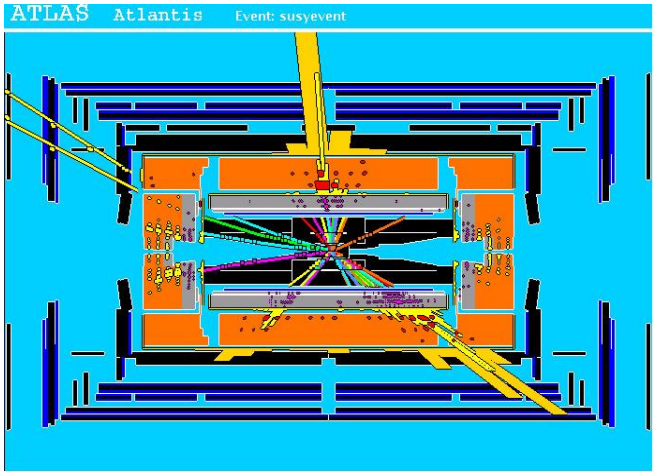
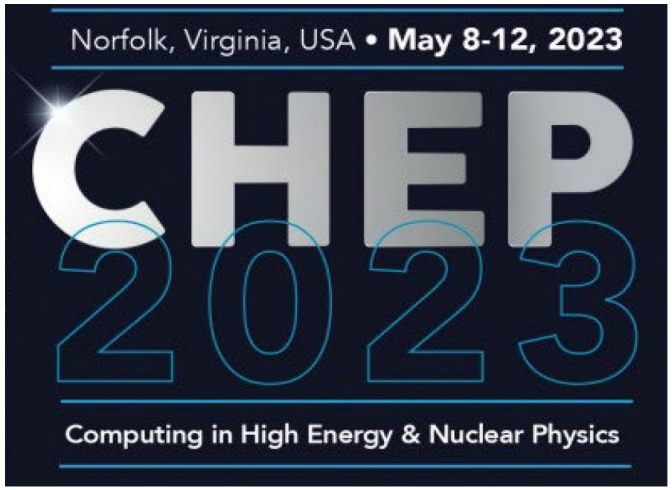
Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Educación, Universidades y Empleo
GVANEXT Fondos Next Generation en la Comunitat Valenciana

# La Computación (¡ y el software !) en la era del LHC




IFIC INSTITUT DE FÍSICA CORPUSCULAR

EXCELENCIA SEVERO OCHOA

Dr. José F. SALT CAIROLS

**Profesor de Investigación CSIC**

**Instituto de Física Corpuscular**

***(Jose.Salt@ific.uv.es)***

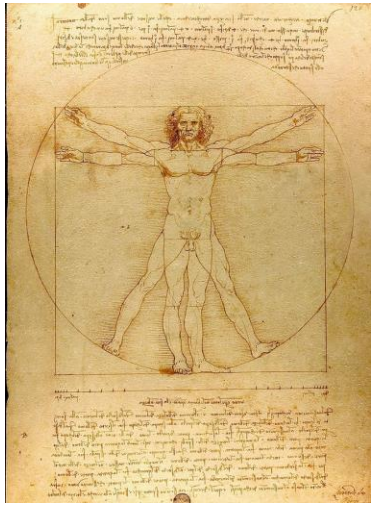
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
CSIC
VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

# Contenido

1) **Introducción: Física y Computing**
   **=> Un poco de historia**
2) **El Problema de la Computación y los Datos en el LHC**
3) **La Solución al problema: las Tecnologías GRID**
4) **El Modelo (Dinámico) de Computación de ATLAS**
5) **El Tier-2 Español de ATLAS**
6) **El GRID y el Higgs**
7) **Retos de Computación en el futuro.**
8) **Mensajes a retener/Conclusiones**

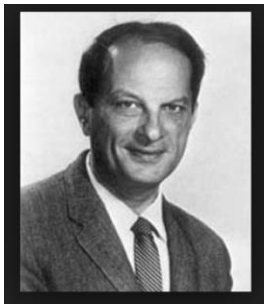
# 1- Introducción: Física y Computing

- **Físico Experimental (perfil amplio de un físico)**
  - Hardware,
  - constructor de detectores, R&D
  - Calibración, Performance, Análisis de datos de los detectores
  - Software
  - Análisis de datos (Physics Analysis) y su interpretación
  - Especialista en MC /Simulación
  - Computing
  - ….



- **La computación:** La tecnologías de la Información y las comunicaciones son pieza fundamental en muchas actividades. En la Ciencia su papel es esencial para la obtención de resultados

# El origen (?)

- Física y Computación: confluyen en los años 30 y 40 del pasado siglo
- Un aspecto muy importante: la aparición de las Técnicas de Simulación (Monte Carlo) a partir de la concentración de científicos en Los Álamos cálculo de secciones eficaces, etc
-  Modelo Matemático de Implosión 

*John Von Neumann* *Stanislaw Ulam*

- Los físicos y matemáticos pioneros y visionarios:
  - Von Neuman, Ulam, Metropoli--- Fermi, Wigner, …

*Nicholas Metropolis*

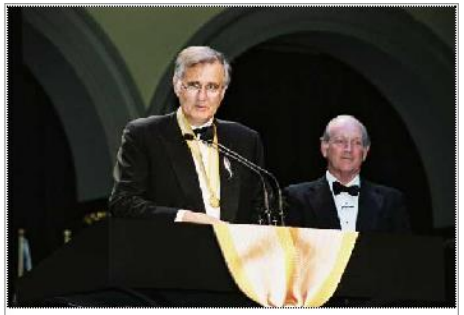
*E. Fermi*

*R.P. Feynmann*

- Feynmann y la Informática Cuántica*:*
  - Charla en 1981, 'Simulating Physics with Computers' -> Propone el uso de fenómenos cuánticos para realizar cálculos computacionales (dada la naturaleza de complejidad de los cálculos)- Ordenador Cuántico

# Evolución Computing Distribuido

- **Agregación** de recursos:
  - Sistema SHIFT (“granjas” RISC Unix, L.Robertson, CERN)
  - Clusters de PCs (Sistemas Beowulf, “fábricas” de PC...)
- Recursos **distribuidos compartidos**:
  - Sistema Condor (M.Livny)
    - gestión de tiempo inactivo en sistemas Linux de la red local
  - Red Entropía, Programa SETI@home
  - Sistemas “Peer to Peer”
- Aparición de **la Web:**
  - 1989: primera propuesta, CERN, Tim Berners-Lee y Robert Cailliau
  - Primeros servidores web en laboratorios de Física europeos
  - 1991: un prototipo del sistema WWW suministrado para la comunidad de HEP

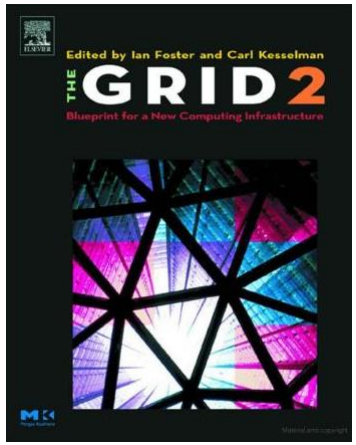


Les Robertson

SETI HOME
Needs your Help
Donate to SETI@home


Tim Berners-Lee  Robert Cailliau

- **1995: Supercomputing ’95**
  - Experiencia I-WAY: 17 centros USA conectados a 155Mbps
  - Primeras iniciativas Grid:
    - NASA Information Power Grid
    - Iniciativa de la NSF con los centros NCSA y SDC
    - Advanced Strategic Computing Initiative (DoE)
- **La era de las los clusters/granjas/fabricas de PCs**
  - Nodos con CPUs (duales)
  - Disco local + acceso a servidores (NFS-NAS, AFS)
  - Limitación:
    - Ínterconexión de red: Gigabit casi popular, pero Latencia baja requiere Myrinet o similar, solución mas costosa
    - Perfectos para HTC (High Throughput Computing)
    - Las aplicaciones HPC (High Performance Computing) necesitan adaptarse:
      - La memoria no está compartida
      - Las herramientas: PVM, MPI
    - Instalación y control: funciona bien para cientos de ordenadores “homogeneos”




