

Supercomputadoras en carrera

por Mario Storti

Centro Internacional de Métodos Computacionales
en Ingeniería - CIMEC

INTEC, (CONICET-UNL), Santa Fe, Argentina

mario.storti@gmail.com

<http://www.cimec.org.ar/mstorti>

Supercomputadoras, para que sirven?

De vez en cuando aparecen en los periódicos noticias acerca de que se ha estrenado una **supercomputadora**.

- ¿Que es una supercomputadora?
- ¿Para que sirve?
- ¿Son costosas?



La supercomputadora más potente

Actualmente la más poderosa supercomputadora es **Jaguar**.

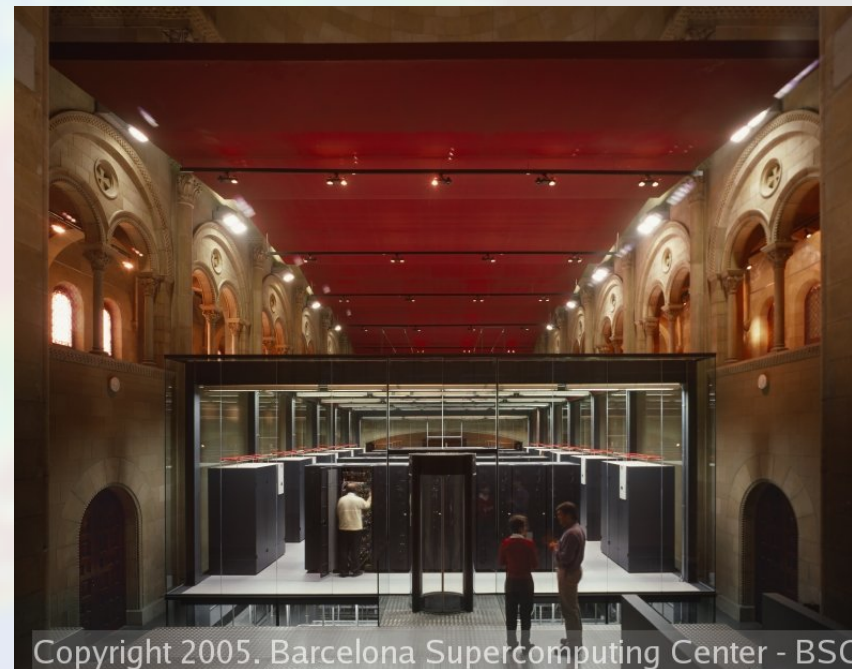
Construida por la firma CRAY, Está ubicada en Oak Ridge National Laboratory. Su potencia de cálculo es **2.3 Petaflops** y está construida en base a 224.256 procesadores **Opteron** y utiliza el **Sistema Operativo Linux**.



Otras supercomputadoras



Roadrunner
constructor IBM, para Los Alamos NL,
(New Mexico). 1.026Petaflops.
Puesto #1 en top500 hasta Dic 2009.
12.960 procesadores IBM PowerXCell
+ 6,480 procs AMD Opteron dual-core



Copyright 2005. Barcelona Supercomputing Center - BSC

Mare-Nostrum, construida por IBM,
para el gobierno español.
70 Teraflops.
10.240 procs (2560 x 2 dual-core
IBM 64-bit PowerPC 970MP)

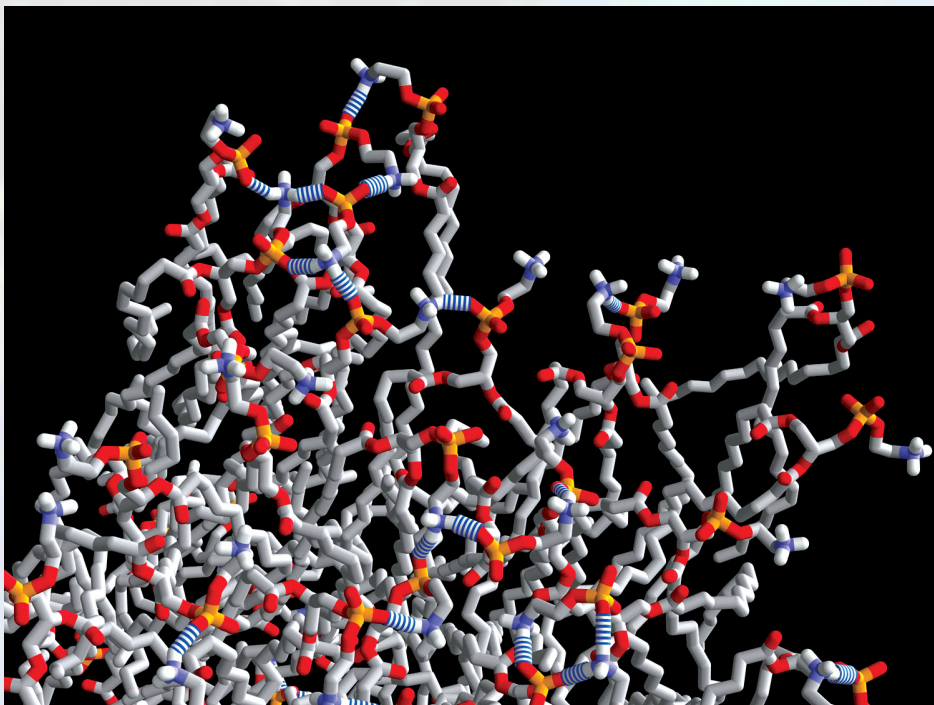
¿Como se mide la velocidad de las supercomputadoras?

La unidad es el **flops**: una operación de punto flotante (números con 10-15 decimales aprox) por segundo, puede ser multiplicación o suma. Se usa con multiplicadores del SI.

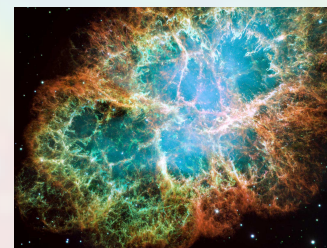
- Humano con papel y lápiz: 0.01 flops
- Regla de cálculo (precisión??): 0.1 flops
- Calculadora: 1 flops
- Eniac: primera computadora electrónica 0.5 Kflops (=500 flops)
- Intel i486: 20 Mflops (20.000.000 flops)
- Intel Dual core: 5 Gflops (5.000.000.000 flops)
- Cluster con 100 procs: 0.5 Tflops (500.000.000.000 flops)
- MareNostrum: 70 Tflops (70.000.000.000.000 flops)
- Jaguar: 2.3 Pflops (2.300.000.000.000.000 flops)



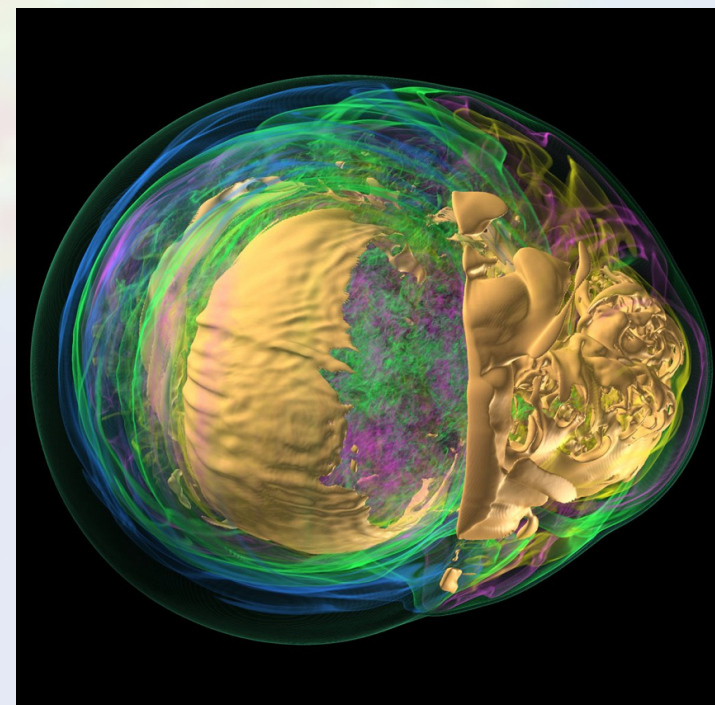
Aplicaciones científicas de las supercomputadoras



