

Electromagnetismo y Supercomputación

Luis Landesa, José Manuel Taboada

Universidad de Extremadura,

Computación de Elevadas Prestaciones
Infraestructuras, casos de éxito y aplicaciones prácticas

Badajoz/Cáceres 19/20 de noviembre de 2009

Grupo HEMCUVE

Universidad de Extremadura

- Luis Landesa.
- José Manuel Taboada.
- Gloria Gajardo-Silva
- Javier Rivero
- Manuel Amaya

Universidad de Vigo

- Fernando Obelleiro.
- José Luis Rodríguez
- Marta Gómez
- José Manuel Bertolo
- Inés García-Tuñón

En colaboración con:

- Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)–*Finis Terrae*
- Centro Extremeño de Investigación, Innovación Tecnológica y Supercomputación (CenitS)–*Lusitania*

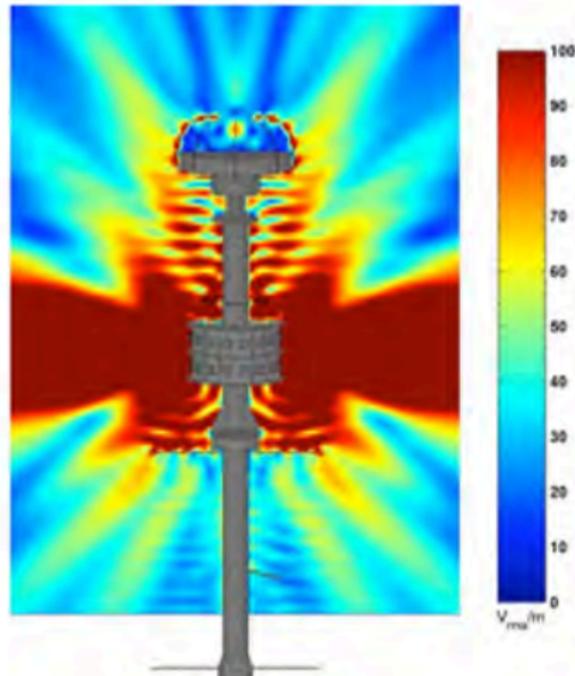
Principales objetivos

Estudio de interacciones electromagnéticas y sus fenómenos a través de la computación.