*La ‘Biblia’ del GRID*

*‘Granjas’ de ordenadores*

- **... Y además de forma distribuida mediante la conexión de clusters**
  - Gracias a la interconexión de la Red
  - Llegar a obtener la sensación de que trabajamos con un Superordenador formado por varios clusters de ordenadores ( Metacomputación)

# 2- El Problema de la Computación y los Datos en el LHC


***Almacenamiento-***

*Ratio de registro de datos 0.1 - 1 GBytes/sec*

*Acumulando a 10-15 PetaBytes/año*

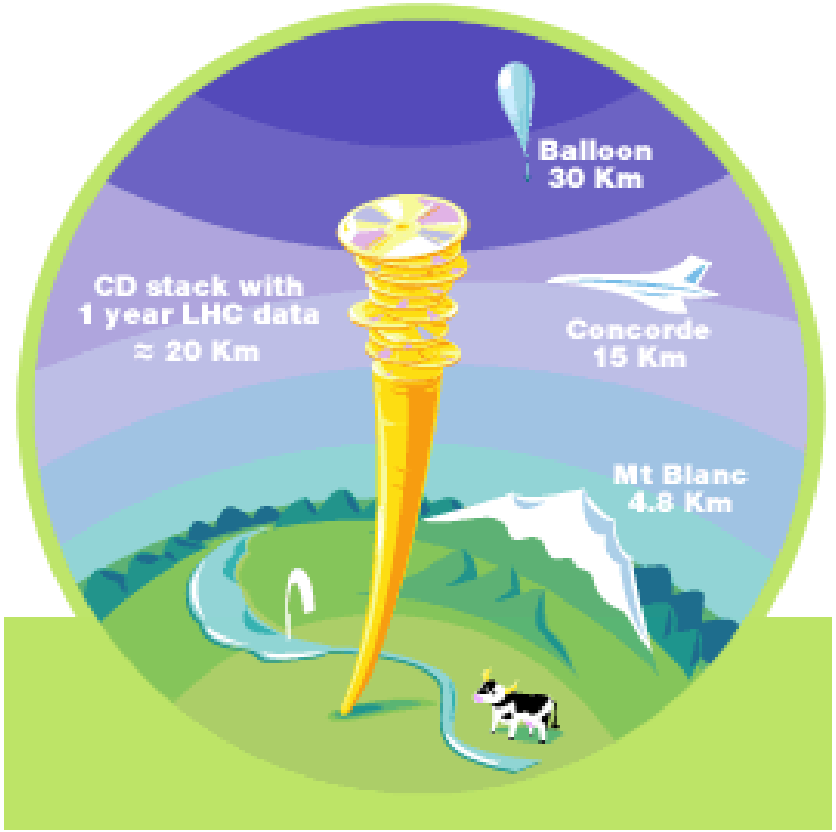
*15 PetaBytes de disco*

***Procesamiento***

*100,000 de los PC's más rápidos actuales*

•La infraestructura computacional del CERN NO era suficiente para procesar todos los datos

- Se necesitaba un sistema 'robusto': que haya redundancia, sin 'únicos puntos de fallo'




Los 4 experimentos del LHC:
Europa: 267 institutos, 4603 usuarios
Resto mundo: 208 institutos, 1632 usuarios

Tecnologías Computación GRID

# 3.- La Solución al Problema: las Tecnologías GRID

## ¿Qué es la Computación GRID?

- **Definición:** la computación GRID es una evolución de la computación distribuida: su base está en tecnologías que permiten a las organizaciones compartir recursos informáticos para hacer frente a diferentes tipos de necesidades . En general, dichos recursos están dispersos geográficamente y conectados por Internet pero dicha red proporciona la impresión de estar trabajando con un único sistema informático virtual

- **intenta resolver problemas actuales de la Sociedad de la Información:**
  - Acceso rápido a bases de datos/almacenamiento...
  - Proporcionar su procesamiento y análisis utilizando potencia de cálculo distribuida y potentes facilidades de visualización...
  - Mediante la utilización de la red (Internet)

# Las Tecnologías de la Información nos ayudan a 'buscar una aguja en un pajar'

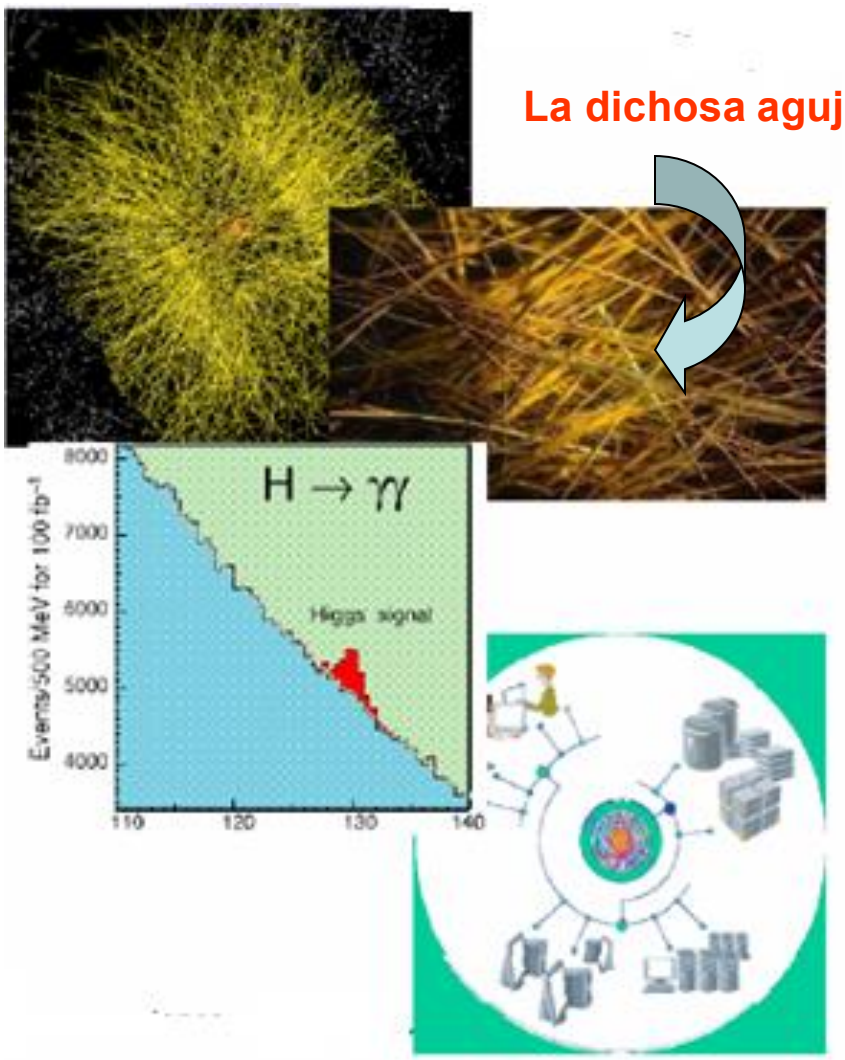
- La Señal es extremadamente baja (1 sobre 10 billones de colisiones)
- Volumen de datos:
  - (Frecuencia alta) *(gran número de canales) * (4 experimentos) =

  15 PB de nuevos datos/año
- Potencia de cálculo:
  - (Complejidad de sucesos) * (número de sucesos) *( miles de usuarios)=

  100 K de los CPUs más rápidos actuales

  45 PB de almacenamiento de disco

  (Simulación +Análisis)
- Análisis y financiación mundial:
  - Financiación local de recursos de computación en los principales países y regiones



# Simil del GRID Computacional con la Red Eléctrica

## Red Eléctrica

- Plantas de producción de electricidad

- Distribución jerárquica del flujo eléctrico

Subestación Eléctrica

- Tendidos eléctricos

- Usuario final: acceso a las prestaciones de la electricidad

## • GRID Computacional

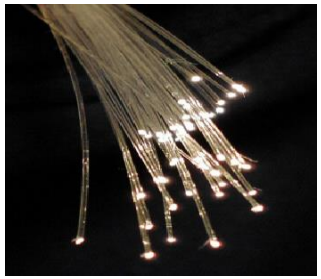
- Grandes centros de almacenamiento de datos/potencia de cálculo