Modelo detallado de una molécula de lípido

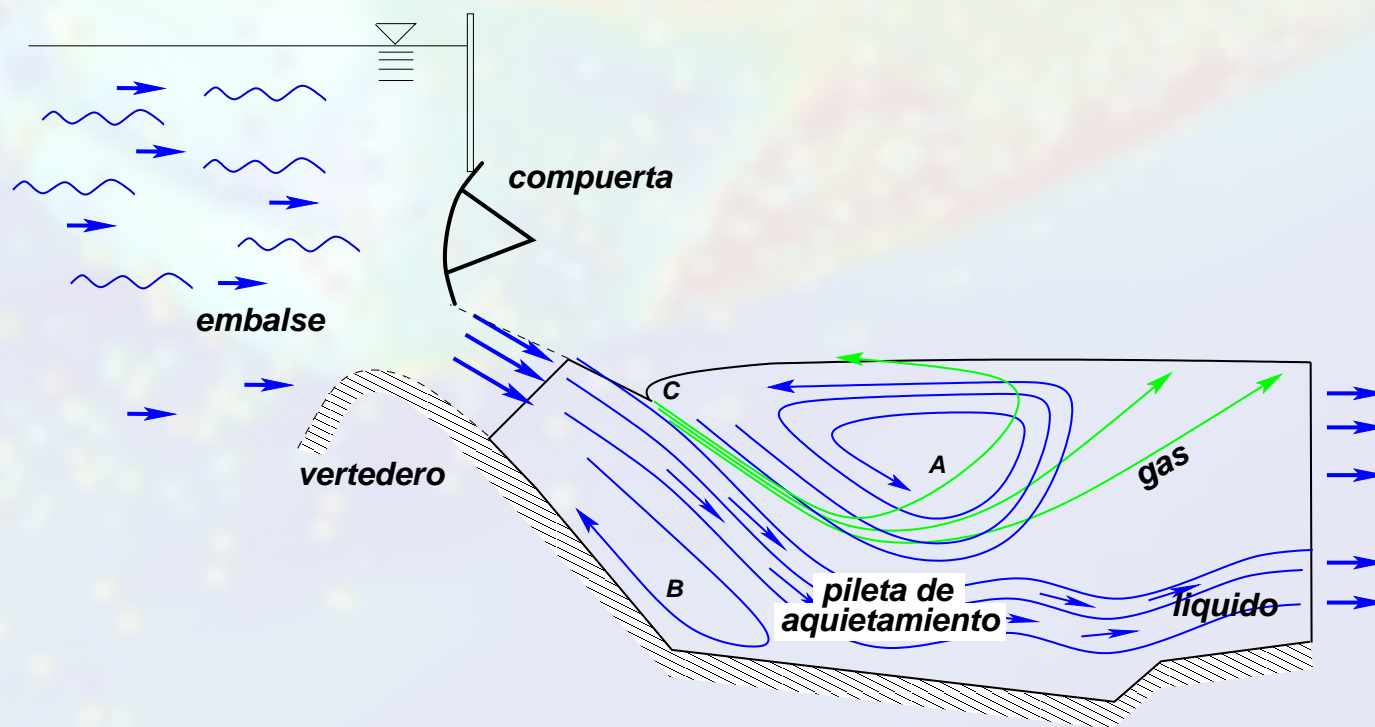


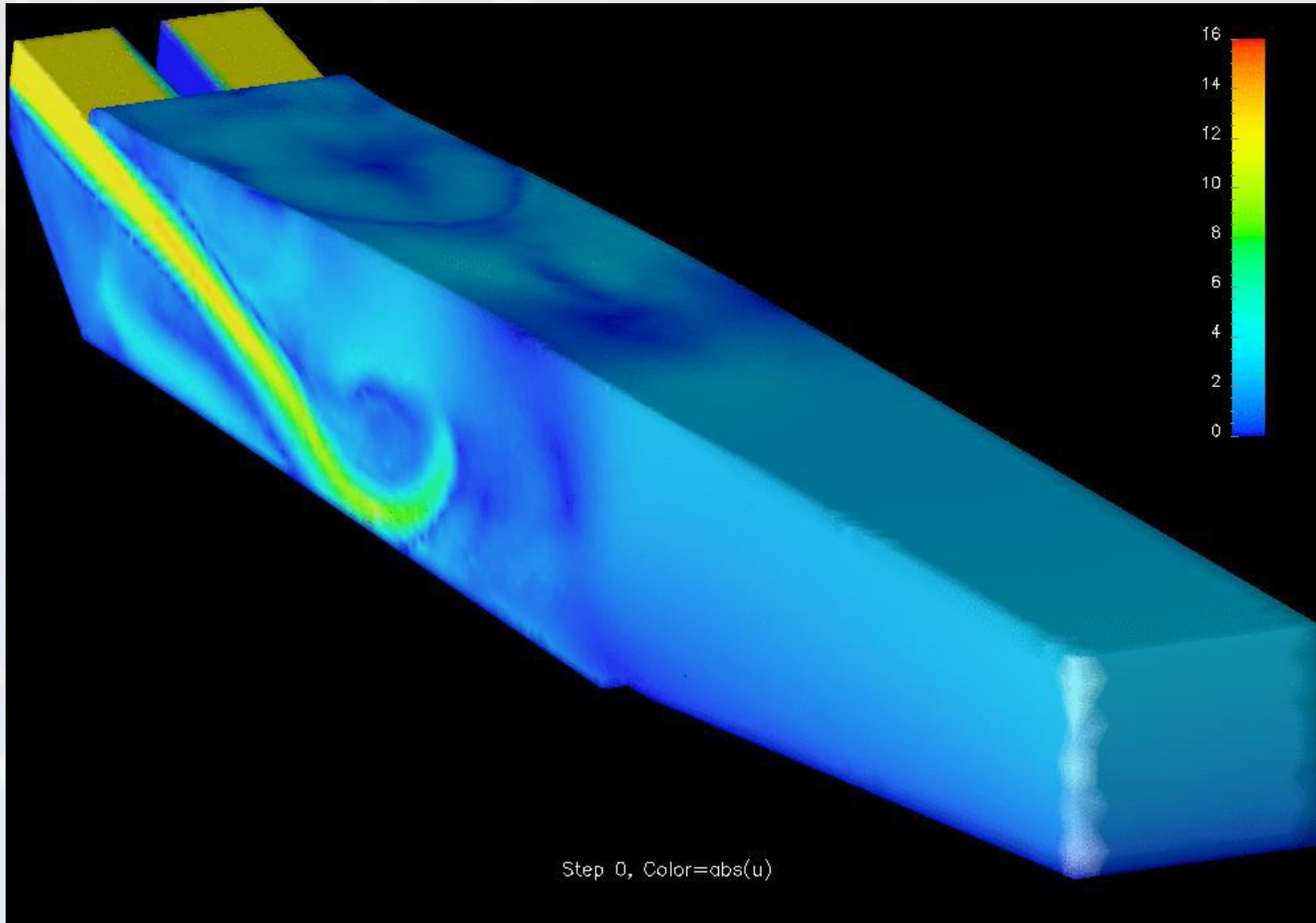
Modelo de la explosión de una supernova

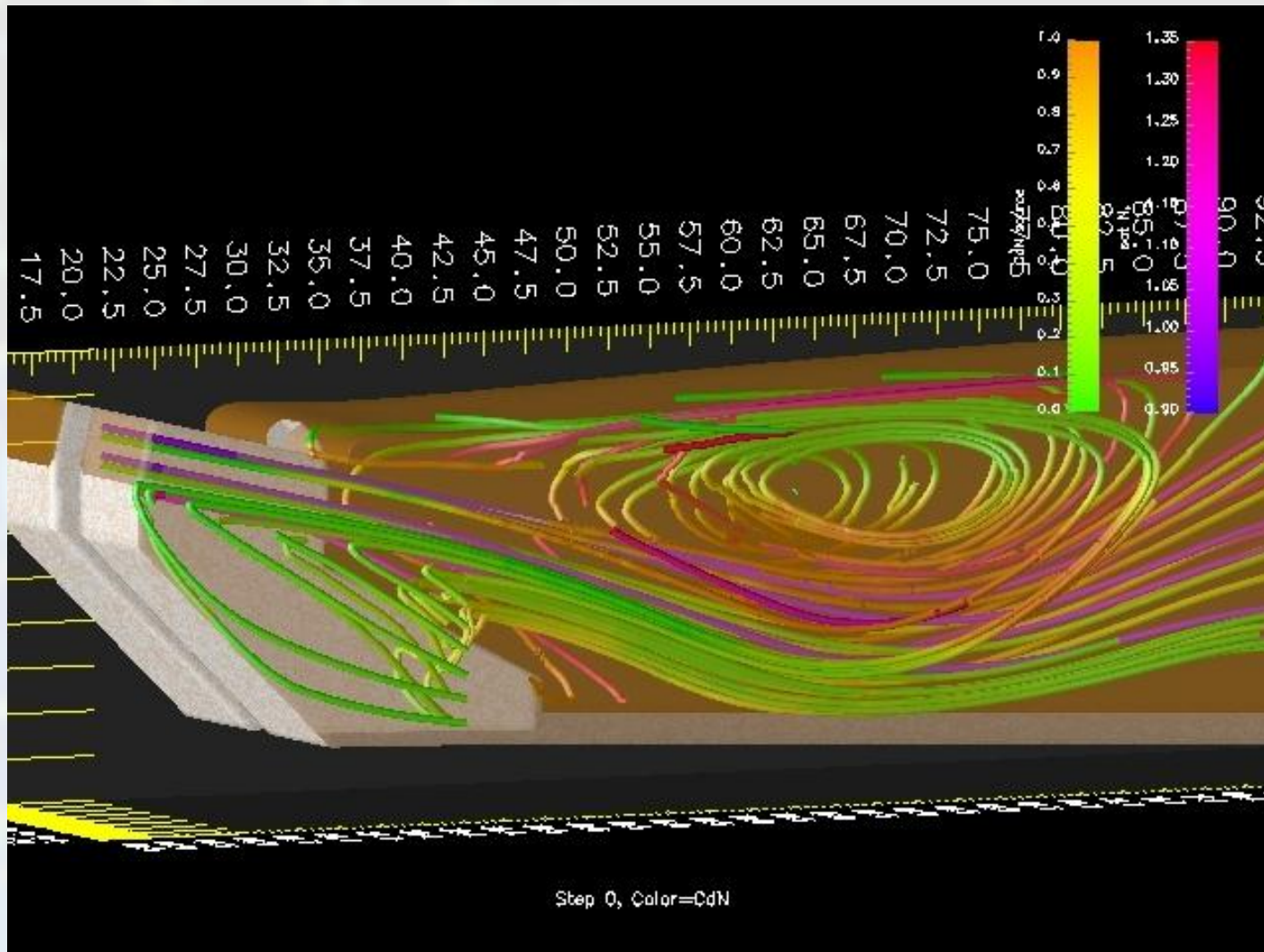


Mecánica de fluidos con reacción y transporte

- **COMITENTE: Ente Binacional Yacypretá**
- El chorro de agua que pega sobre la pileta de aquietamiento produce un alto contenido de burbujas (espuma). El jet arrastra las burbujas al fondo de la pileta. Las altas presiones promueve la disolución de O₂/N₂ de la fase gaseosa a la fase líquida y puede producir la sobresaturación.







(launch video spillwgc)

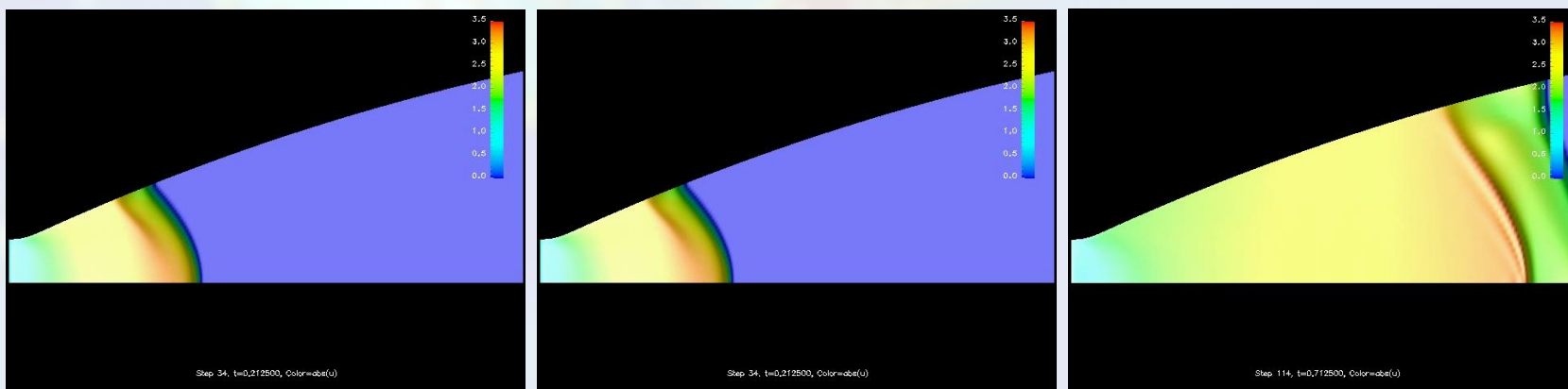
Encendido de una tobera divergente

COMITENTE: ESTEC/ESA (European Space Research and Technology Centre-European Space Agency, Noordwijk, Holanda), and Open Engineering (Liege, Belgium).



