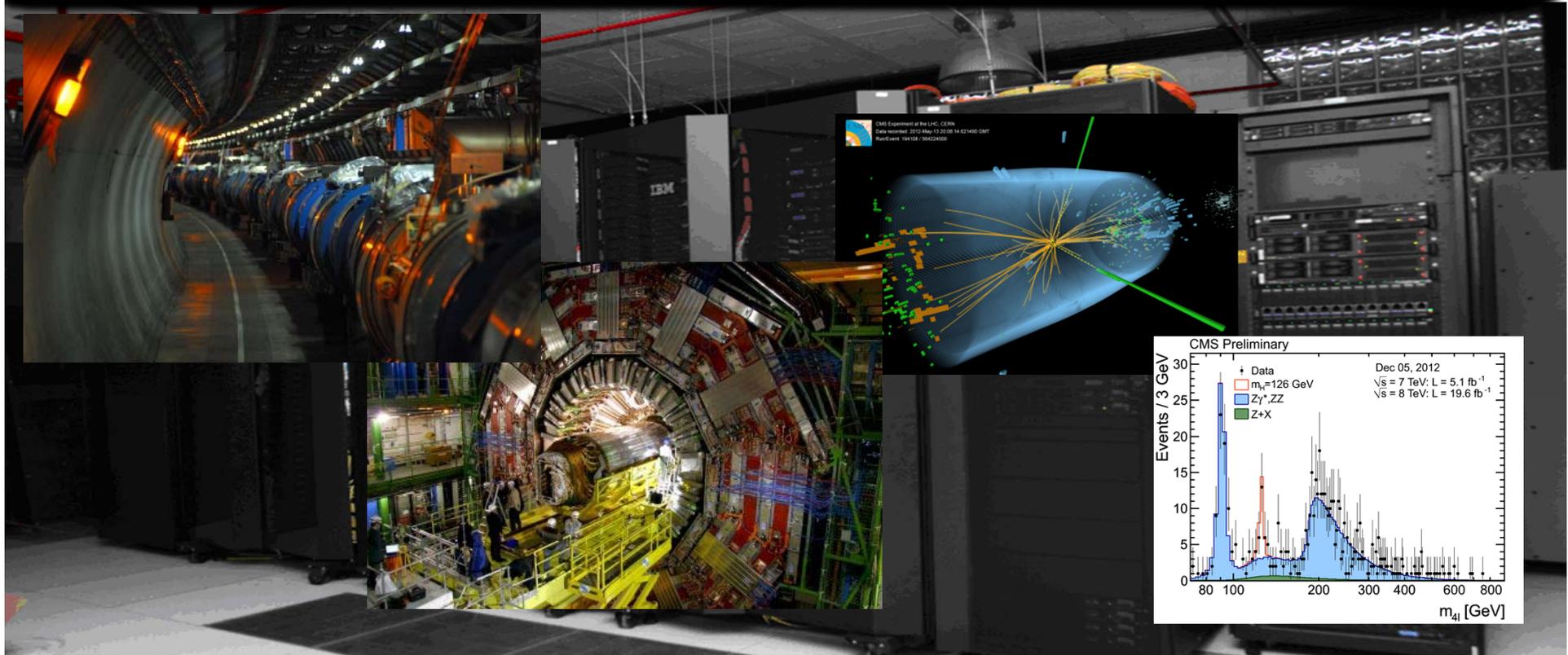


# *Seguimos sin saber nada*



*¿Seguimos sin saber nada?*

*“Cuánto más aprendes, menos sabes”*

*De una reciente entrevista a Montserrat Caballé*



Jesús Marco de Lucas, CERN-Expo

# ¿Seguimos sin saber nada?

¿Que vamos a ver en esta presentación?

✿ Tenemos un **modelo *casi perfecto*** de la materia

✿ Cómo lo hemos logrado:

**Global Science / Ciencia Colaborativa**

✿ ¿Podemos **continuar aprendiendo?**

✿ ¿Por qué digo “seguimos sin saber nada”?