(Supercomputador/GranCentro de Cálculo)

- Distribución jerárquica

(Centros de cálculo medianos)

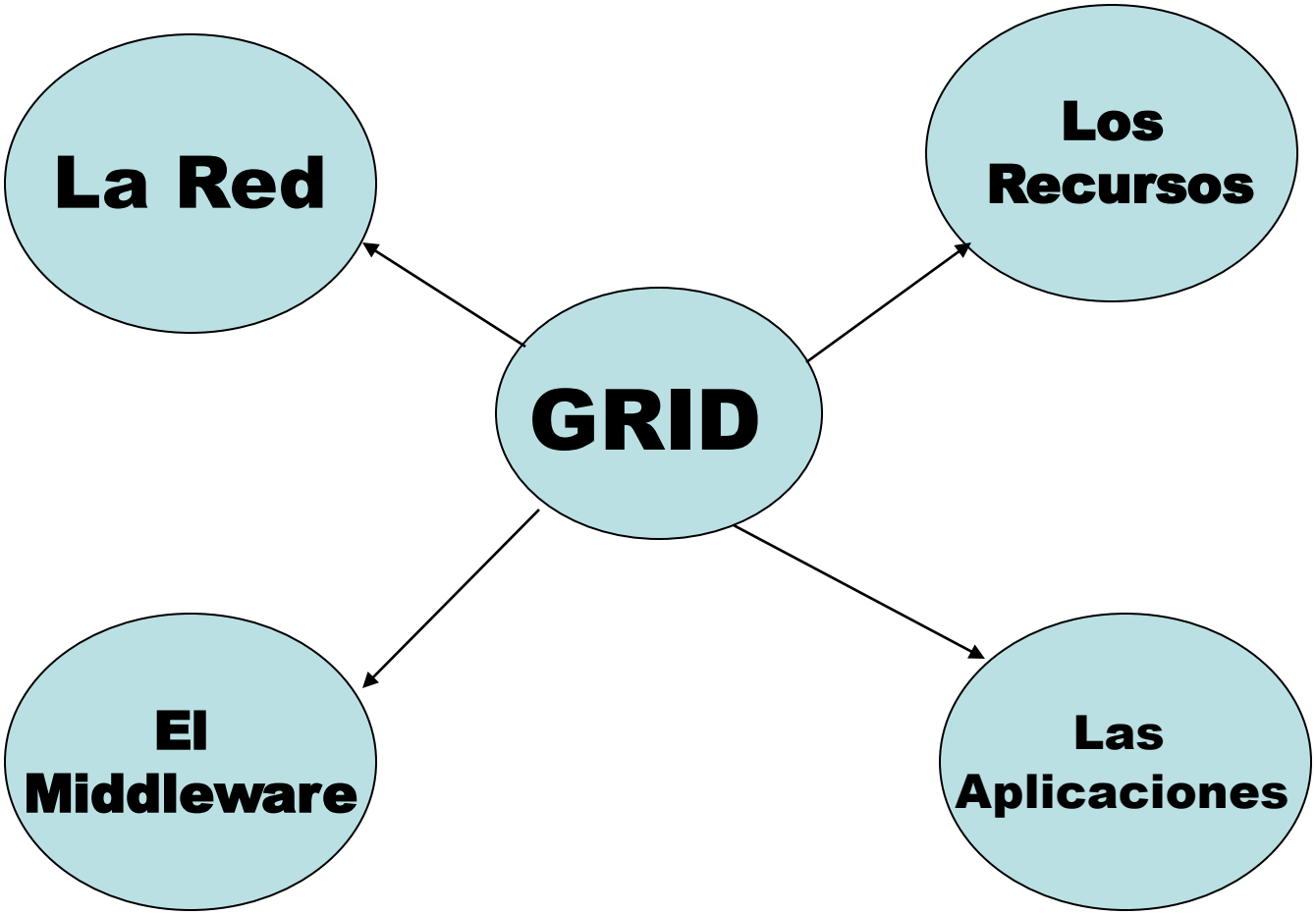
- Red Internet



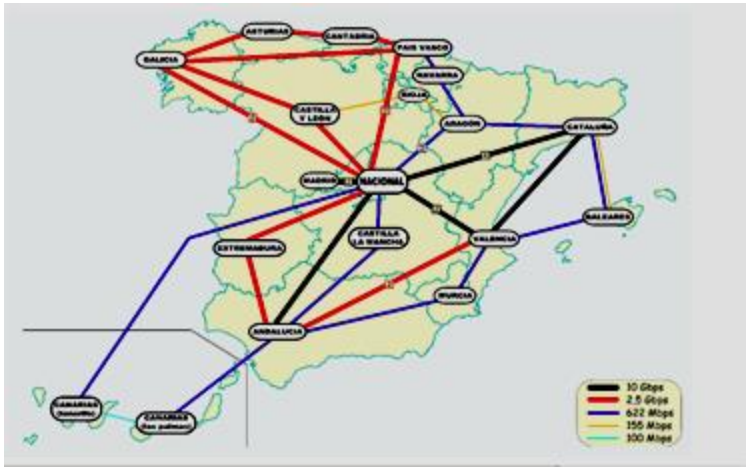
Ramo de fibras ópticas

- Usuario Final: acceso a las prestaciones informáticas

# Ingredientes fundamentales del GRID

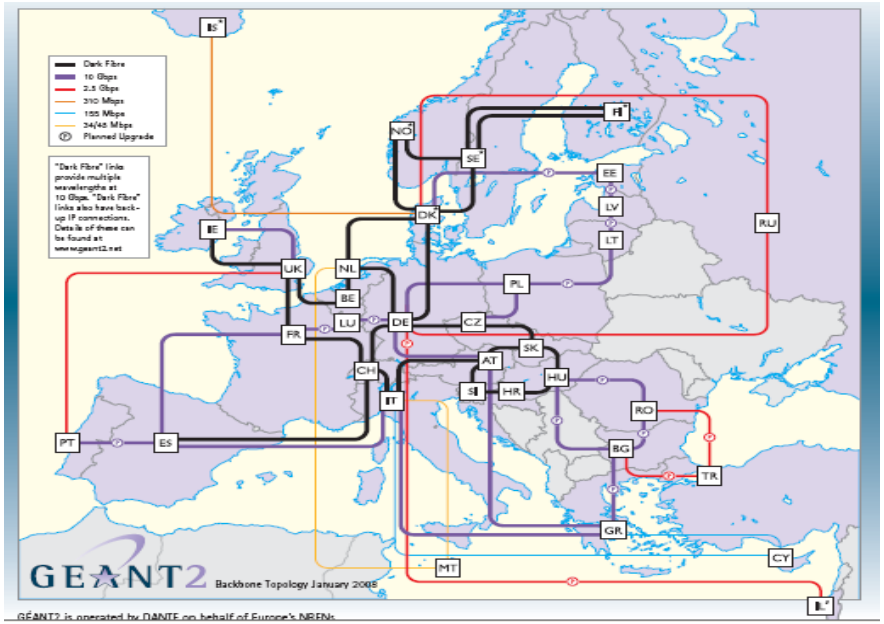


# La Red: las autopistas de la Información



*Mapa de la Infraestructura de la Red en España (RedIris)*

- El GRID no podría desarrollarse sin una Red apropiada.
- Responsable de asegurar los recursos que forman el GRID
- Comunicación
  - Protocolos de Internet: IP, DNS, routing, etc.
- Gran esfuerzo a nivel Europeo (DANTE y NRENs) y Español (RedIris)
- Constituyen *las Autopistas de la Información*