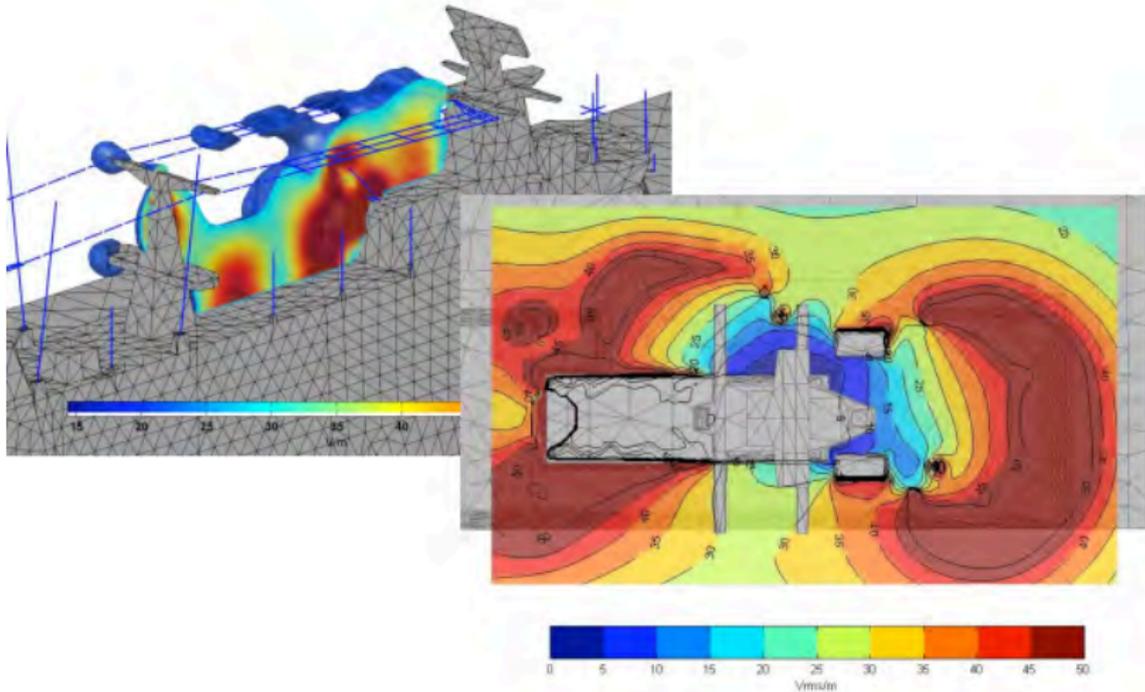
Interés

- Conocimiento *a priori* del comportamiento electromagnético
- Etapas de diseño de un proyecto de envergadura con fenómenos electromagnéticos

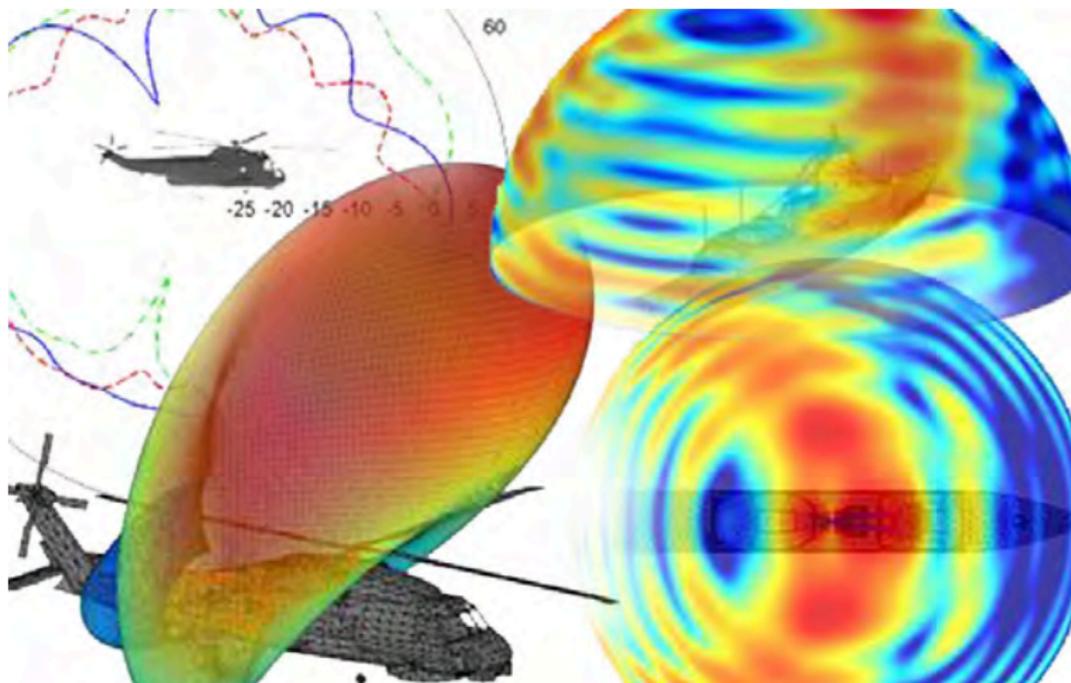
Compatibilidad Electromagnética (EMC) e interferencia electromagnética (EMI).