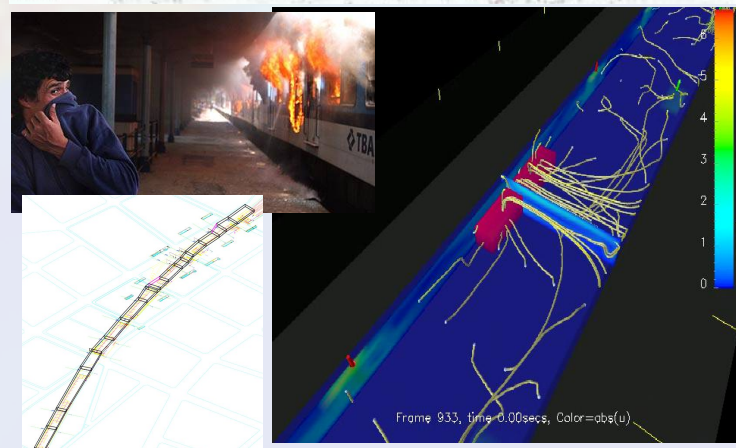
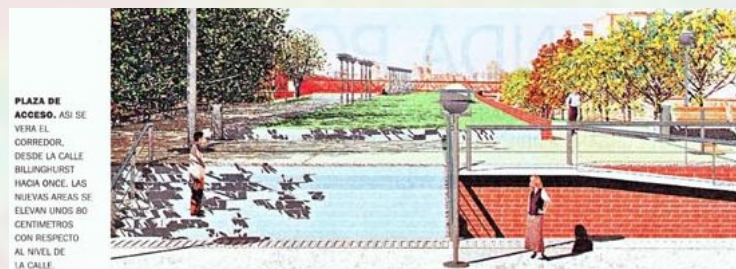
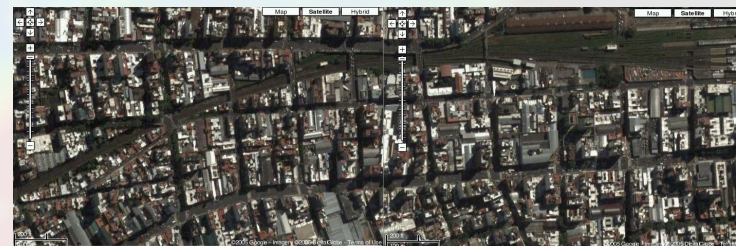
Encendido de una tobera divergente (cont.)

Se calcula la ignición de un la tobera divergente de un lanzador en una atmósfera de baja presión. El fluido está inicialmente en reposo a 143 Pa, 262 °K. En el momento de encendido la presión en la tobera sube a 6×10^5 Pa, 4170 °K. Una onda de choque muy intensa ($p_1/p_2 > 1000$) se propaga desde la garganta de la tobera hacia la salida. El objetivo de la simulación es determinar el tiempo que se necesita para llenar la cámara (< 1 msec) y el flujo estacionario final.



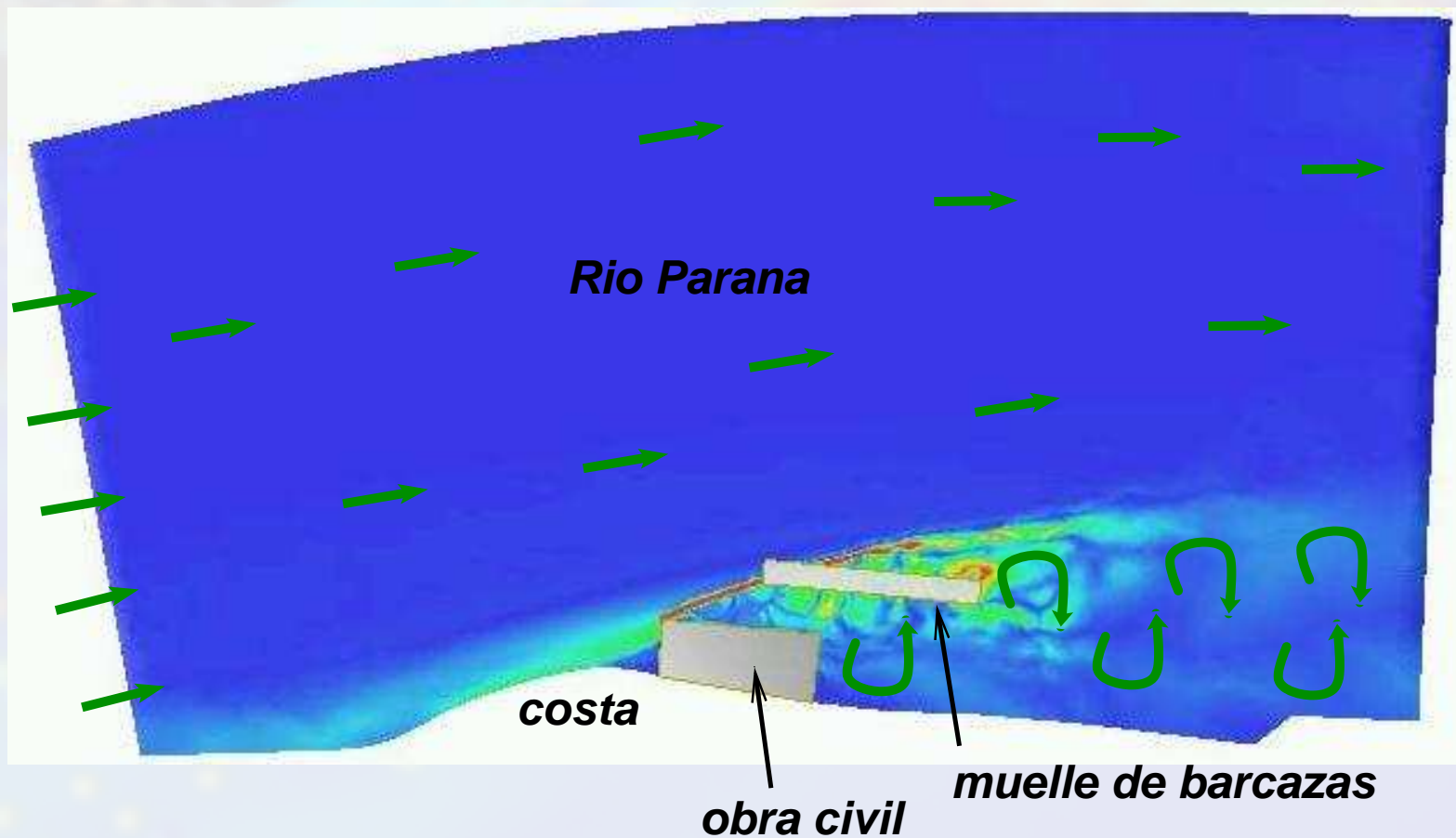
Protección contra incendios

- **COMITENTE: Vialmani S.A., HP-IC S.A., KB Engineering, para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires**
- **La CABA planea techar el corredor del ferrocarrila Sarmiento por unos 800 m empezando en la estación de Once.**
- **Para un análisis de seguridad entre otras cosas se calcula el TAE (“Time Available for Escape”) y el TNE (for “Time Needed for Escape”). Para el primero se simula el encendido de un vagón (1.7 MW, 1500 C, 6 % CO, 1e9 solid part/m3, 10 micra) para determinar el TAE.**



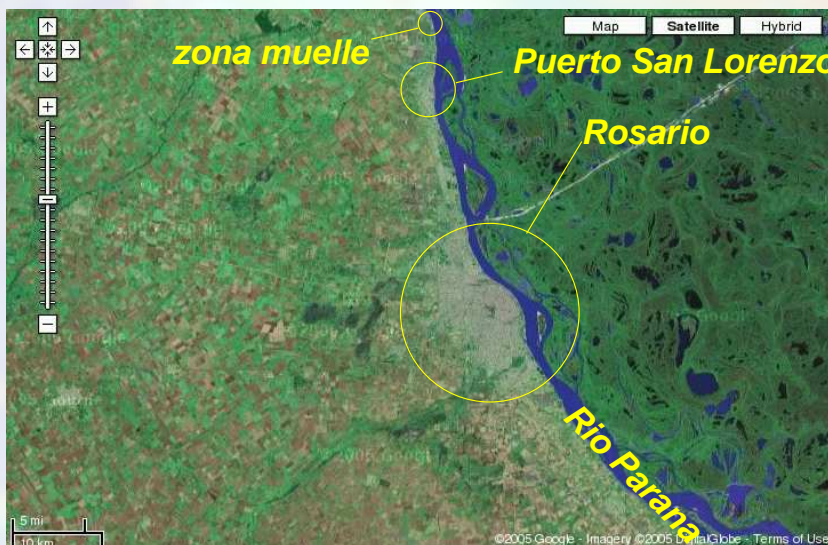
Estudio de maniobrabilidad en un muelle

COMITENTE: Orengo y C. Ingeniería (Rosario)

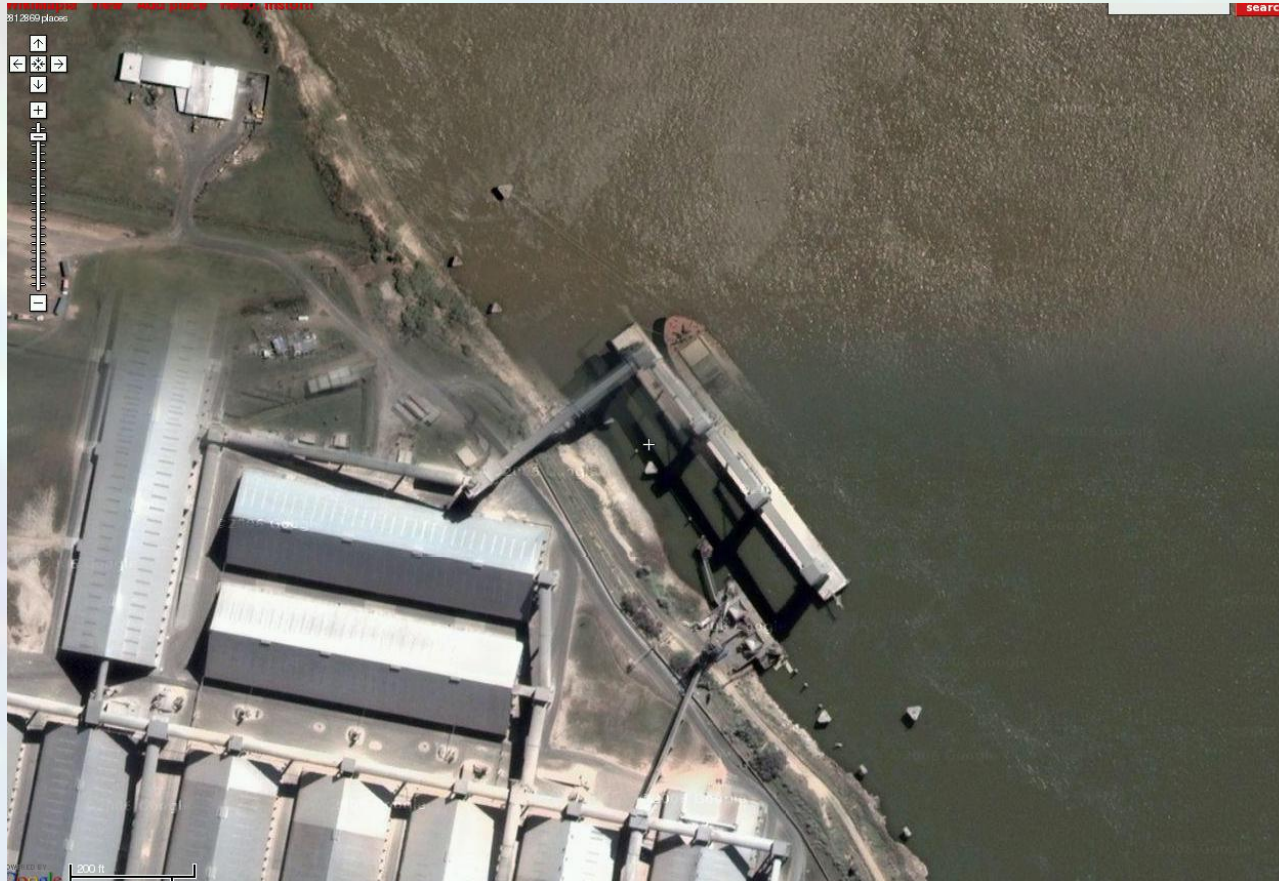


Estudio de maniobrabilidad en un muelle (cont.)