*La RED Académica y de Investigación Pan-europea*

# Los recursos: Las Infraestructuras

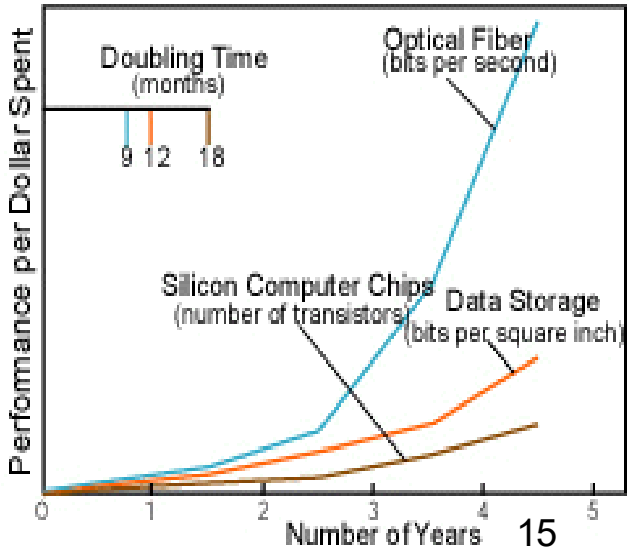
## Evolución tecnológica

- Hardware
  - Procesadores...cumplen la ley de Moore: se duplica cada 16-18 meses !
  - Nodos de computación:
    - PCs y portátiles, Estaciones, Servidores, Clusters, Blades
  - Almacenamiento: se duplica cada 12 meses !!
- Mejora de la Red:
  - la capacidad de la red se duplica cada 9 meses !!
  - 10 GB ethernet

- Coste tiene en cuenta muchos factores:
  - Espacio, alimentación eléctrica, mantenimiento

- Tendencia al 'Commodity Computing': adquisición de sistemas de diferentes compañías (vendedores), incorporan componentes basados en standards 'abiertos'


Gordon Moore



## ¿Qué es el Middleware?

- es un software de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogeneas.

- nos abstrae de la complejidad y heterogeneidad de las redes de comunicaciones subyacentes, de los sistemas operativos y lenguajes de programación,

- Finalidad: 'virtualizar' los recursos de computación'

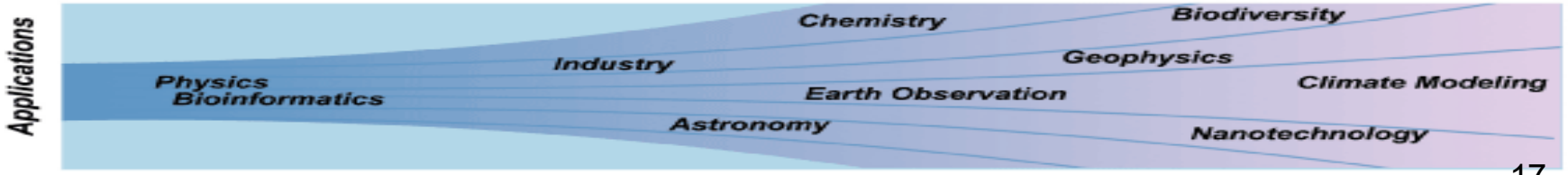
# Las Aplicaciones

- **Algunas disciplinas científicas se han organizado durante las décadas pasadas en grandes colaboraciones científicas que agrupan una gran cantidad de científicos al ser la única manera de alcanzar logros de alto nivel que no sería viable con grupos de trabajo reducidos**

- **resolución de retos tecnológicos importantes (ejemplo: experimentos del LEP, Proyecto Genoma, etc)**

- **En aspectos computacionales y tecnologías de la información, se ha evolucionado y ha desembocado en el paradigma GRID.**

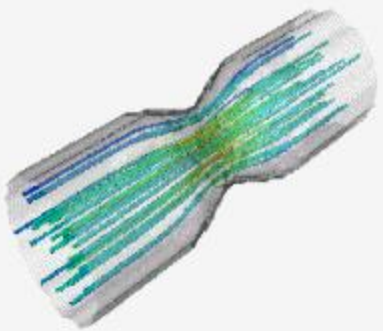
2005 2007 2008 2009 2010 2012 2014 2016 2018 2020 2023



# El GRID aplicado a enfermedades vasculares

- **Dos procedimientos: stent y bypass**
- **El cirujano se ayuda con imágenes 3D obtenidas con scanners CT y MRI**
- **Las simulaciones de una posible intervención ayuda a la toma de decisión por parte del médico**

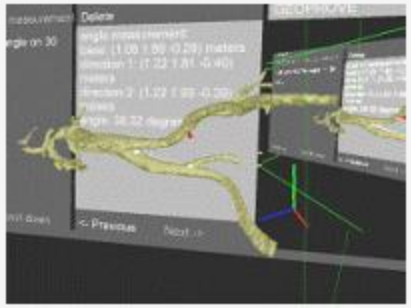
Simulated flows



**El GRID permite lanzar los cálculos pertinentes. Se utilizan los recursos de los centros que participan en el proyecto (CROSSGRID)**

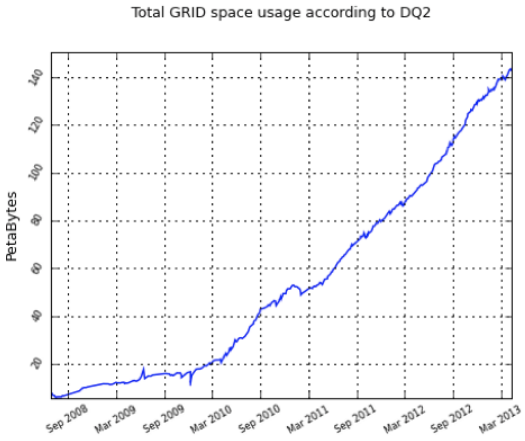
Stenosis or narrowing of an artery

Viewing the arterial structure in an immersive 3D environment



**Investigación coordinada por la Universidad de Amsterdam y con la colaboración del CSIC y de todos los centros de CROSSGRID**

# 4.- El Modelo Dinámico de Computación de ATLAS



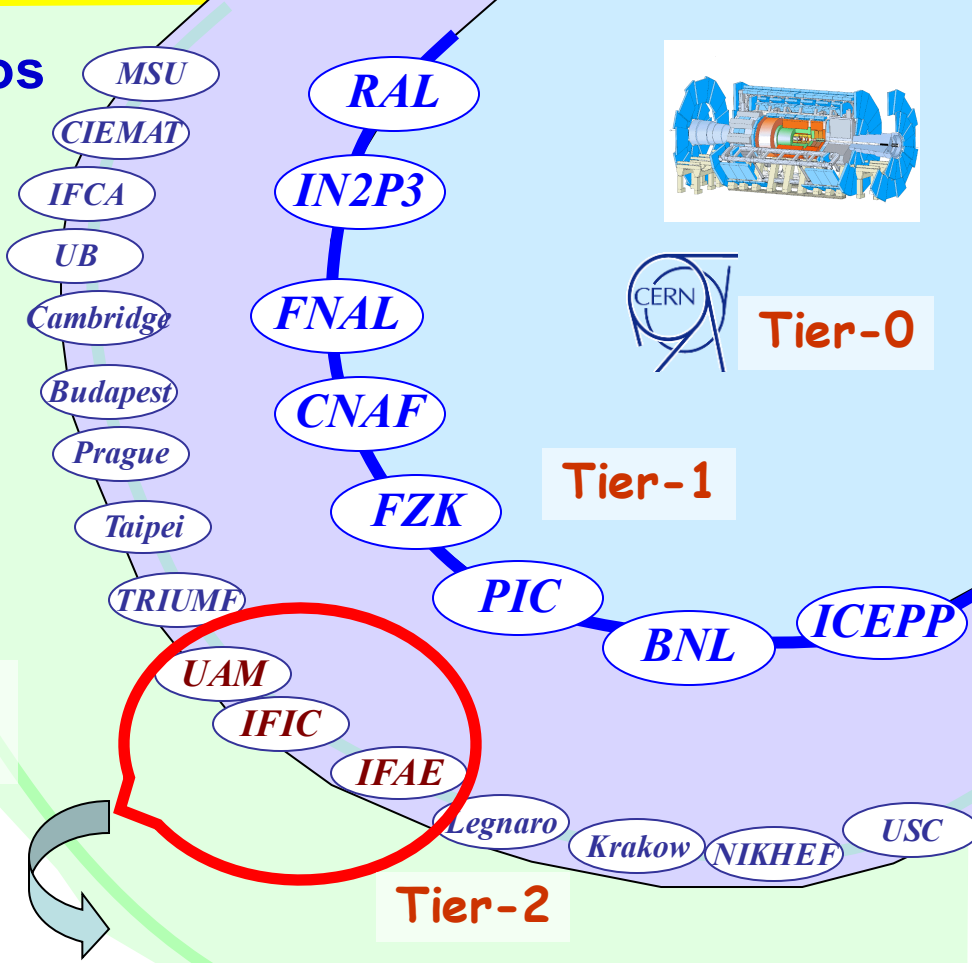

- **El proyecto de Computación GRID para el LHC (WLCG) comenzó en 2002:**
  - **Fase I (2002-2005): test y desarrollo, construcción y prototipo de servicios**
  - **Fase II (2006-2010): despliegue inicial de los servicios GRID**
  - **Fase III (2011-2022): consolidación de servcios, ampliación a otros paradigmas de computación**
- **Propósito: Suministrar los recursos de computación necesarios para procesar y analizar los datos recolectados por los experimentos del LHC**