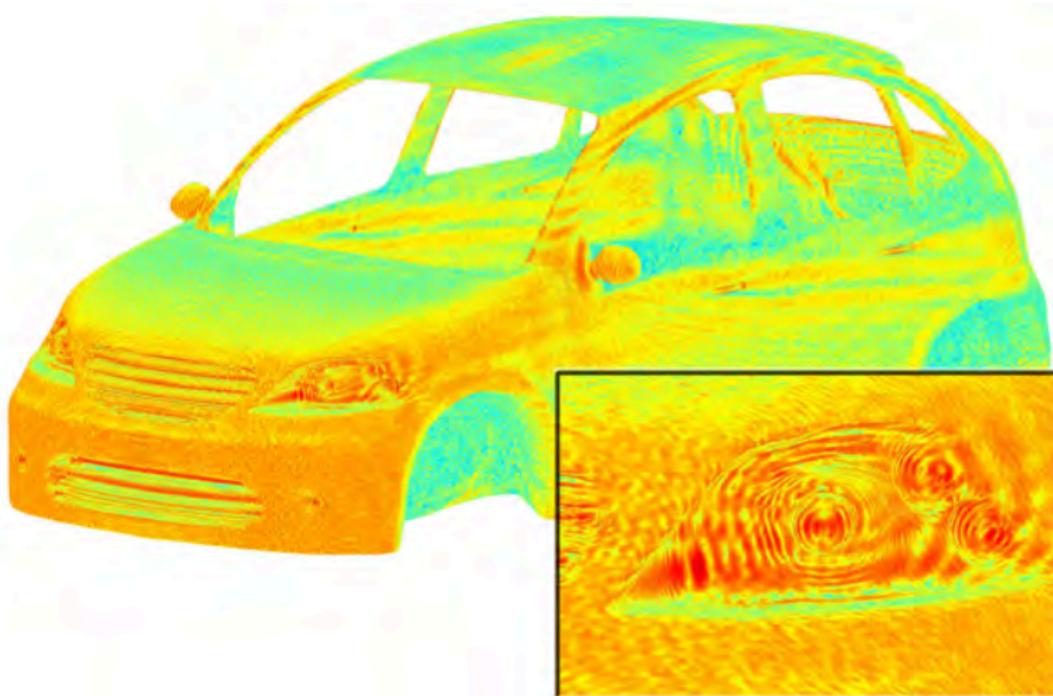
Niveles de exposición a las ondas electromagnéticas.



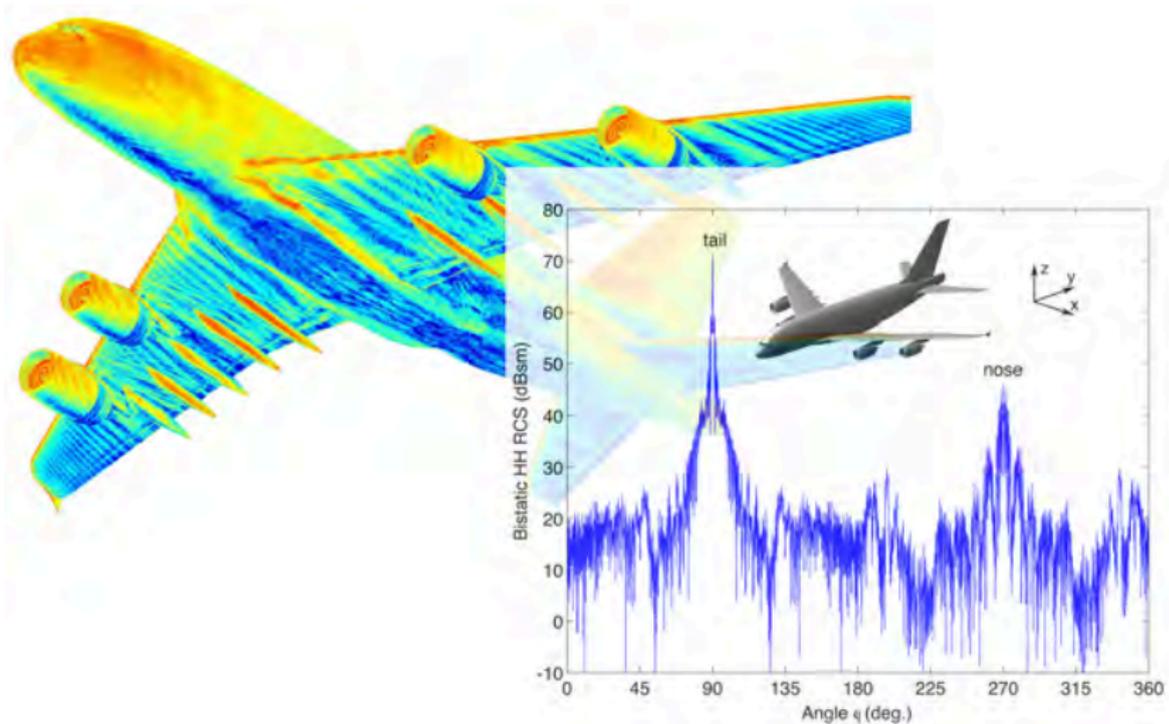
Análisis de estructuras radiantes (antenas).