# Un modelo de la materia

## Retomando la anterior conferencia...

Desde hace más de 40 años el “Modelo Estándar” de partículas elementales, permite explicar (casi) todo sobre la materia a escala subatómica con unas reglas “simples”:

- La materia está formada por **fermiones** (leptones y quarks)
- Sus interacciones (fuerzas) se explican por el intercambio de **bosones** (fotones, gluones, bosones W y Z)

## ¿Cómo hemos llegado hasta aquí?

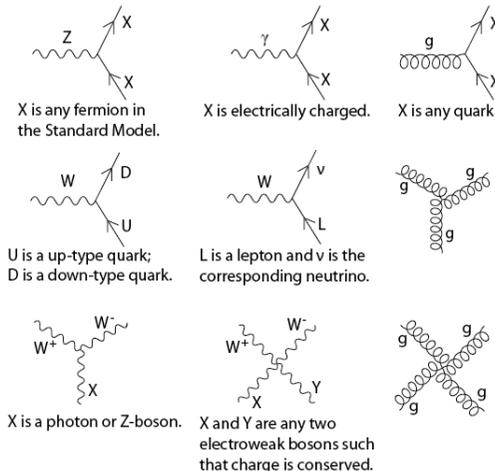
- Teoría de la Relatividad Especial (~1905)
- Teoría Cuántica (~1920)
- Teoría Cuántica Relativista (~1930)
- Teoría Cuántica de Campos (~1950)
- Electrodébil y Cromodinámica (~1960..)

Tres generaciones de la materia (fermiones)

	I	II	III	
masa →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	<b>u</b> arriba	<b>c</b> encanto	<b>t</b> cima	<b>γ</b> fotón
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	<b>d</b> abajo	<b>s</b> extraño	<b>b</b> fondo	<b>g</b> gluón
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> neutrino electrónico	<b>ν<sub>μ</sub></b> neutrino muónico	<b>ν<sub>τ</sub></b> neutrino tauónico	<b>Z<sup>0</sup></b> bosón Z
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptones	<b>e</b> electrón	<b>μ</b> muón	<b>τ</b> tauón	<b>W<sup>±</sup></b> bosón W

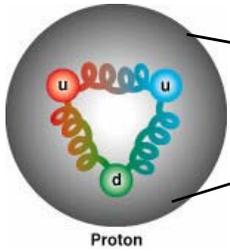
Bosones de gauge

Standard Model Interactions  
(Forces Mediated by Gauge Bosons)