  **Enormes volúmenes de datos y capacidad de computación**
  - **15 PB/año (Raw) -> 50 PB/año (overall)**
  - **Vida Util: 10-15 años -> escala del Exabyte**

  **Reto de la Escalabilidad**
  - **Resulta evidente que se necesita una infraestructura distribuida**

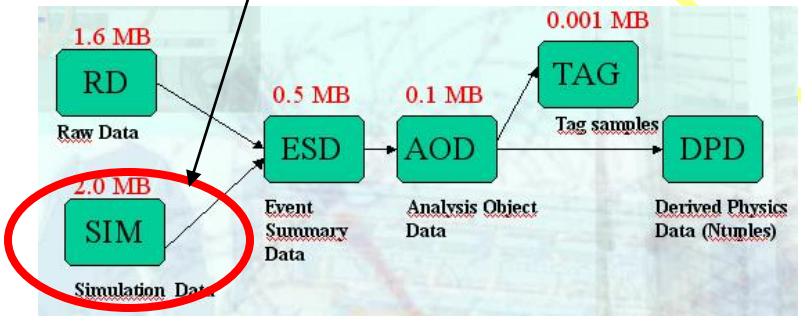
  **Logros:**
  - **CMS: ha transferido 100-200 TB/dia por el GRID en los últimos dos años**
  - **ATLAS: se han acumulado 140 PB durante el procesado de datos del Run I**

# Organización de centros de recursos en ATLAS: Tiers

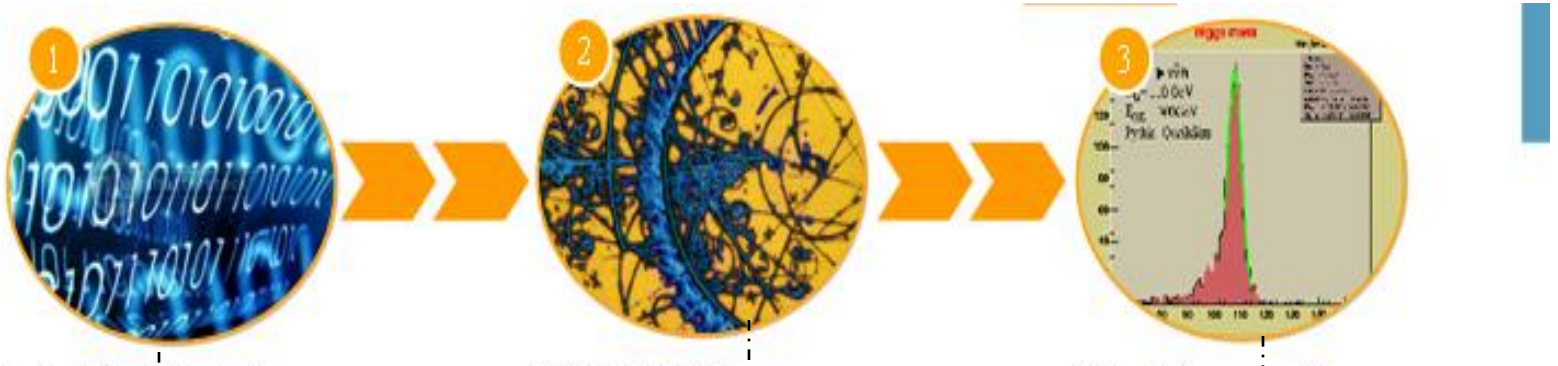

- Los datos sufren transformaciones encaminadas a la reducción en tamaño y la extracción de la información relevante

- Con el fin de prepararnos para los análisis con Datos Reales y testear el sistema, trabajamos con Datos Simulados (Monte Carlo)




**asegurar un crecimiento sostenible de la infraestructura Tier-2 entre estos centros y su operación de forma estable**

# Proceso de transformación de los datos




**Datos de ATLAS 'brutos'**

Proceden directamente del experimento (después del 'trigger'.) ubicados en el CERN, serán procesados y pasados a los Tier-1 (1.6MB/colisión)

**Datos procesados**

Proporcionan información clara de trazas y valores de energía registrada por los detectores del experimento ATLAS. (500KB/colisión)

**Datos listos para analizar**

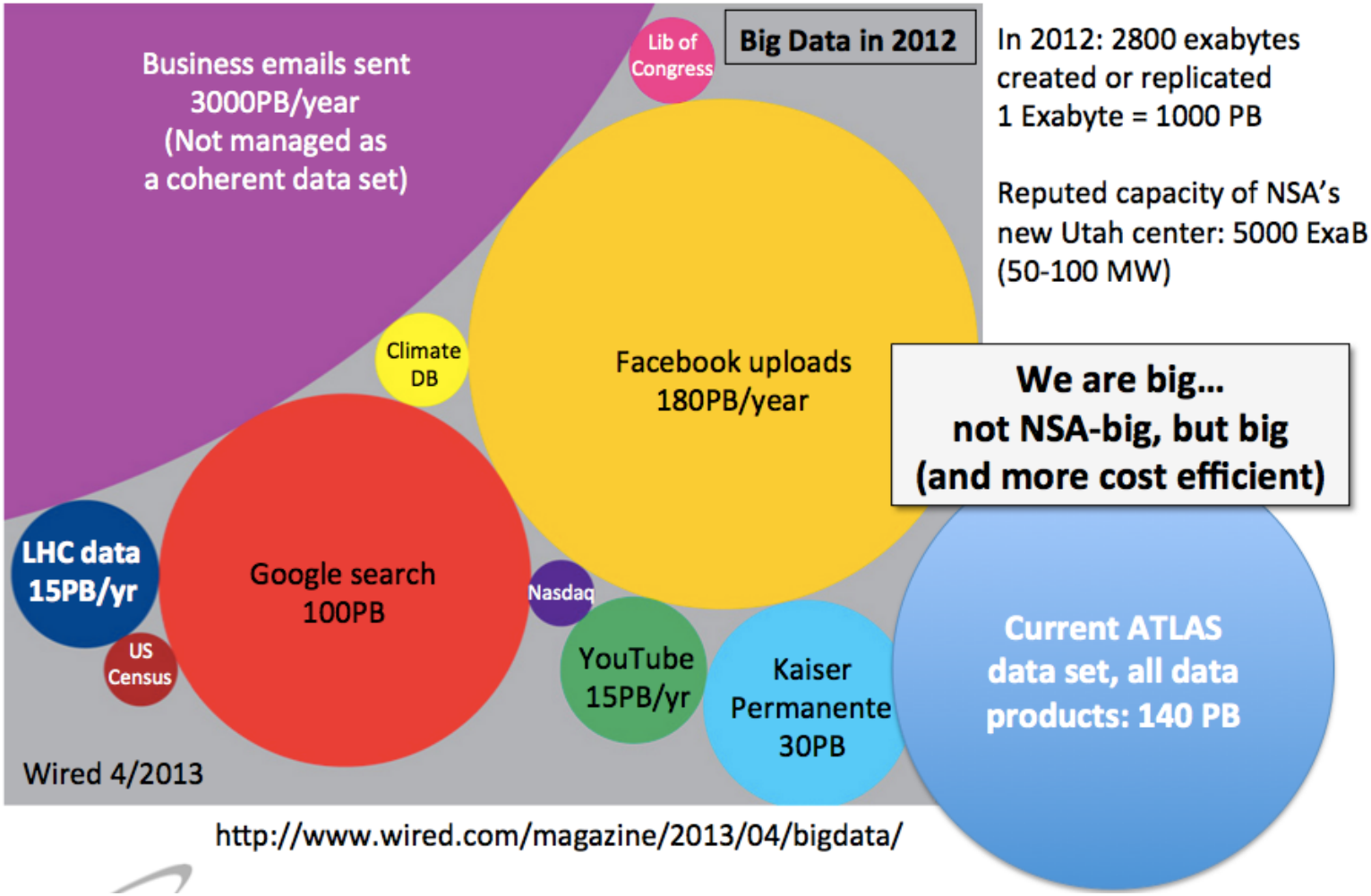
Provenientes de los datos procesados, servirán para descubrir nuevas partículas por los científicos de ATLAS. (100KB/colisión).