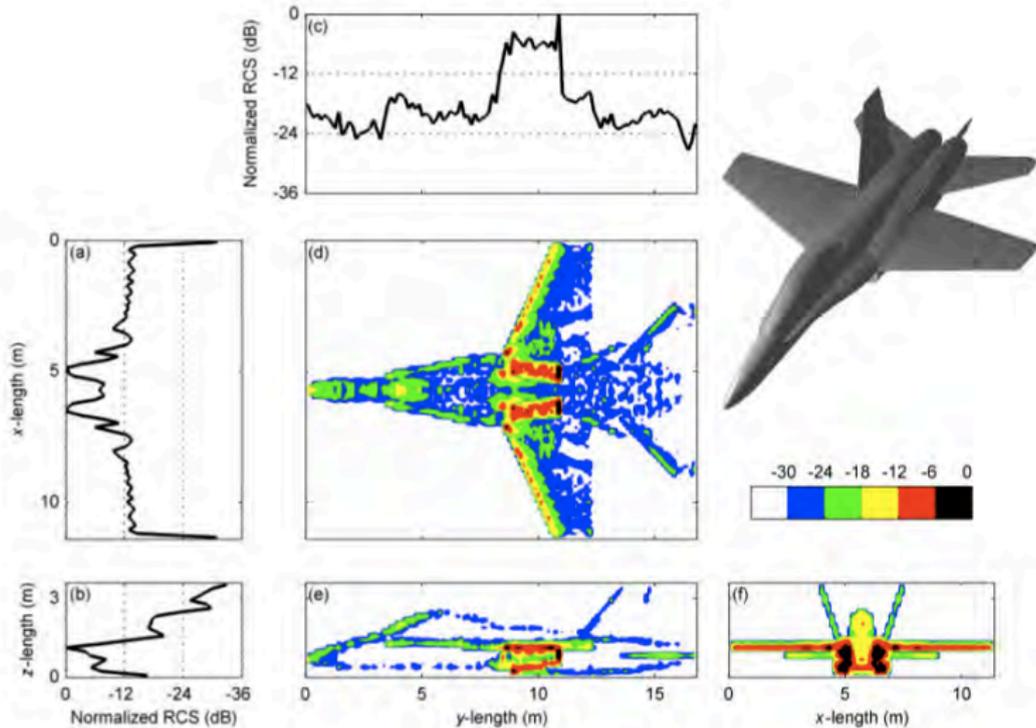
Radar cross section (RCS), *Sección radar*.



