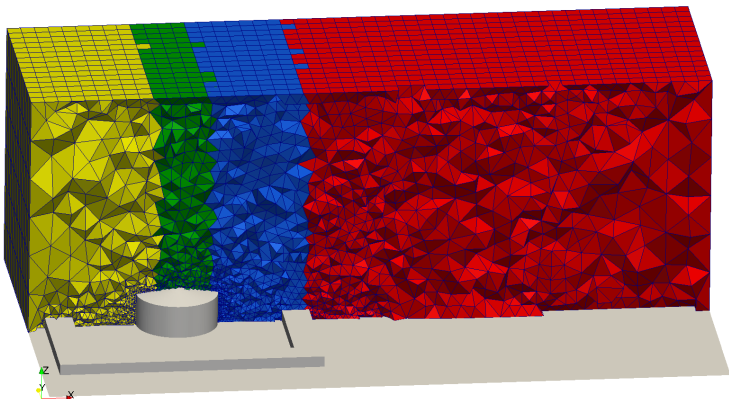
En la simulación de un flujo gas-dinámico, la complejidad del fenómeno incrementa notablemente los requerimientos:

- 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*.

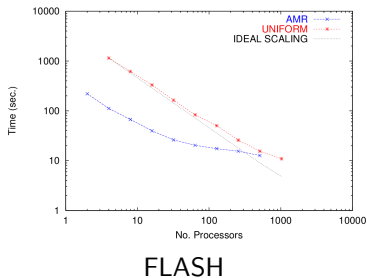
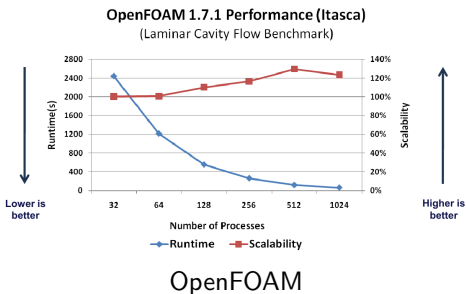
# Solución mediante HPC

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**