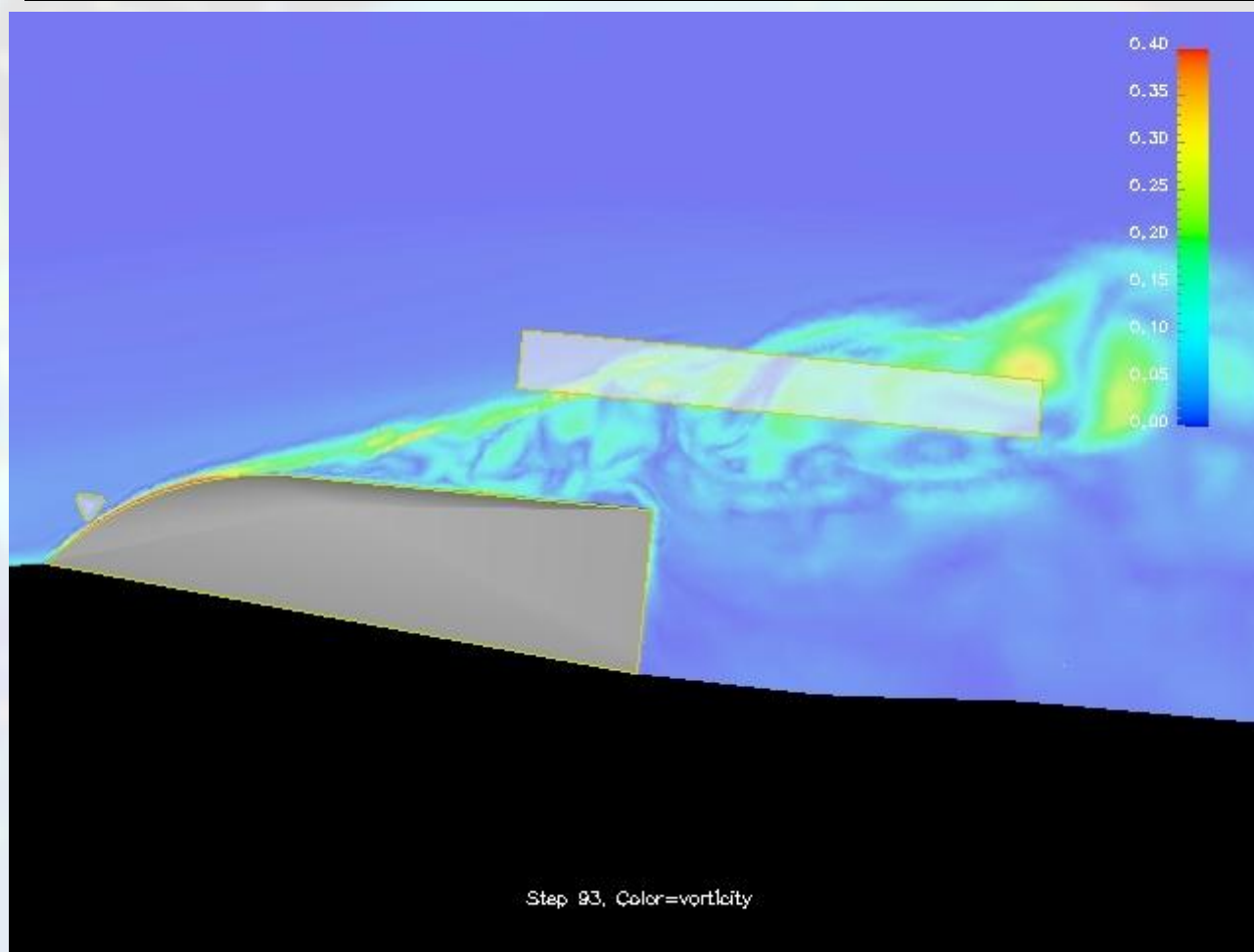
- **Objetivo:** Calcular la intensidad de la turbulencia producida por una construcción civil cerca de un muelle.



Estudio de maniobrabilidad en un muelle (cont.)



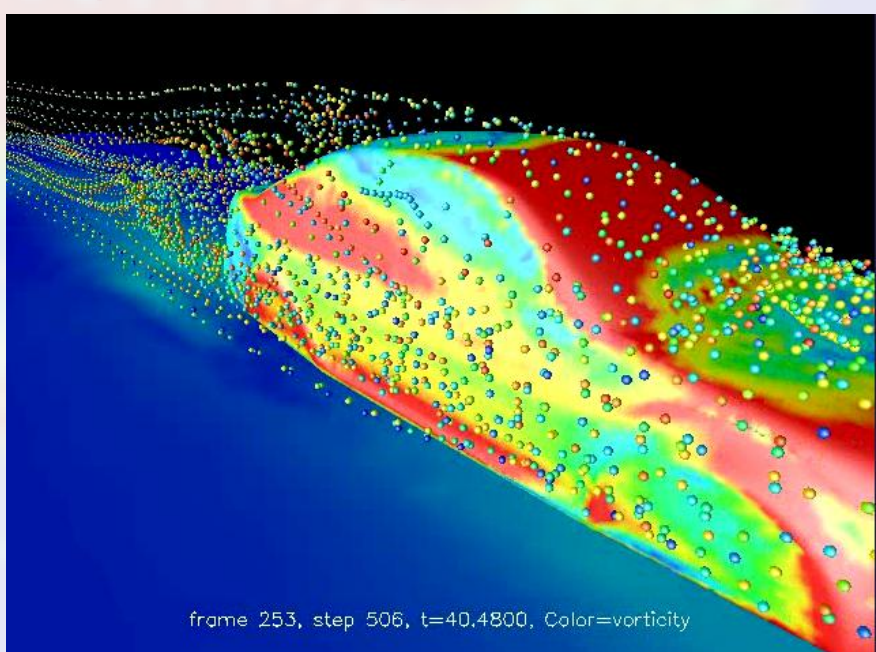
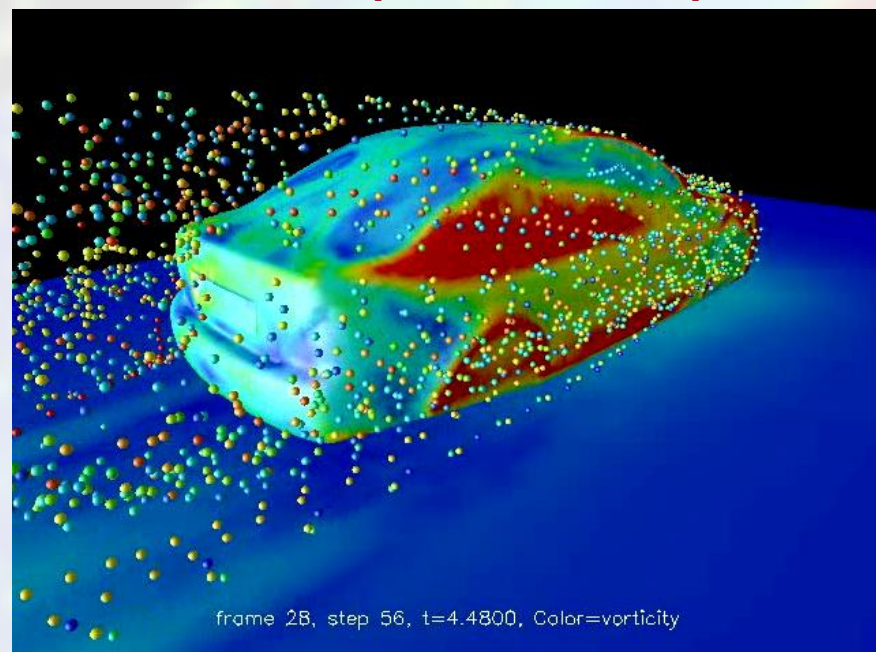
Estudio de maniobrabilidad en un muelle (cont.)



(launch video muelle planta) (launch video muelle 3D)