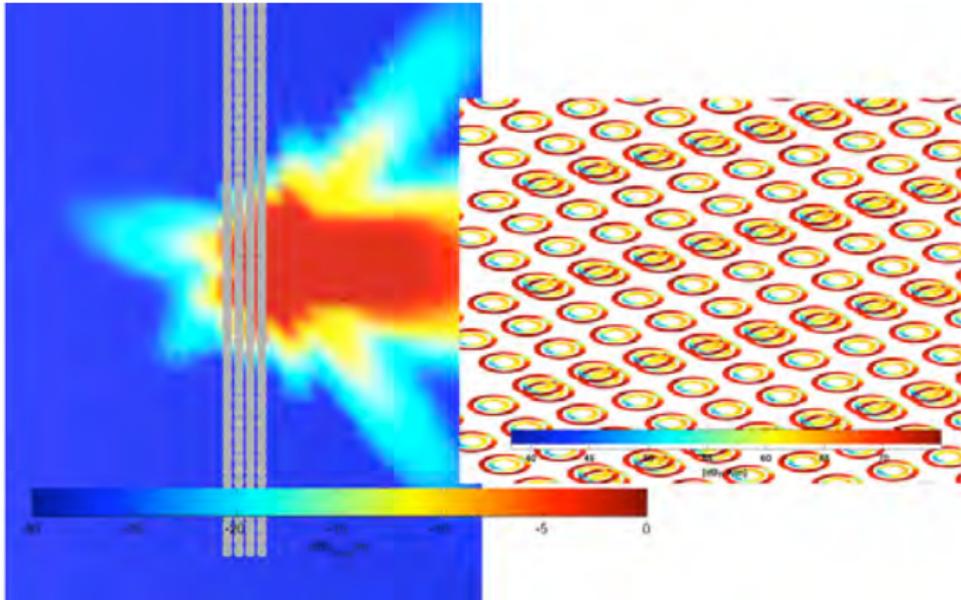
Radar cross section (RCS), *Sección radar.*



Predicción de imágenes radar (ISAR).



Materiales zurdos, *invisibilidad*.



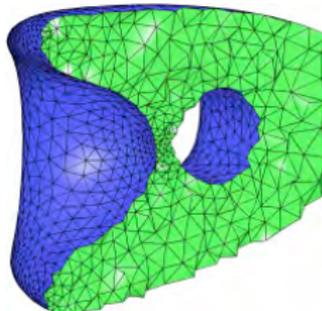
Otras aplicaciones...

- Efectos de la telefonía móvil en el cuerpo humano
- Procesado de imágenes médicas
- Radar de penetración terrestre.
- Electrónica de alta frecuencia

Principal inconveniente...

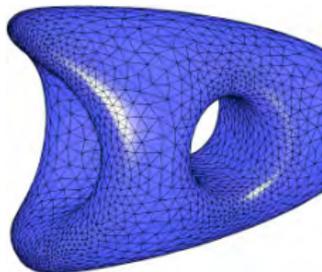
La solución rigurosa de problemas reales requiere computos que acarreen la solución de grandes sistemas de ecuaciones con **millones de incógnitas**.

Las dos vías



Soluciones volumétricas

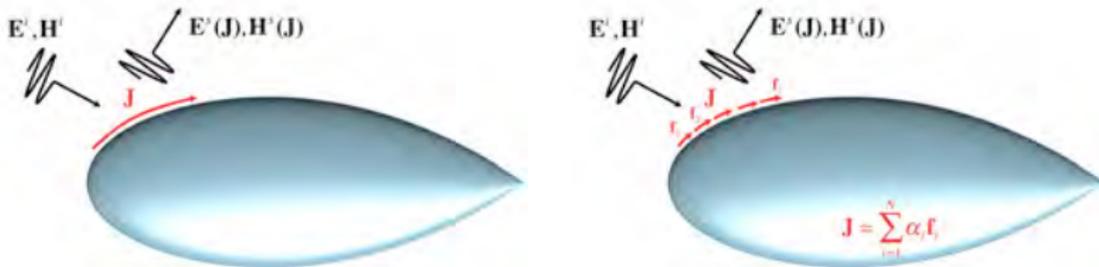
- Ecuaciones de Maxwell en forma diferencial
 - Dominio del tiempo, FDTD
 - Dominio de la frecuencia, Elementos Finitos (FEM)



Soluciones superficiales

- Ecuaciones de Maxwell en forma integral
 - Dominio del tiempo
 - **Dominio de la frecuencia**
 - Método de los momentos (MoM)

Método de los momentos



Solución de las ecuaciones de Maxwell en forma integral

$$\vec{E}_{tan}^i(\vec{r}) = jk\eta \iint_S \vec{J}_s(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') ds' - \frac{\eta}{jk} \nabla_s \iint_S [\nabla'_s \cdot \vec{J}_s(\vec{r}')] G(\vec{r}, \vec{r}') ds'$$

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}$$

Método de los momentos

Implementación

- Discretización mediante expansión de la corriente
- Solución matricial con matrices llenas
- Singularidades
- Núcleo altamente oscilante
- Desarrollo e implementación no trivial en problemas tridimensionales

Complejidad del Método de los Momentos

Linear matrix system

$$\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{V}$$

\mathbf{Z} es la matriz de impedancias de tamaño $N \times N$.