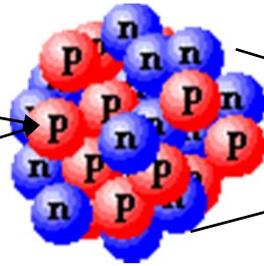


# De los materiales al Universo

quarks

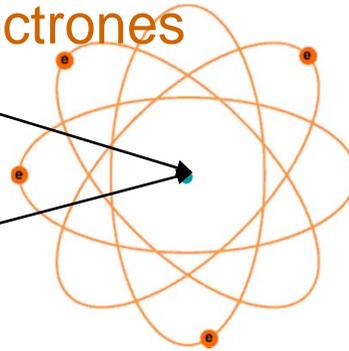


protón

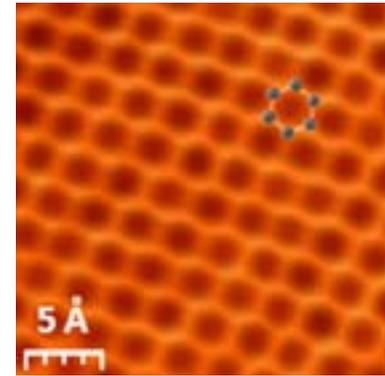


núcleo

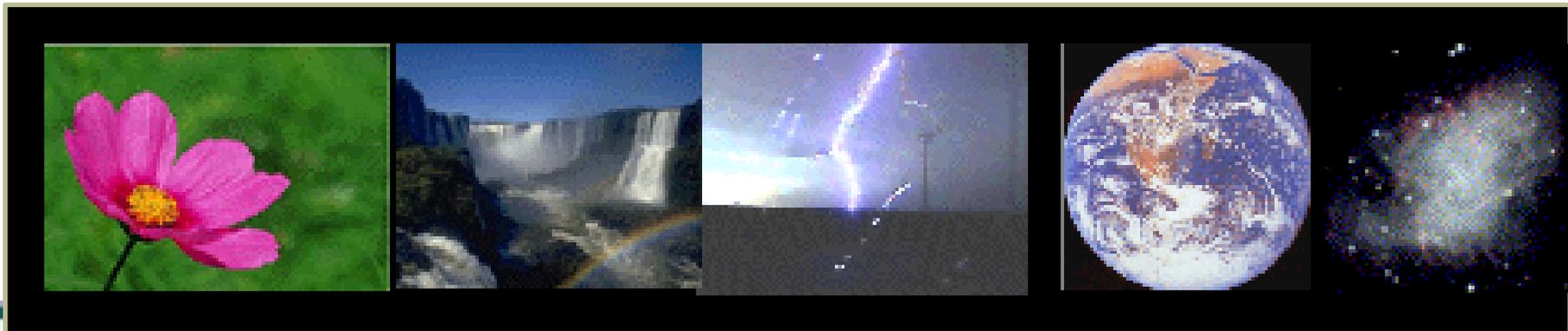
electrones



átomo/ión



Para explicar los fenómenos naturales necesitamos incluir la fuerza gravitatoria  
Para entender el Universo necesitamos la **Relatividad General**



# Un modelo de la materia

- ❁ En el camino hemos perdido “intuición clásica” :
    - ❁ Relatividad Especial: Espacio-Tiempo / Momento-Energía y relación Masa/Energía,  $c$  como velocidad límite.
    - ❁ Física Cuántica: medida y probabilidad de encontrar una partícula en un cierto estado, colapso de la función de onda.
    - ❁ Teoría Cuántica Relativista: spin de las partículas, diferencias entre bosones y fermiones, existencia de antipartículas.
    - ❁ Teoría Cuántica de Campos: ¿qué es el vacío?
  - ❁ Aunque algunas ideas parecen “razonables” :
    - ❁ Fuerza como intercambio de partículas (bosones)
      - Ejemplo de los patinadores intercambiándose un balón
    - ❁ Alcance de la fuerza ligado a la masa de la partícula intercambiada
      - Rango corto: mayor masa (bosones  $W, Z$ )
      - Rango infinito: masa nula (fotón)
- Gluones: fuerza muy fuerte, quarks nunca “libres” salvo si juntos

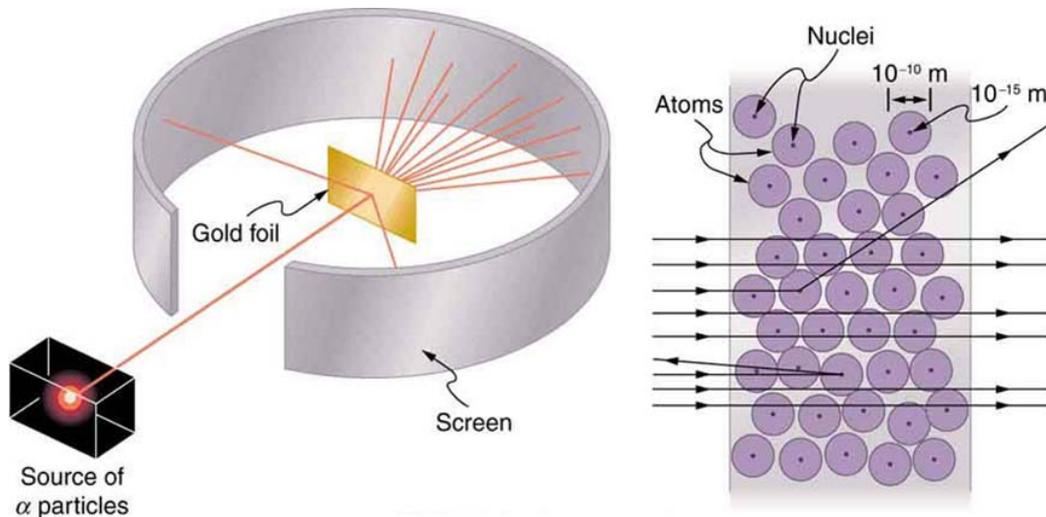
# Un modelo de la materia

## El método científico no ha cambiado:

- Confrontación Experimento - Modelos Teóricos

## ¿Cuánto han cambiado los experimentos?

- Experimento "clásico" de Geiger-Marsden, interpretado por Rutherford:



[ 669 ]

LXXIX. *The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom.* By Professor E. RUTHERFORD, F.R.S., University of Manchester\*.