Aerodinámica de un auto de competición

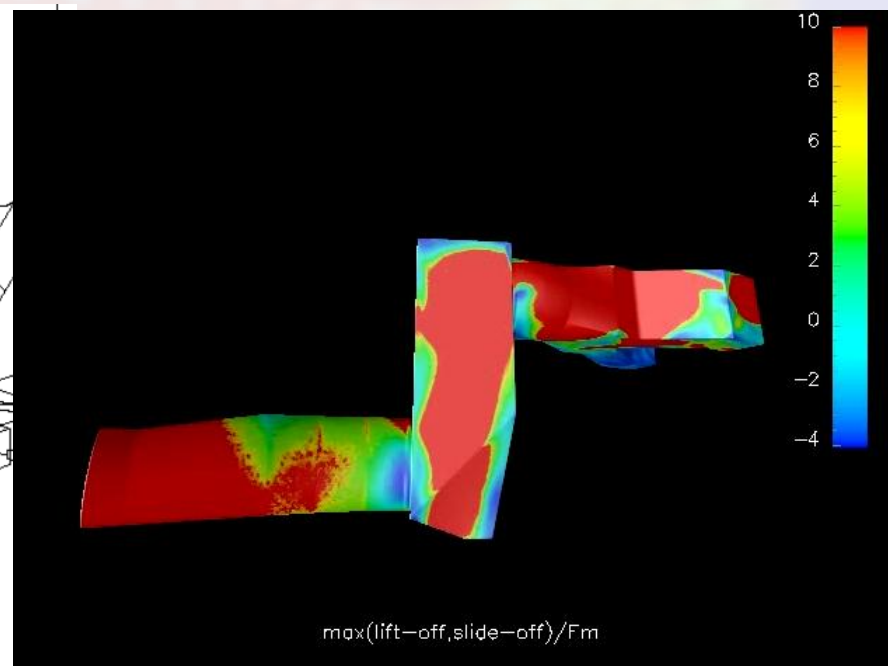
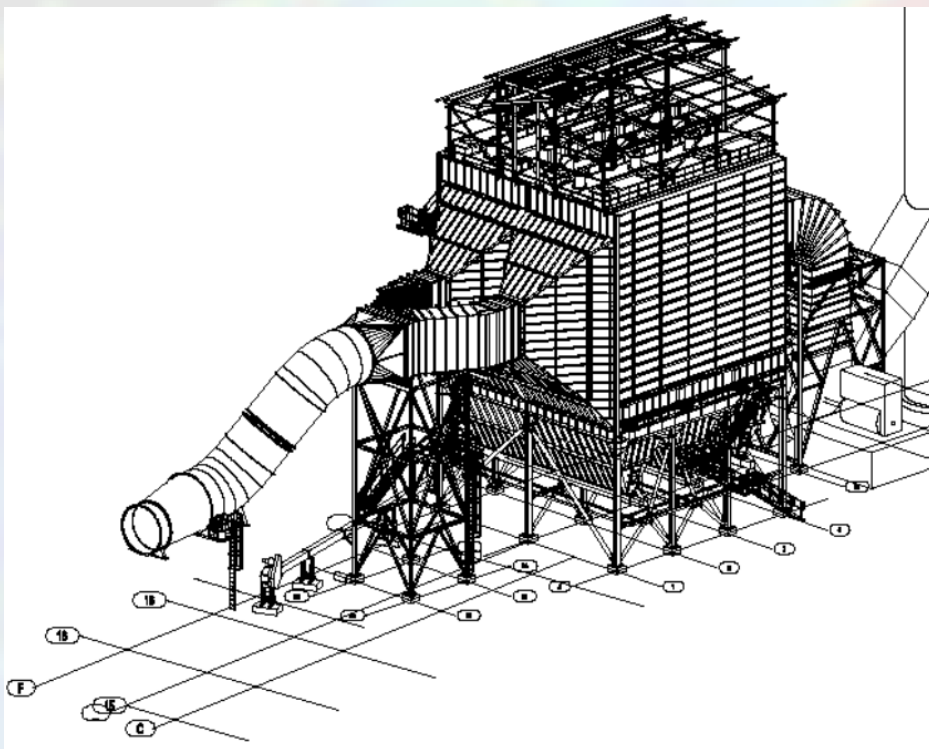
COMITENTE: SportTeam Competición S.A. (9 de Julio, BA)



(launch video bora)

Sedimentación de partículas en un ducto de aspiración

COMITENTE: TERNIUM-SIDERAR (San Nicolás, BA)

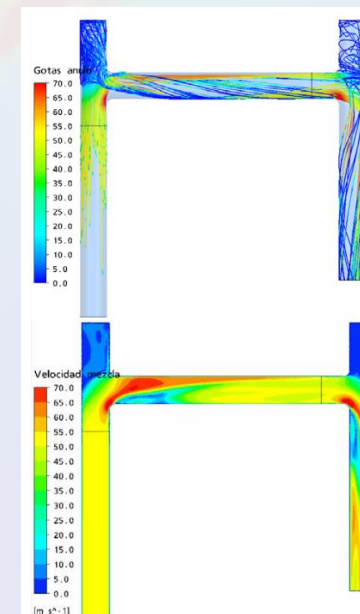
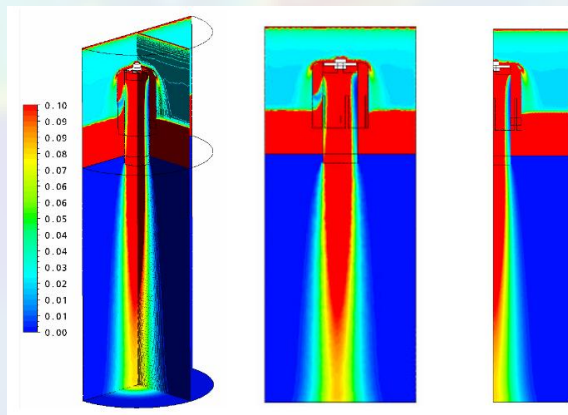
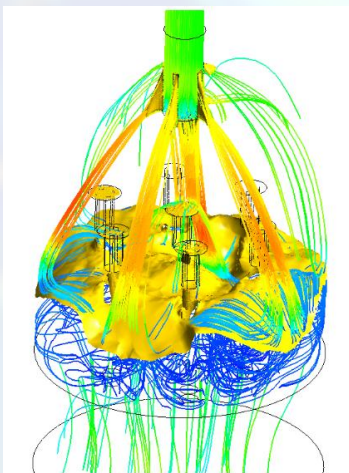


Central Nuclear Atucha II



Repsol-YPF

- Las línea de transferencia del horno BA-101 ubicado en CILP.
- Deposición de barro en un recipiente de oxo-alcoholes.
- Transporte de fases líquido/gas en plato distribuidor en un reactor de HDS.
- Distribución líquido/gas en reactor de gas buteno.
- Flujo trifásico de líquido/gas/sólido catalizador en reactor de PIB.
- Aireación del standpipe de una planta de cracking catalítico (FCC).



Otros comitentes

- **INTA (Argentina e INTEA S.A.)** *Análisis aerodinámico de un generador de pulsos para la cosecha de frutos (Patente INPI en trámite P070103318).*
- **Interfaces S.A. (Buenos Aires)** *Implementación de un resolvedor eficiente.*
- **Instituto Universitario Aeronáutico, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE).** *Estudio fluidodinámico de un tanque de combustible de un cohete en rotación.*
- **Unilever.** *Estudio de refrigeración en molde para fabricación de jabón.*

Modelo de un brassiere

Oasys
LS-DYNA ENVIRONMENT

Home Software FE-Models Training Downloads Events

LS-DYNA Home -> Software -> LS-DYNA -> Applications -> Other Analysis

Applications - Other Analysis

Bra analysis

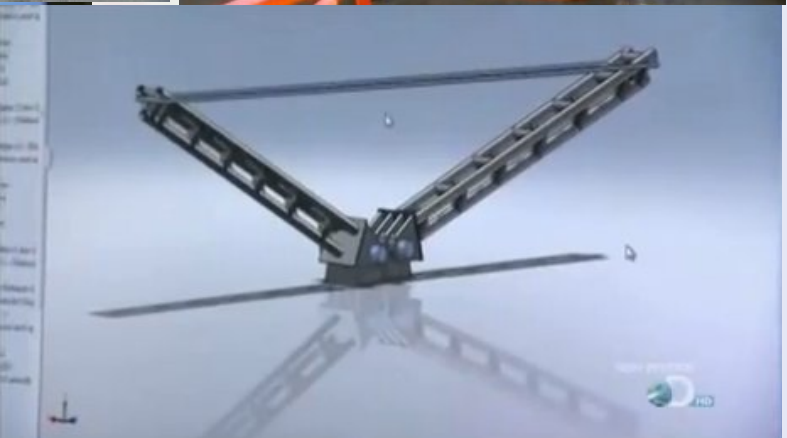
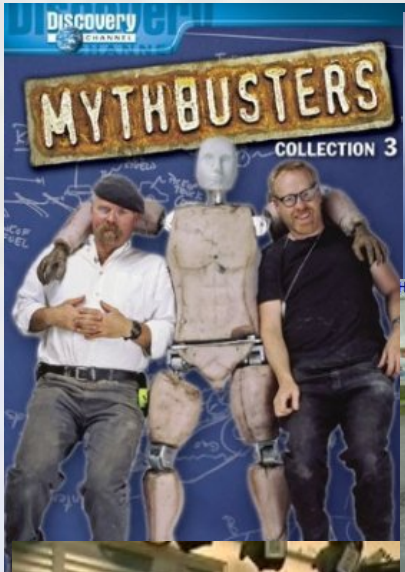
The search for a bra with a perfect fit has been made by many women over the years. However, until recently there has been little application of engineering to bra design despite an early patent brought by an aeronautical engineer. In fact, the basic design has not changed dramatically since its appearance in 1885. In the past year there has been an emergence of interest in designing the perfect bra.

Most recently it became the subject of a program broadcast on UK TV Channel 4 on the 24 June 1998. 'Designs on Your Bra' followed London based industrial designers, Dick Powell and Richard Seymour, as they attempted a radical redesign of the bra.

They were assisted during the project by the consulting engineers, Arup's Advanced Technology Group, who were able to give an insight into the engineering performance of the bra using advanced computer techniques.

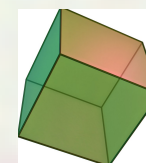
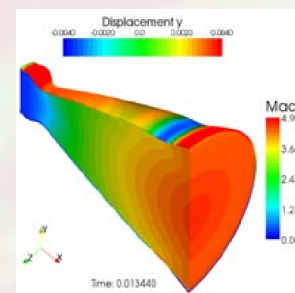
(launch video brassiere)

Mec. Comp. visita a los Cazadores de Mitos

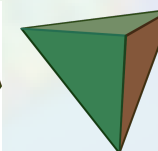


¿Como funciona la mecánica computacional?

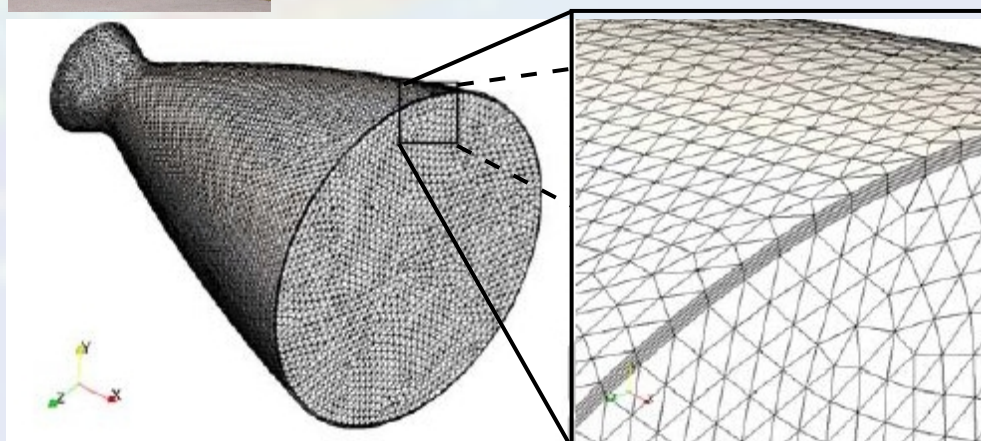
- Básicamente consiste en dividir las regiones ocupadas por el cuerpo o los fluidos a estudiar en dominios más pequeños y simples, (llamados celdas o elementos) como hexaedros (cubos) o tetrahedros (pirámides de base triangular) cubos.
- En cada celda las variables (presión, velocidad, temperatura) tiene un comportamiento muy simple (por ej. se asume que es constante).



hexaedro
(cubo)



tetraedro
(pirámide de
base triangular)



¿Como funciona la mecánica computacional? (cont.)