\mathbf{I} es la solución de expansión de corrientes de tamaño $N \times 1$

\mathbf{V} es un vector de tamaño $N \times 1$ relacionado con la excitación o el campo electromagnético incidente

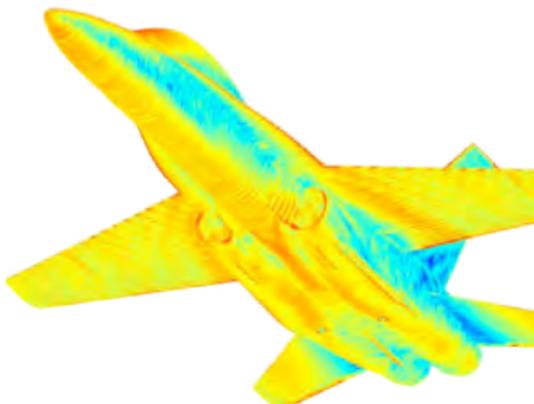
La solución a este sistema nos proporciona la solución al problema

Complejidad del Método de los momentos

Complejidad computacional

- Resolviendo $\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{V}$ por métodos directos:
 - $O(N^2)$ en memoria
 - $O(N^3)$ en tiempo de CPU
- Resolviendo $\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{V}$ por métodos iterativos:
 - $O(N^2)$ en memoria
 - $O(N^2)$ en tiempo de CPU

F-18 Radar Cross Section (RCS)



RCS Biestática a 1,2GHz

- Memoria: 6TB
- Tiempo de CPU:
 - SETUP: Varios años
 - Solución
 - Factorización: Varios años
 - Solución iterativa: Varios días

Fast Multipole Methods

Es posible obtener la solución incluso en un portátil en menos de un día.

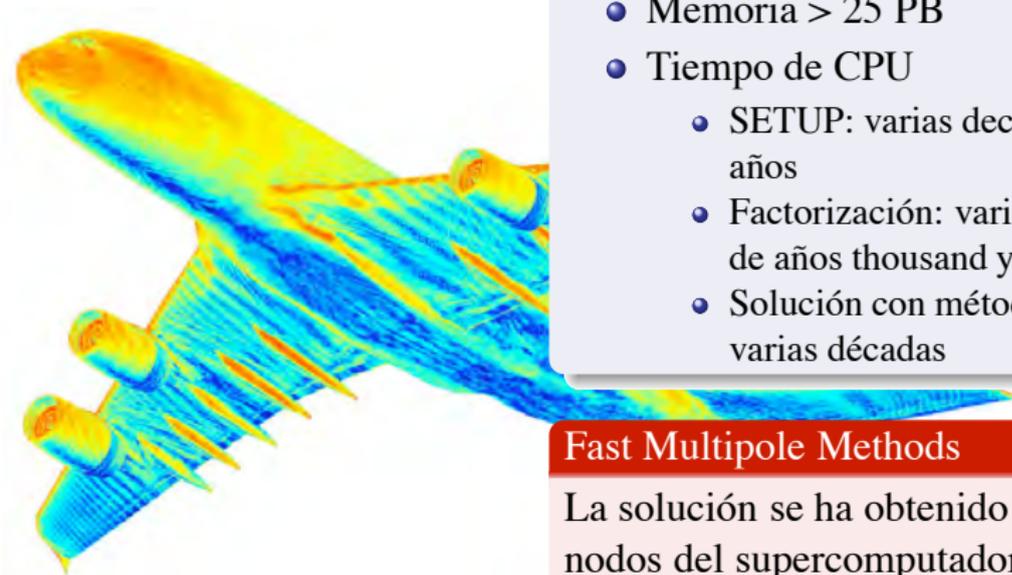
Airbus-380 RCS a 1,2 GHz

RCS Biestática a 1,2GHz

- Memoria > 25 PB
- Tiempo de CPU
 - SETUP: varias decenas de miles de años
 - Factorización: varias decenas de miles de años thousand years
 - Solución con métodos iterativos: varias décadas

Fast Multipole Methods

La solución se ha obtenido utilizando con 8 nodos del supercomputador Finis Terrae.