§ 1. IT is well known that the  $\alpha$  and  $\beta$  particles suffer deflexions from their rectilinear paths by encounters with atoms of matter. This scattering is far more marked for the  $\beta$  than for the  $\alpha$  particle on account of the much smaller momentum and energy of the former particle. There seems to be no doubt that such swiftly moving particles pass through the atoms in their path, and that the deflexions observed are due to the strong electric field traversed within the atomic system. It has generally been supposed that the scattering of a pencil of  $\alpha$  or  $\beta$  rays in passing through a thin plate of matter is the result of a

# *Global Science, Ciencia Colaborativa*

- ❁ **Global Science:** caracterizada por el desarrollo a gran escala de instalaciones e instrumentación, con el apoyo de los gobiernos o de agencias internacionales, la investigación se lleva a cabo en equipos de **científicos y técnicos**.
- ❁ El CERN es uno de los mejores ejemplos:
  - ❁ Fundado en 1954, para estudiar la física de partículas fundamentales
  - ❁ Cuenta actualmente con 20 estados miembros, científicos de más de 100 países
  - ❁ Desarrollo de experimentos:
    - ACELERADORES
    - DETECTORES / INSTRUMENTACIÓN
    - COMPUTACIÓN
- ❁ ¿Qué supone trabajar en este entorno?

# *Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN*

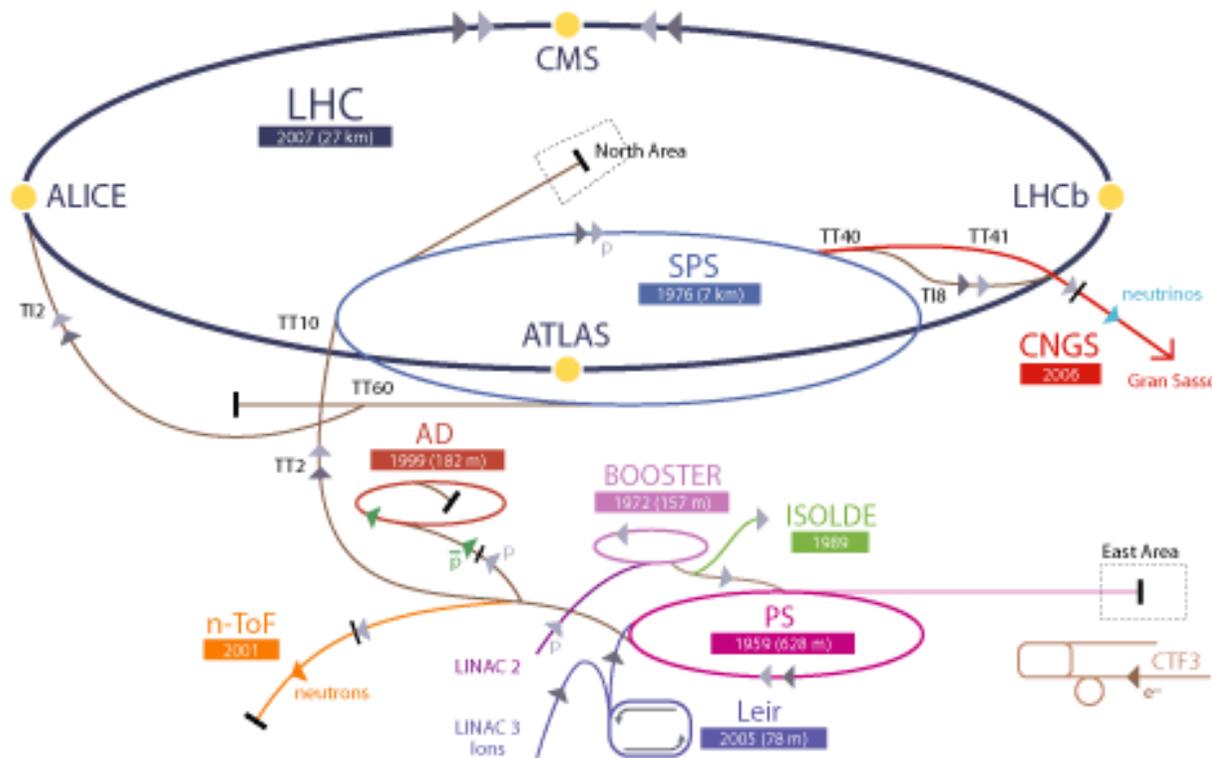
## ❁ CERN: Laboratorio Europeo de Física de Partículas (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

Visitemos el CERN <http://outreach.web.cern.ch/outreach/visites/index.html>  
o virtualmente...