De esta forma se llegan a **sistemas de ecuaciones** en las cantidades para cada celda.

$$2x + 3y - z = 5$$

$$3x - y + z = 4$$

$$x + y - 2z = 1$$

En los modelos por mecánica computacional, se resuelven sistemas con **millones** de ecuaciones. Este es el punto que necesita más **tiempo de cálculo**.



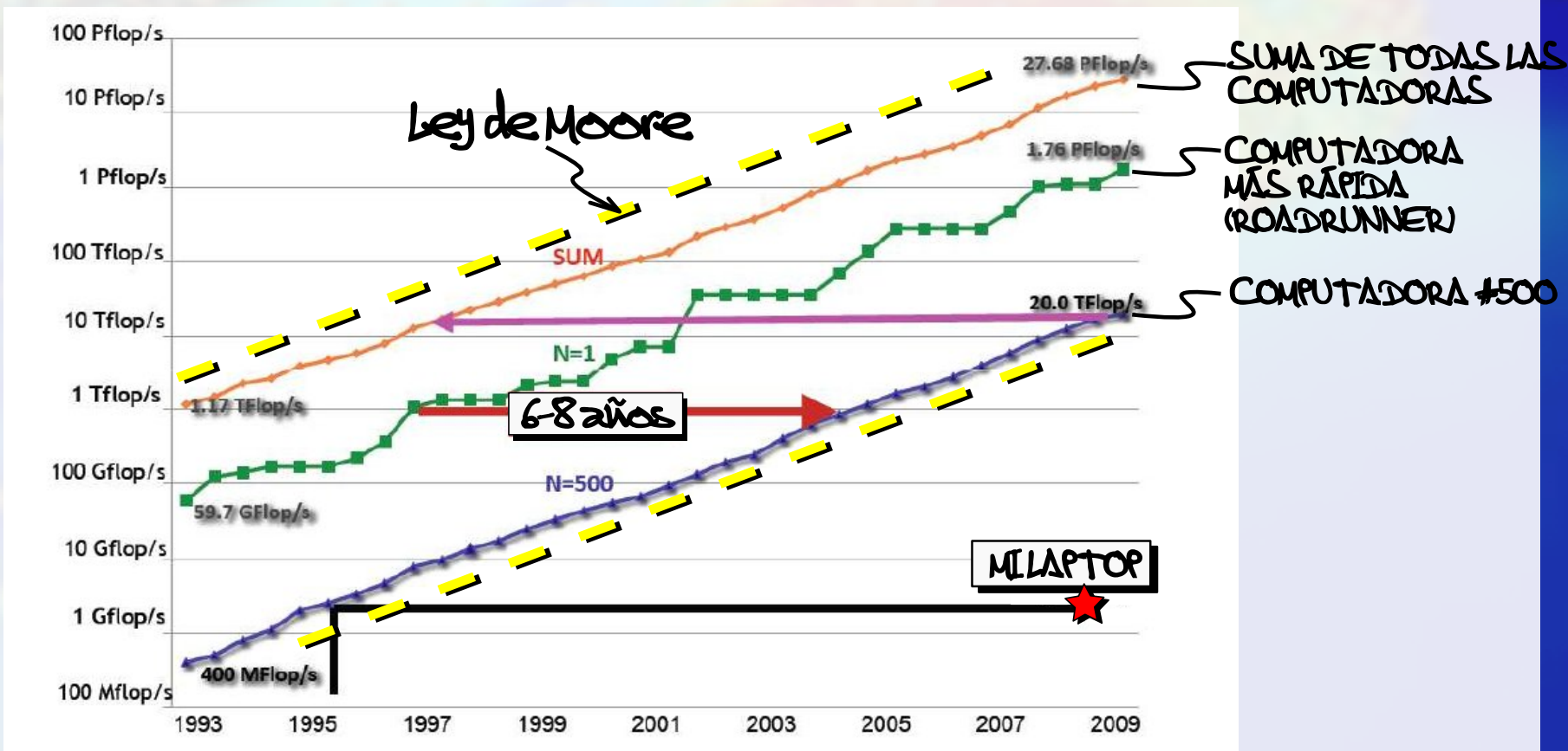
Típicamente para un problema con 1 millón de incógnitas se necesitan realizar 100 Gflop (1Gflop= 1000.000.000 de operaciones). En una PC de escritorio normal (5 Gflops), esto tardaría unos 20 segundos, pero esto hay que a su vez realizarlo miles de veces (por cada **cuadro del video**), de manera que estos cálculos tardan desde horas hasta semanas.

Ingredientes de la Mecánica Computacional

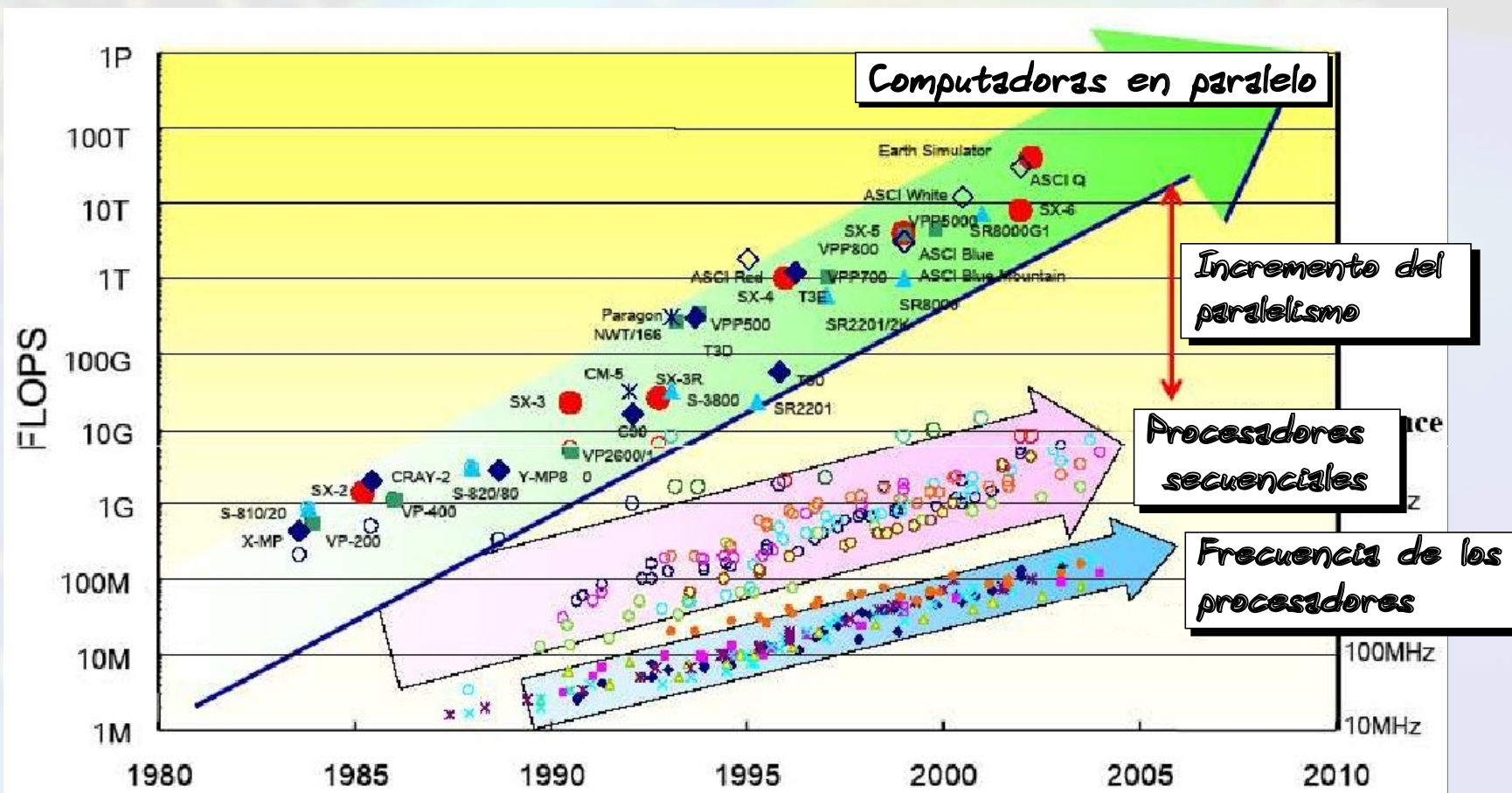


Evolución de las supercomputadoras

Ley de Moore: la potencia de las computadoras se **duplica** cada año.

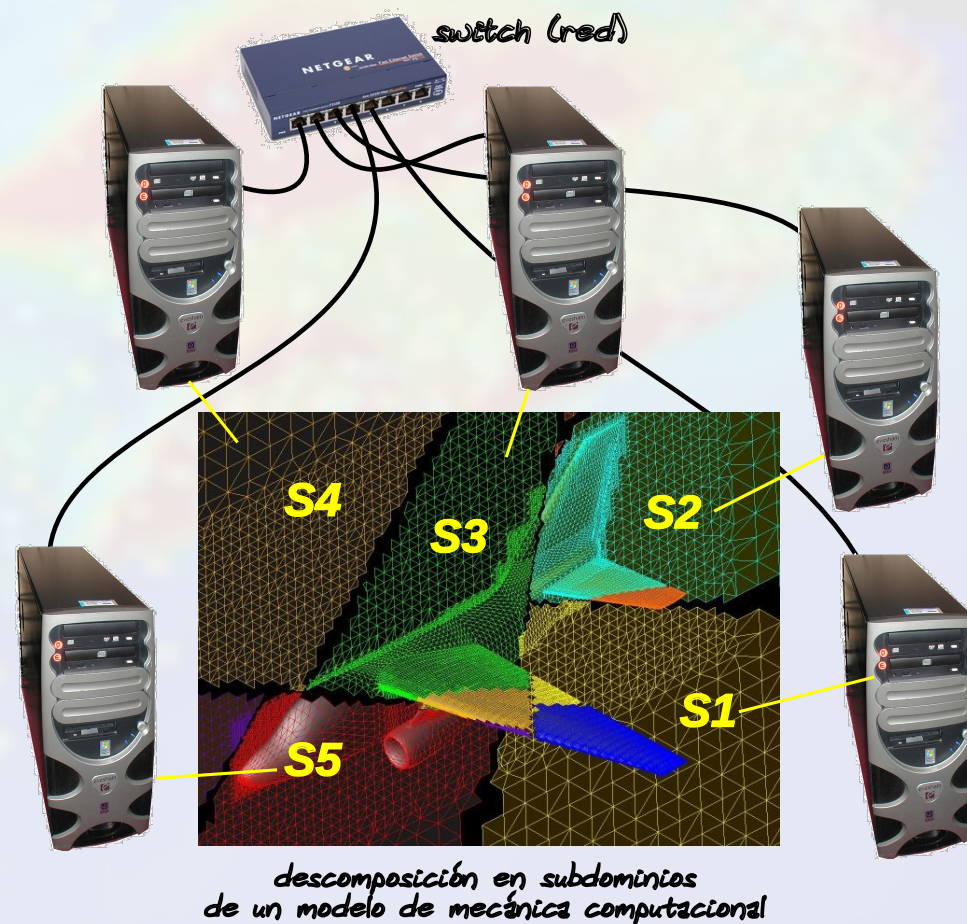


Necesidad de paralelismo



Paralelismo por descomposición de dominio

- Una forma de usar la potencia de varias computadoras para resolver más rápido un problema es dividir la región en **subdominios** más pequeños y procesar cada uno en una computadora.
- Las computadoras cuyos subdominios se tocan deben intercambiar información. Esto se hace a través del **hardware** (equipamiento) de red.