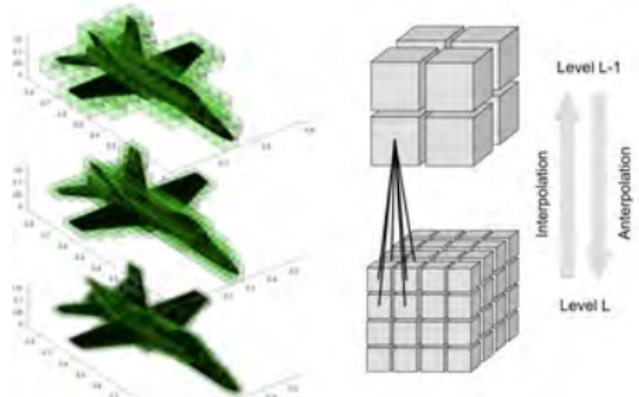
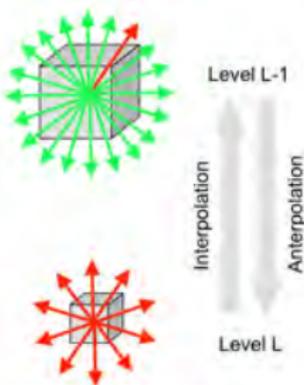
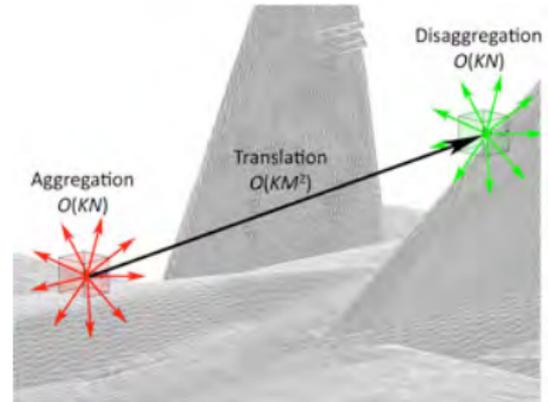
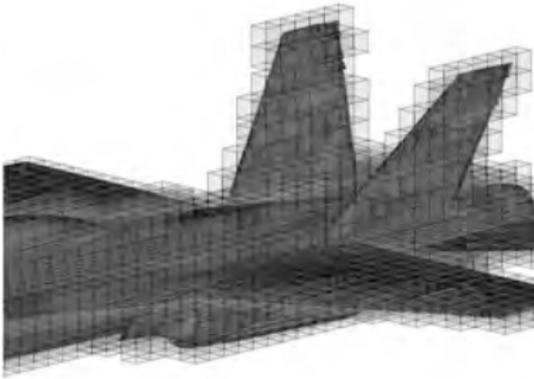


Fast Multipole Methods

- Proporciona una forma acelerada de obtener los productos matriz vector del sistema iterativo.
- Utiliza propiedades de reducción de complejidad en las interacciones superficiales débiles
- Permite una estructura multinivel que reduce la complejidad de forma recursiva
- Se reduce la complejidad computacional en términos de CPU y memoria
- Sin embargo aumenta la complejidad de su implementación

Destacado como uno de los 10 avances más significativos en computación del siglo XX.

Fast Multipole Methods



Importancia de la paralelización

- Crecimiento de los recursos de HPC en la última década
- Disponibilidad de grandes supercomputadores.
- Estrategias distintas de paralelización, **pero** las propiedades de escalado intrínsecas de los algoritmos seleccionados son de gran importancia.

Elementos en la paralelización

Escalabilidad

Habilidad del código/ algoritmo de poder usar los recursos de grandes supercomputadores.

Elementos a tener en cuenta

- Balance de carga.
- Huella de memoria.
- Localidad de los datos.
- Requerimientos de comunicaciones.