- **Los datos sufren transformaciones encaminadas a la reducción en tamaño y la extracción de la información relevante**

# En el mundo….


**El GRID: "Un despliegue colaborativo donde no se pone nunca el Sol"**
**('round the clock': 24 h / 24 h)**

# Data Management
## Where is HEP in Big Data Terms?




In 2012: 2800 exabytes created or replicated
1 Exabyte = 1000 PB

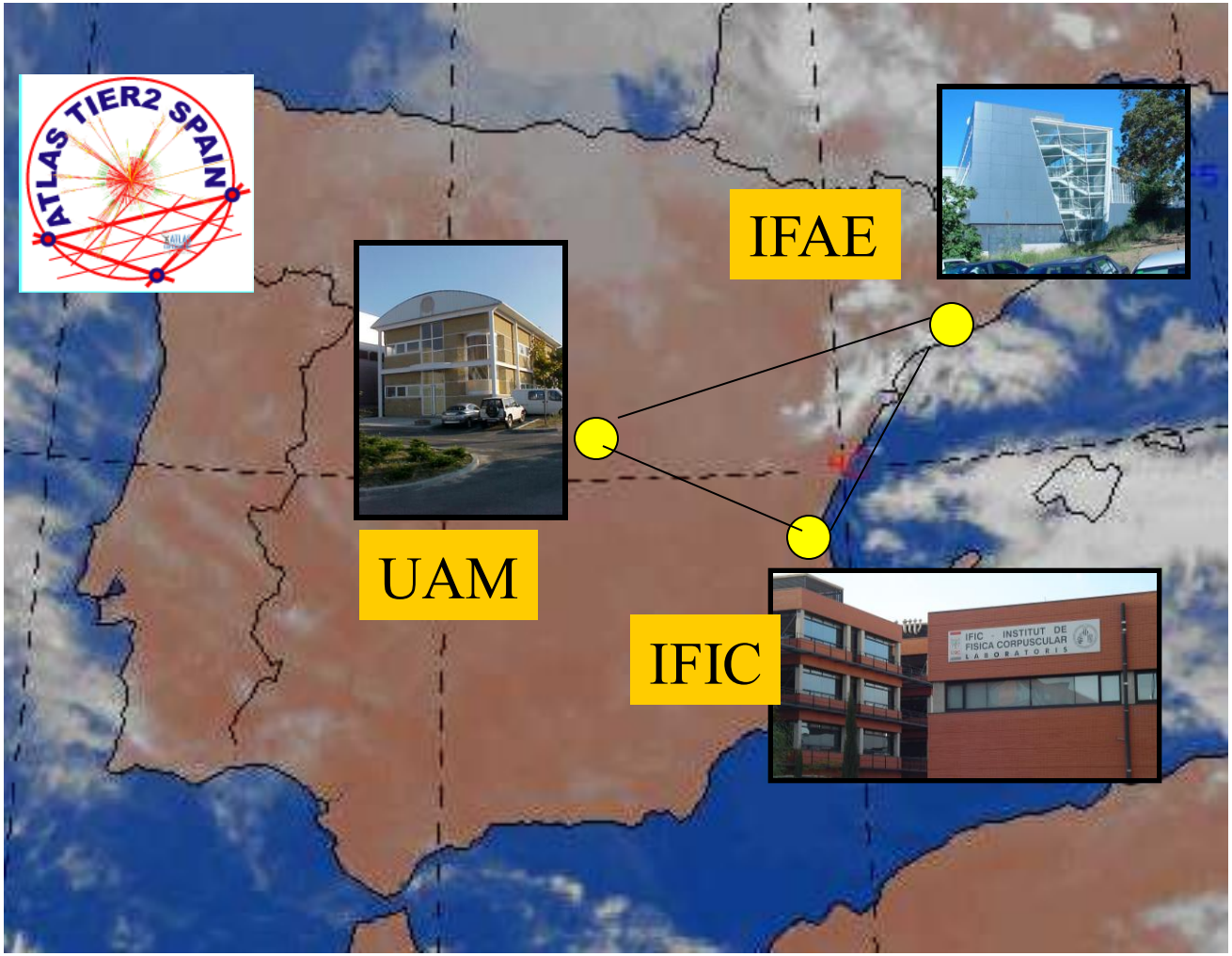
Reputed capacity of NSA's new Utah center: 5000 ExaB (50-100 MW)

**We are big...
not NSA-big, but big
(and more cost efficient)**

http://www.wired.com/magazine/2013/04/bigdata/

# 5.- El Tier-2 Español para ATLAS

Proyecto Coordinado del Plan Nacional de FAE de 3 centros:




IFAE (25%)
UAM (15%)
IFIC (60%)

**4% del total Tier-2**

**Equipamiento:**

**IFIC**
**CPU = 41.298. HEPSpec06**
**Disk = 4.032 TB**

**Recursos Humanos:**

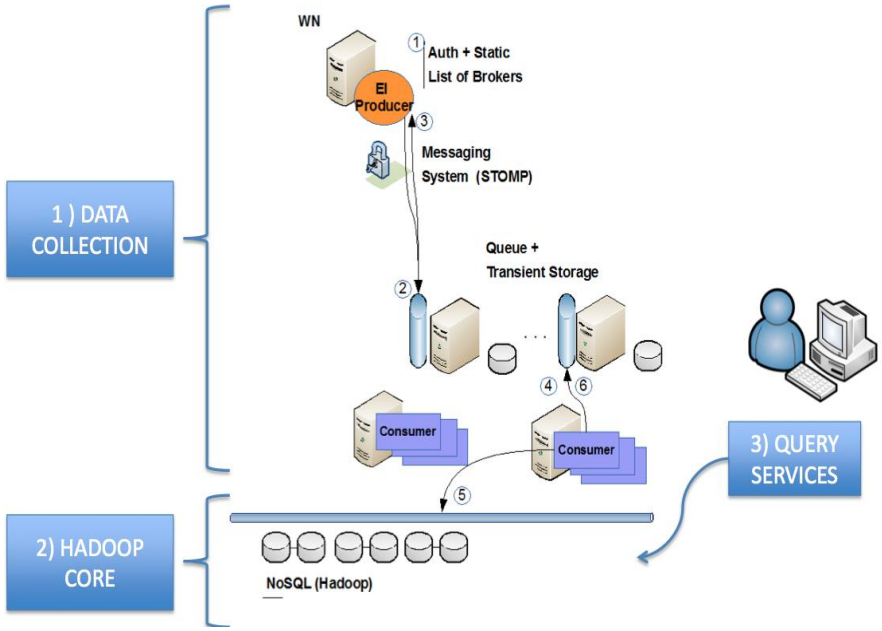
**10 FTE**

**Julio 2023**

# Desarrollo del Event Index de ATLAS

- **Desarrollo y despliegue de un catálogo completo de todos los sucesos de física (Real Data y MC) para todas las etapas de procesado**
- **Uso de nuevas tecnologías de Big Data y NoSQL (Hadoop)**
- **Alta participación del grupo IFIC:**
  - **Responsible of Data Collection Task.**
  - **Responsabilidad en la terea de Data Collection**
  - **Ayuda en las verificaciones de consistenca en la producción global de datos**