El proyecto Beowulf

- Las supercomputadoras eran equipamiento muy caro, utilizado sólo en los grandes laboratorios.
- El proyecto **Beowulf** del **Goddard Flight Space Center** de la NASA desarrolló el **know-how** necesario para contruir supercomputadoras con equipamiento de bajo costo (COTS). Los componentes principales son:
 - Equipamiento informático de bajo costo (COTS). PC's y red Ethernet (100 Mbs o 1 Gbs).
 - Sistemas operativos abiertos (Linux,BSD)
 - Librerías de paso de mensajes (PVM, MPI)



El héroe legendario Beowulf acabando con el monstruo Grendel



Primer cluster Beowulf construido en el laboratorio Goddard de la NASA

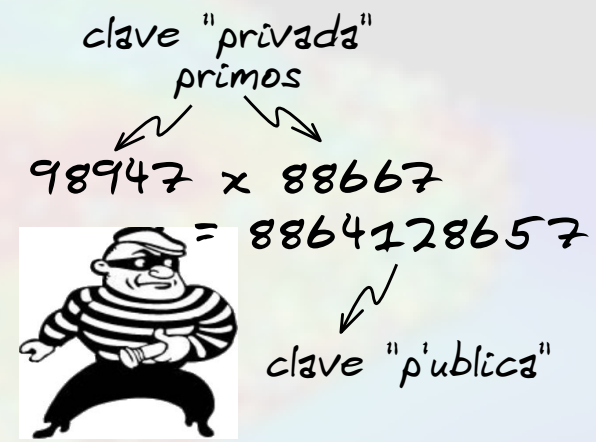
Procesamiento en paralelo masivo, SETI@HOME

- El proyecto **SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence)** se basa en procesar ondas de radio con radio telescopios en la búsqueda de **civilizaciones extraterrestres**.
- El cuello de botella es el **procesamiento** de la señal, que demanda mucho tiempo de cómputo.
- **SETI@Home** permite que usuarios apoyen al proyecto corriendo en sus computadoras hogareñas una aplicación que utiliza la **potencia de cálculo ociosa** de la máquina para procesar las señales.
- Es un ejemplo de **computación distribuida voluntaria**.

The image shows a collage of visual elements related to SETI@Home. At the top left is a movie poster for 'CONTACT' starring Jodie Foster and Matthew McConaughey, with the tagline 'A message from deep space. Who will be the first to go? A journey to the heart of the universe.' To the right of the poster is a photograph of a radio telescope structure. Below the poster is a close-up of a woman's face, likely Jodie Foster, looking at a screen. At the bottom is a screenshot of the SETI@Home Client software interface. The interface displays 'The Search for Extraterrestrial Intelligence at HOME' and includes sections for 'Data Analysis' (showing progress bars for Fast Fourier Transform, Doppler drift rate, and Best Gaussian), 'Data Info' (providing coordinates, recording date, and source), and 'User Info' (showing the user name 'MpegMan86' and completion statistics). A 3D bar chart is visible at the bottom of the interface, and the SETI@HOME logo is in the bottom right corner.

RSA Factoring Challenge

- La criptografía actual se basa en **claves privadas y públicas**. La privada es un par de **números primos** mientras que la pública es el **producto** de ellas.
- La clave pública de un banco es conocida por todos, pero si alguien logra descubrir cuales son los dos primos que la forman, entonces puede **desencriptar** toda la información.
- Pero se puede demostrar que el **tiempo de cálculo** necesario para hacer esa factorización **crece muchísimo** con el número de dígitos de la clave pública.
- El RSA propuso una serie de desafíos. el RSA-129 fue **crackeado** en 1994 por un equipo que hacía **computación distribuida voluntaria** en 1600 computadoras hogareñas.



RSA-129 =

$$\begin{aligned}
 & 11438162575788886766923577 \\
 & 99761466120102182967212423 \\
 & 62562561842935706935245733 \\
 & 89783059712356395870505898 \\
 & 9075147599290026879543541 \\
 & = \\
 & 34905295108476509491478496 \\
 & 19903898133417764638493387 \\
 & 843990820577 \\
 & \times \\
 & 32769132993266709549961988 \\
 & 19083446141317764296799294 \\
 & 2539798288533
 \end{aligned}$$

Supercomputadoras en CIMEC

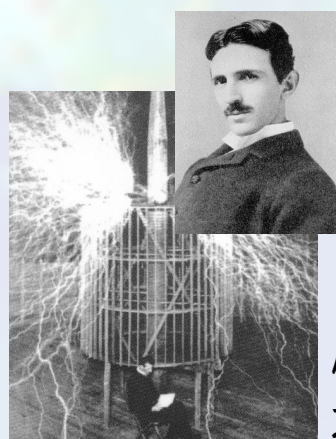
Todos:

- Sistema operativo: Red Hat Linux, Fedora Linux
- Sin disco duro (diskless) booteo por diskette o por PXE (Ware-Wulf/Perceus).
- Software instalado: MPI, PETSc, compiladores GNU, Intel, PETSc-FEM, Fluent, CFX.



GERONIMO. 1998
 10 x Pentium IV, 2.8 Ghz
 100 Mbs Ethernet
 10 Gflops

AQUILES, 2003
 PME 2003 ANPCYT.
 Consorcio de 5 grupos
 de INTEC y FICH-UNL.
 85xPentium IV, 3GHz,
 red Gigabit Ethernet



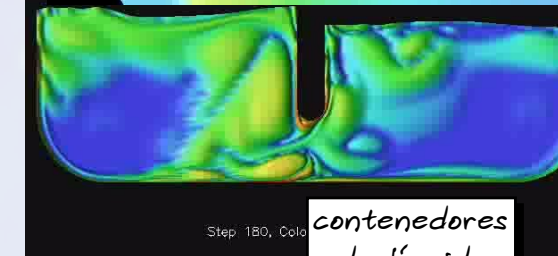
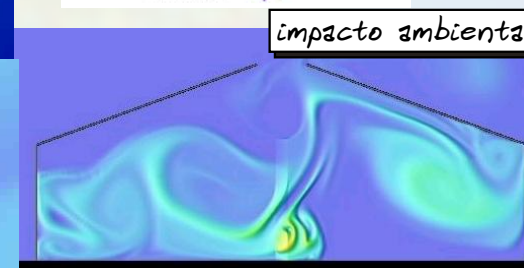
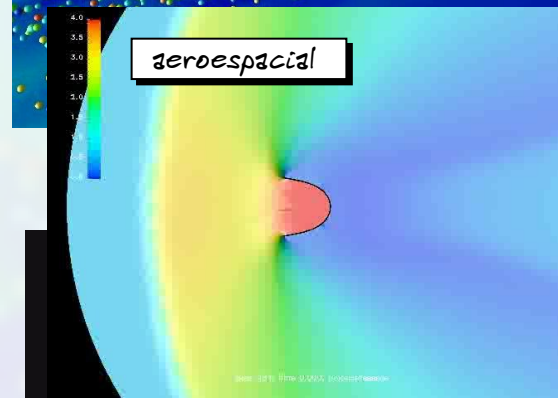
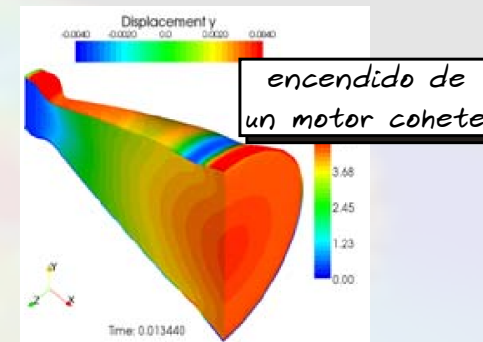
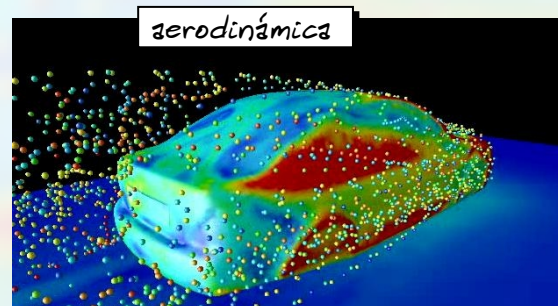
COYOTE, 2007, 8 nodos
 2 x Xeon E5420
 64 núcleos en total
 red Ethernet Gigabit



NIKOLA, 2010
 server Intel i7 950 @ 3.07GHz
 2 GPU's Nvidia Tesla C1060

PETSc-FEM

- Programa de Mecánica Computacional (Elementos Finitos) para resolver problemas de mecánica de fluidos.
- Desarrollado en el CIMEC.
- Usa procesamiento en paralelo (MPI/PETSc/OpenMP)
- Es software libre (<http://www.cimec.org.ar/petscfem>)



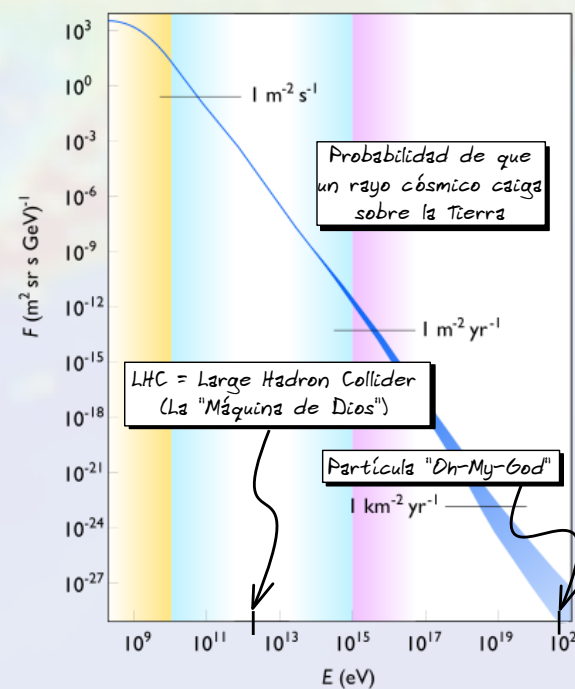
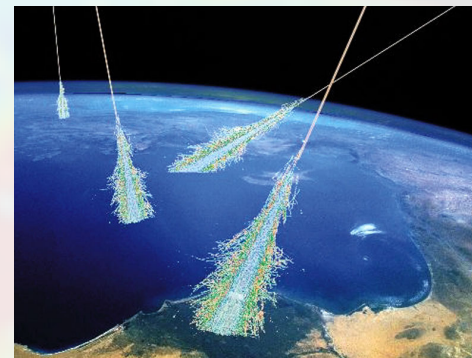
El problema térmico