Paralelización del MLFMA

Rodeado de Inconvenientes

- Carga muy desbalanceada.
- Huella de memoria muy alta.
- Necesidad de comunicar grandes cantidades de datos.

Baja escalabilidad

No se ha podido realizar códigos que escalen a más de 32 procesos en paralelo.

Línea de trabajo del grupo HEMCUVE: Aumentar la escalabilidad

Compromisos

- Aumentar la escalabilidad puede suponer aumentar la complejidad computacional
- **A veces puede ser beneficioso.**
 - Habilidad para el uso de grandes recursos

Varios métodos desarrollados por el grupo HEMCUVE

- Demostración de las propiedades de escalabilidad del FMM sin recursión
- Método FMM-FFT y FMM-FFT recursivo
- Método MLFMM-FFT. Complejidad incluso menor que el MLFMA

Detalles de las implementaciones (I)

HEMCUVE++

- Todos los algoritmos desarrollados se integran en el paquete HEMCUVE++.
- HEMCUVE++: Hierarchic Electromagnetic Code Universities of Vigo and Extremadura.

Programación paralela

- Memoria compartida: OpenMP.
- Memoria distribuida: Message Passing Interface (MPI).
- Memoria mixta: Hybrid MPI/OpenMP

Detalles de las implementaciones (II)

Lenguaje de programación

- HEMCUVE++ está realizado íntegramente en C++.
 - Uso de librerías de álgebra lineal (BLAS, Lapack) y rutinas FFT de la Intel Math Kernel Library (MKL).

Escalabilidad muy alta

HEMCUVE++ puede escalar mucho más allá de 1024 procesadores y acceder eficientemente a los recursos de los grandes supercomputadores, gracias a los métodos desarrollados por el grupo

Grandes hitos en electromagnetismo computacional

2003	USA	10M	UNIV. ILLINOIS
2007	TURKEY	30M	BILKENT UNIV.
2008	TURKEY	85M	BILKENT UNIV.
2008	SPAIN@cesga	33M	UEX/UVIGO
2008	SPAIN@cesga	150M	UEX/UVIGO
2008	TURKEY	205M	BILKENT UNIV.
2009	SPAIN@cesga	500M	UEX/UVIGO
2009	SPAIN@cenits	210M	UEX/UVIGO

Reconocimientos internacionales

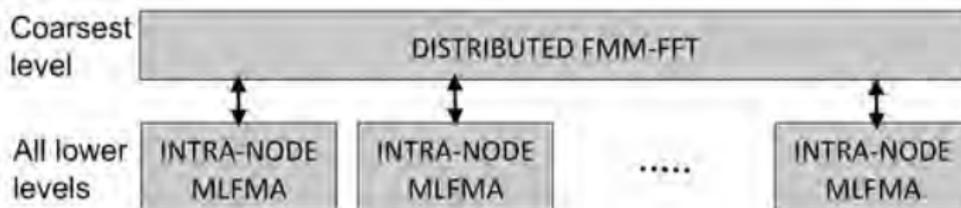


- Premio Europeo PRACE Award al mejor trabajo de supercomputación del año 2009
- Premio Internacional Itanium Innovation Award a la mejor aplicación de computación intensiva.

Siguiente hito

- Año: 2009 o 2010
- 1.000.000.000 incógnitas: ¿Cuándo? ¿Quién? ¿Dónde? ¿Cómo?
- Es una de las grandes expectativas internacionales del electromagnetismo.
- Las expectativas de conseguir llegar a esta cantidad utópica hace solo 2 años, están puestas en dos grupos: HEMCUVE y BILCEM.

Nuestra propuesta:



¿Cómo?

Pensando en paralelo...

- Punto de vista computacional
 - Jerarquización en memoria compartida y distribuida
 - Minimizando los problemas de escalabilidad
- Punto de vista científico
 - Desarrollo científico de métodos pensando en paralelo

¿Aún más?

Pensando en paralelo... y pensando en tareas

Posibilidades de la integración de GPU's en los supercomputadores de los próximos años