EventIndex



# Evolución del Crecimiento de los recursos de TIER-2 para el experimento ATLAS



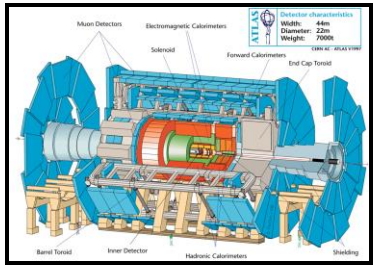
*Fuerte Crecimiento en recursos*


# 6- El GRID y el Higgs

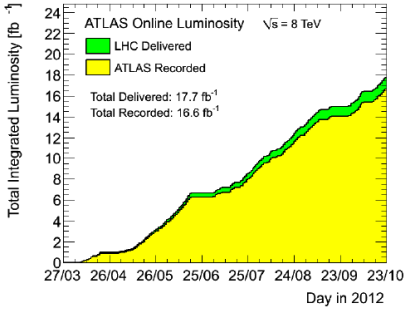
- Los resultados de Física son comparaciones de observables con sus predicciones teóricas/modelo
- Hay un proceso complejo entre la toma de datos y los resultados de física:  Trigger/adquisición de datos, reconstrucción , análisis y simulación, grupos de análisis, publicación de resultados.
- Se necesitan algoritmos sofisticados para reconstrucción y análisis
- Uno de los factores más esenciales es disponer de una buena simulación detallada
- Un solo suceso tiene un determinado tamaño y ‘simple’, pero la escala de computación es enorme
- El software y el computing deben funcionar  muy bien si se quiere lograr los resultados de primer nivel en el LHC

# La computación GRID posibilita la obtención rápida de resultados de física : Un Caso Exitoso

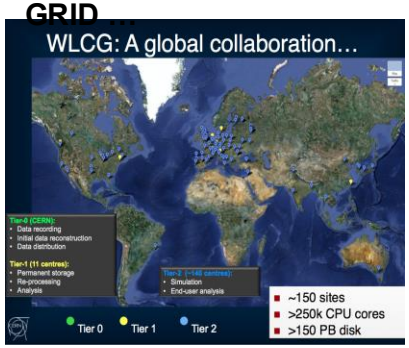
**1) Desde el experimento a 100 m bajo tierra…**



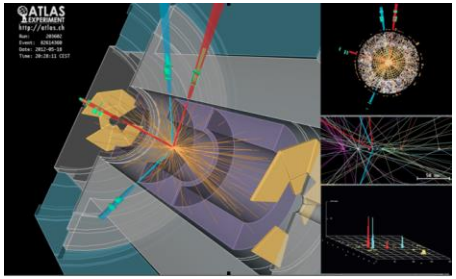
**2) … una ingente cantidad de datos es almacenada, procesada y distribuida…**



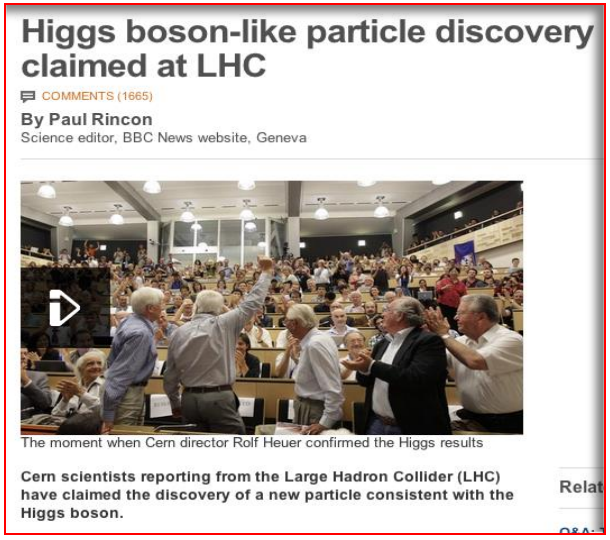

**3) … por todo el mundo mediante la red y usando el GRID; en aproximadamente 2 horas los sucesos están disponibles en los centros de GRID**



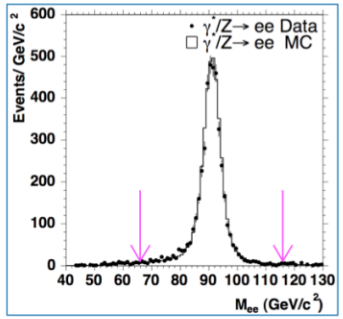

**4) … y el análisis final de los sucesos seleccionados ( como el suceso Higgs representado en la figura) se realiza por los grupos de física …**

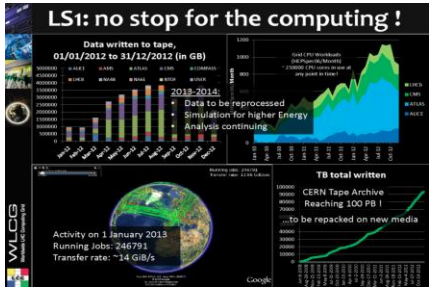


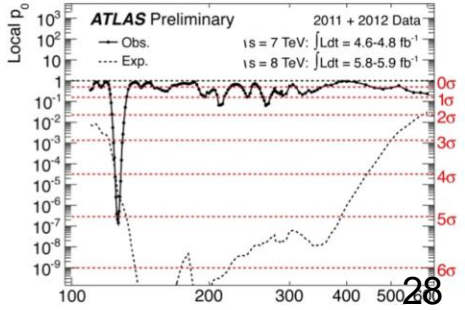
**5) … y (a veces) ocurre un final feliz de la historia (2012)**