- Un inconveniente importante en la operación de supercomputadoras es el **problema térmico**.
- Cada procesador puede disipar aprox. **100W**, esto puede hacer que haga falta **remover grandes cantidades de energía**.
- En el CIMEC: **potencia total de 30kW**. Tenemos instaladas **30.000 frigorías de refrigeración**. Sistema de **alarma** de temperatura con monitoreo. Sistema de **monitoreo por software** con notificación por e-mail.
- En general entre **250 y 750 Mflops/Watt**.
- PC de escritorio: 5 Gflops, 100W, **50 Mflops/Watt** (muy ineficiente).
- Jaguar: 7.5 MW (**250 Mflops/Watt**) (ineficiente)
- Forschungszentrum Juelich (FZj): posición 110 en **top500**, 42 Teraflops, 59kW, (**722 Mflops/Watt**) (muy eficiente térmicamente)



Confiabilidad

- Cuando una computadora procesa pueden producirse errores por **fallas de software y/o de hardware**.
- El **tiempo medio entre fallas (MTBF, Mean Time Between Failures)** por hardware para una computadora de escritorio puede estar en aprox. **MTBF=100 días**, es decir **una falla cada 100 días**.
- Una fuente de errores de hardware son los **rayos cósmicos**
- Cuando hay digamos **N=100** computadoras, entonces el MTBF del conjunto **baja en un factor 100**, es decir que tendremos un MTBF del conjunto de **una falla por día**.



Calculando "en tiempo real"

EL PAÍS.com | Ciencia Jueves, 29/4/2010, 02:23 h

[input type="text"/> buscar

Inicio | Internacional | España | Deportes | Economía | Tecnología | Cultura | Gente y TV | **Sociedad** | Opinión | Blogs | Participa | Educación | Salud

Ciencia | El Viajero | El País semanal | Domingo

AVANCE Consulta en PDF la portada

de EL PAÍS, edición nacional, del jueves 29 de abril

ELPAIS.com > Sociedad > Ciencia

ENTREVISTA: SERGIO IDELSOHN Especialista en dinámica de fluidos

"Encaramos el gran reto de la ingeniería"

Sergio Idelsohn, especialista en mecánica de fluidos, desarrolla sistemas de simulación informática que pueden servir para comprobar cómo se comporta un avión en vuelo o cómo navega un petrolero

JOAN CARLES AMBROJO - Barcelona - 17/02/2010

Vota ☆☆☆☆☆ Resultado ★★★★★ 53 votos

Sergio Idelsohn, especialista en mecánica de fluidos, acaba de obtener una beca de tres millones de euros del Consejo Europeo de Investigación (ERC) para desarrollar sistemas de simulación informática que puedan realizar cálculos en tiempo real. Este investigador ICREA en el Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería (CIMNE) de la UPC en Barcelona, de origen argentino, maneja técnicas que sirven para comprobar cómo se comporta un avión en vuelo o cómo navega un petrolero. La Armada de Estados Unidos utiliza sus técnicas en uno de sus proyectos.

A los 62 años, Idelsohn nunca deja de pensar. Llega a la entrevista con una hoja rebotante de ecuaciones, fruto de la consulta de su jefe, Eugenio Oñate, con la almohada. Revisará el trabajo mientras pasea, su gran



Sergio Idelsohn muestra una de sus simulaciones en el Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería (UPC).-CARMEN SECANELLA

La noticia en otros webs

- webs en español
- en otros idiomas

Uso de GPU's en Mecánica Computacional

- Para el procesamiento gráfico en juegos y servidores para diseño gráfico y otras aplicaciones demandantes se utilizan **tarjetas aceleradoras (GPU = Graphic Processing Unit)**. Por ej. Nvidia GeForce, ATI Radeon, ...
- Estas placas tienen **muchos procesadores** (más de 100) y **su propia memoria RAM**(desde 512MB hasta varios GB).
- Su potencia de cálculo se estima en **1 Teraflops** (aprox 200 PC's).
- Desde hace un tiempo se viene estudiando la posibilidad de utilizar estas tarjetas **para realizar cálculos de utilidad en ingeniería**.
- Nuestro plan es utilizar estas GPU's dentro del proyecto de cálculo en Real Time de Sergio Idelsohn.

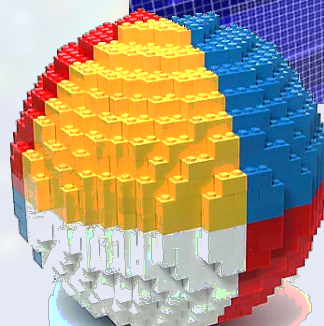


¿Rapidez o precisión?

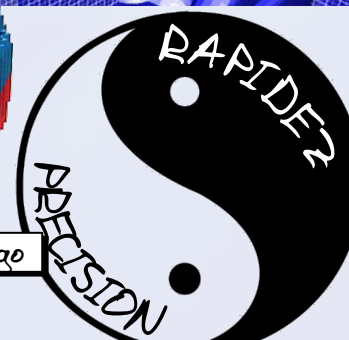
- Pero a veces querer obtener resultados **rápido** va en sentido contrario a la **precisión**.
- Por ejemplo los métodos que van muy rápido en GPU's se basan en usar mallas estructuradas, lo cual genera **superficies tipo Lego**.
- Estas superficies dan mucho error, por ejemplo al calcular la **resistencia al avance (drag)** de un vehículo aerodinámico, o el intercambio de calor.



Auto modelado con LBM

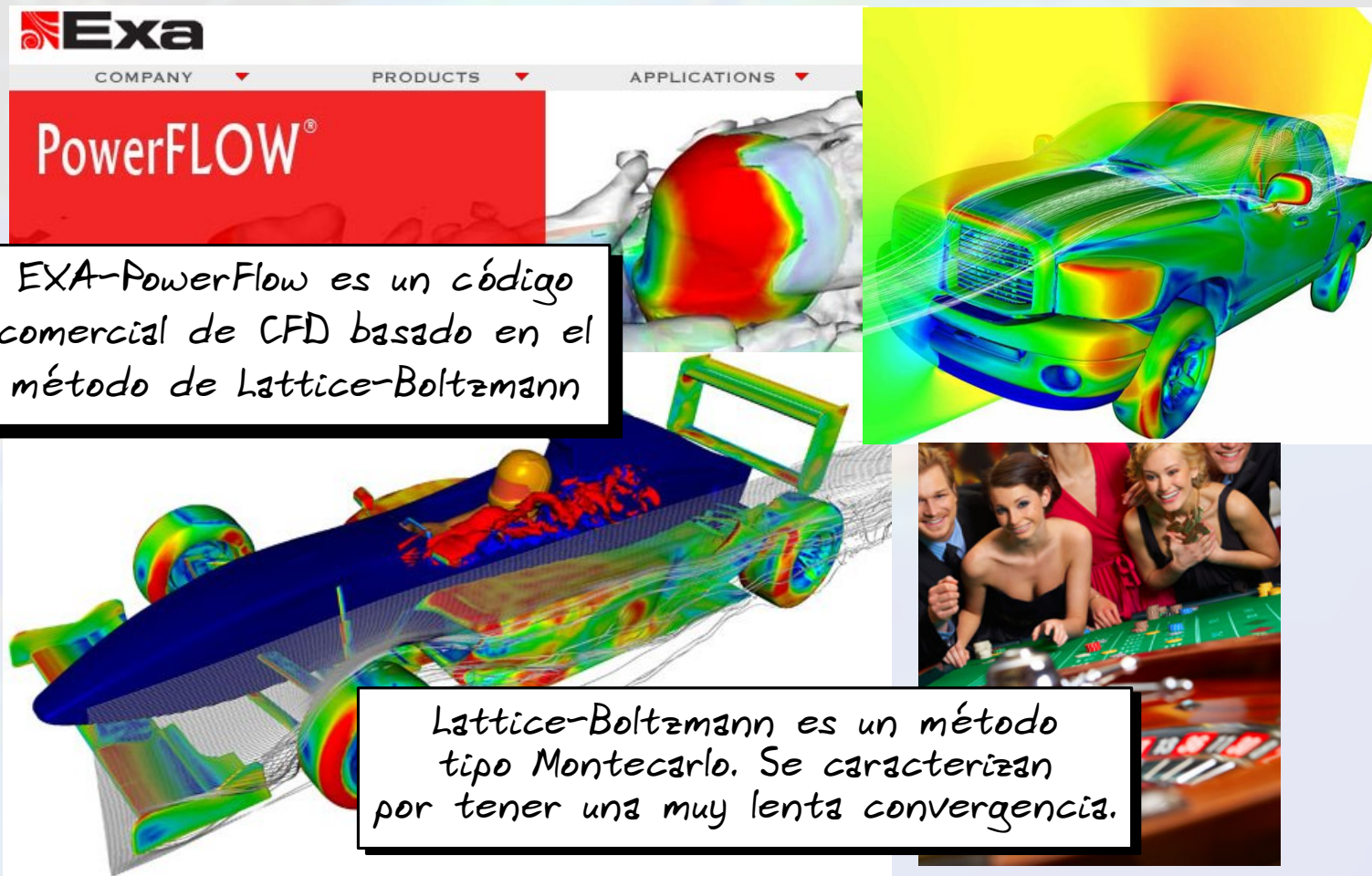


esfera hecha con Lego



El Yin-Yang de la Mecánica Computacional

¿Rapidez o precisión? (cont.)



The image is a composite graphic. At the top left is the Exa logo and a navigation menu with 'COMPANY', 'PRODUCTS', and 'APPLICATIONS'. Below this is a red banner with 'PowerFLOW®'. To the right is a 3D simulation of a car with a colorful flow field. Below the banner is a text box with handwritten text. At the bottom left is another 3D simulation of a car chassis. At the bottom right is a photograph of a roulette table with people playing.

EXA-PowerFlow es un código comercial de CFD basado en el método de Lattice-Boltzmann

Lattice-Boltzmann es un método tipo Montecarlo. Se caracterizan por tener una muy lenta convergencia.

Agradecimiento

Este trabajo ha recibido financiamiento de **Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas** (CONICET, Argentina, PIP 5271/05), **Universidad Nacional del Litoral** (UNL, Argentina, grants CAI+D 2005-10-64) y **Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica** (ANPCyT, Argentina, grants PICT PME 209/2003, PICT-1141/2007, PICT-1506/2006).

Hemos hecho uso de **Software Libre** (<http://www.gnu.org>) como GNU/Linux OS, MPI, PETSc, compiladores GCC/G++, Octave, Open-DX, VTK, Python, Git, entre otros. Además muchas ideas tomadas de estos paquetes nos han inspirado para escribir nuestras aplicaciones.