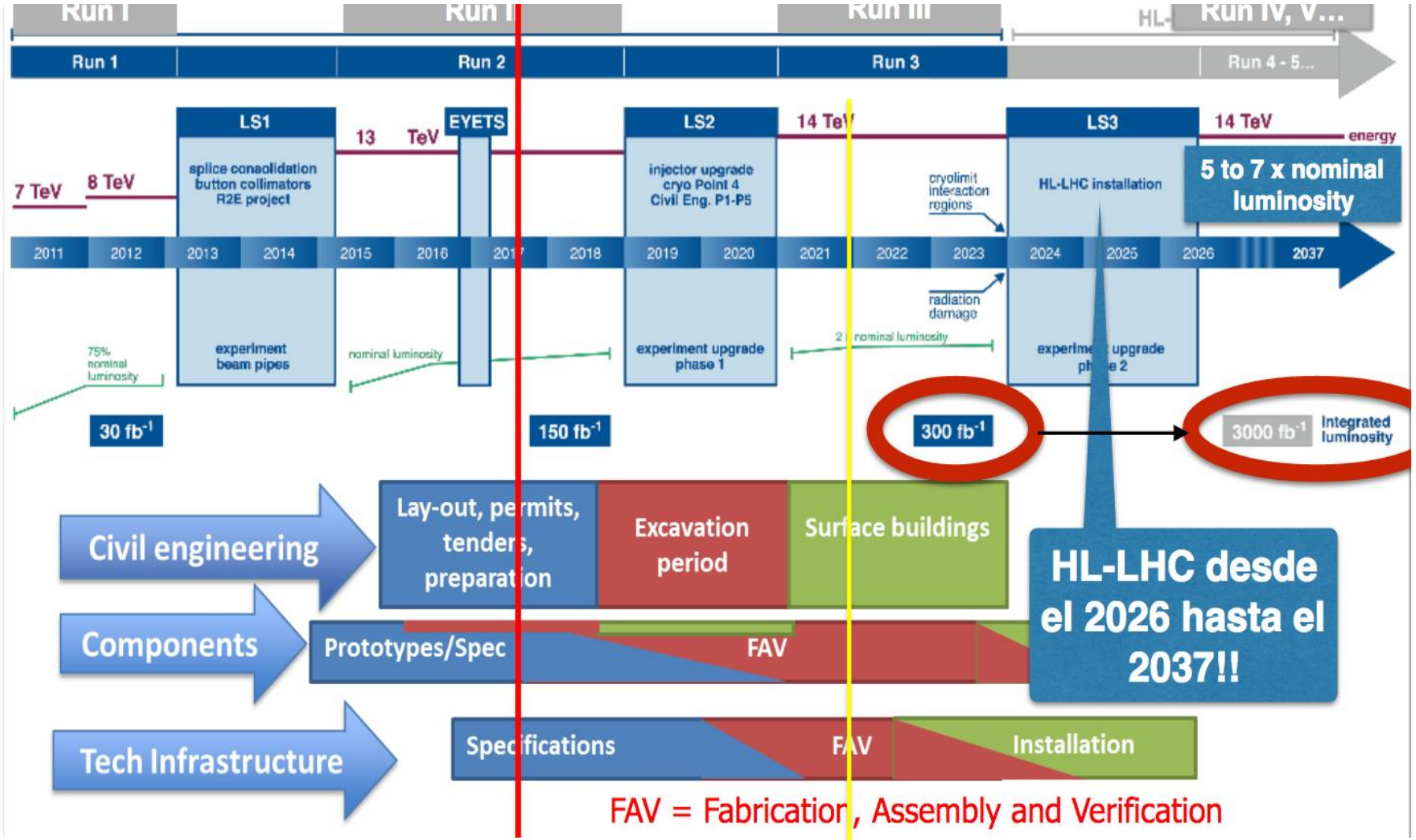

**6) …en 2023 nos encontramos inmersos en el Run 3, tras el LS2 con una energía de 13.6 TeV y una cantidad ingente de datos recolectados pero NO hay STOP para el computing**



# 7- Retos de Computación en el futuro




Estamos aquí:
Julio 2023

# El escenario actual: un 'ecosistema' de Computación

**Estamos en un nuevo escenario debido a:**

- **las muy buenas prestaciones de la red en términos de latencia y ancho de banda**
- **la mejora de la ratio calidad /coste en los equipos de ordenadores**
- **Los supercomputers (HPC) han seguido una tendencia de crecimiento continuo durante las dos pasadas décadas**
- **Cloud Computing ha parecido hace unos 8-9 años como otra posible solución para resolver problemas actuales de computación**
- **Sostenibilidad de la Infraestructura: mayor rendimiento con menos energía, huella de Carbono, green computing**

Computer cluster

Cloud Computing

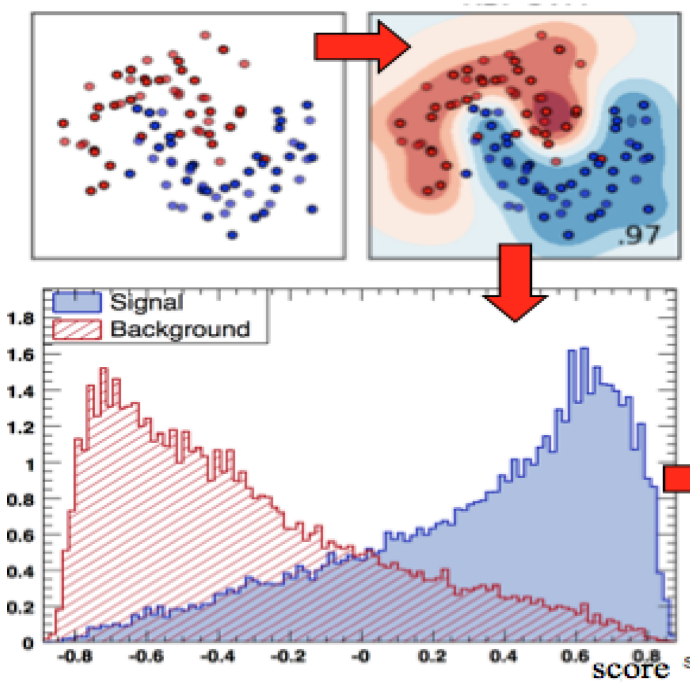
GRID Computing

Supercomputers

# Machine Learning

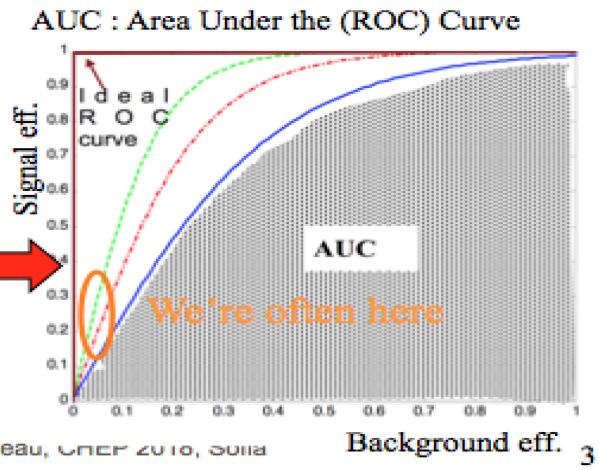
- **Utilización del Machine Learning en diferentes aspectos:**
  - **ML en simulación**
  - **ML en reconstrucción**
  - **ML en análisis**


***Clasificación Señal-Background***




Train on Signal and Background Monte-Carlo
➔learn the separation between S and B distribution
Apply on test sample
Apply on data

Note: instead of *classifiying* 0 or 1, can *regress* !



# Salidas Profesionales:

**A destacar dos (pero hay más!):**

**•En Investigación en Física Experimental de Partículas, Nuclear y Astropartículas (estáis viendo qué hacemos):**

**- trabajando en líneas de investigación que ya estáis conociendo en el IFIC Summer 2023**

**•Data Scientist:**

- **Profesión con muy buenas perspectivas y con una demanda cada vez mayor por parte de empresas y proyectos**
- **Big Data: Obtención de conocimiento a partir de los datos**
  - **El experimento ATLAS y otros experimentos (AGATA, DUNE, por ejemplo) son claros ejemplos de Big Data**
- **Data Mining, Machine learning, Inteligencia Artificial, etc**

# 8.- Mensajes a retener/Conclusiones

- La Física subátomica (HEP & Nuclear & Astroparticle) y Computación están estrechamente relacionadas
- La Computación en la era del LHC se ha desarrollado para resolver problemas originados por las carácterísticas de los experimentos. La solución inicial ha sido el GRID
- El Computing es como un detector más : colaboración de sites, upgrades, organización de servicios y de 'shifts', R&D , etc
- El I + D + i asociado a estas tecnologías GRID está dando lugar a una 'segunda revolución' del mismo nivel que el que supuso la web hace 20 años
- Esto está generando un Modelo Dinámico de Computación
- Aplicaciones en otras disciplinas científicas. Ya se están obteniendo retornos en Biomedicina, Sector Energético, Química, Biotecnología, etc
- El GRID y otras contribuciones de las Tecnologías de la Información y de la comunicación han dado lugar a la e-Ciencia
- En Investigación es necesario ' Data Scientists' y son también muy apreciados en las empresas en el sector privado y público.

- ChatGPT
- Operación de las infraestructuras con IA

- GRACIAS por vuestra atención
- PREGUNTAS / COMENTARIOS

# BACKUP SLIDES

# Grupo de Computación GRID y e-Ciencia (G2C2E)
## *Group of GRID & e-Science*

**Personal Permanente:**

| | | |
|---|---|---|
| Álvaro Fernández Casani | Titulado Superior Informática | CSIC |
| Santiago González de la Hoz | Catedrático Universidad | UV |
| José Francisco Salt Cairols | Profesor de Investigación | CSIC |
| Francisco Javier Sánchez Martínez | Titulado Superior Informática | CSIC |

**Personal Contratado o Vinculado:**

| | | |
|---|---|---|
| Carlos García Montoro ..... | Contratado por Proyecto | CSIC |
| Javier Aparisi Pozo ..... | Contratado Pre-Doc S8A ..... | CSIC |
| Esteban Fullana Torregrosa ..... | Contratado Prometeo (postdoc) | CSIC |
| Miguel Villaplana Torregrosa ..... | Investigador CIDEGENT | UV |
| Victoria Sánchez Sebastián | Contrato Pre-Doc FPU | CSIC |
| Farida Fassi | Profesora Titular Universidad ..... De Rabat | |

**Colaboradores Externos/Colaboradores Visitantes:**

Julio Lozano Bahilo
Gabriel Amorós Vicente
Mohammed Kaci