# Un entorno Global Science: CMS/LHC/CERN

## CERN Accelerator Complex



▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶  $\bar{p}$  (antiproton) ▶ neutrinos ▶ electron  
 ⇄⇄⇄ proton/antiproton conversion

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron  
 AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility  
 CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice  
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

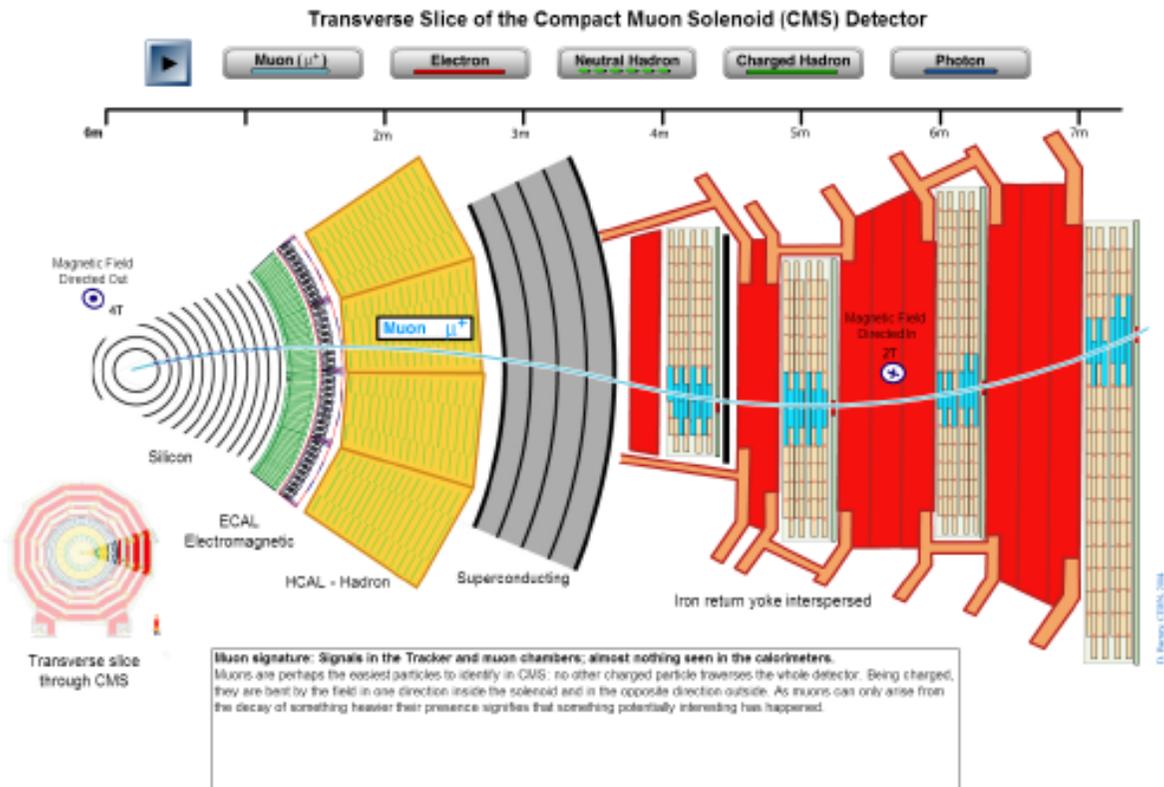
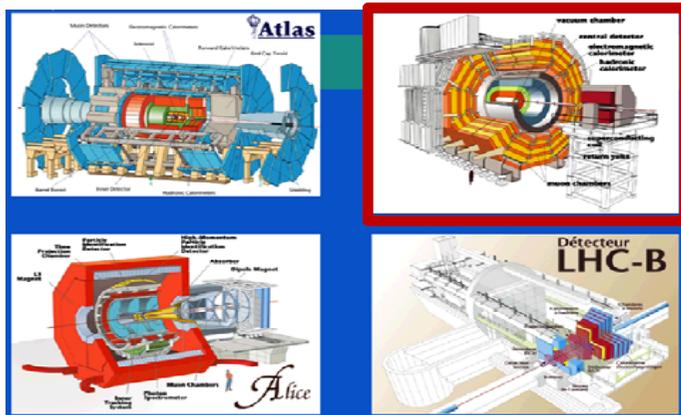
☉ LHC: Gran Colisionador de Hadrones  
**p-p @ 8 TeV**

<https://www.youtube.com/watch?v=qQNpucos9wc>

# Un entorno Global Science: **CMS**/LHC/CERN

## 🌀 CMS: Compact Muon Solenoid

El detector más preciso instalado en LHC!



# Una extraordinaria maquina muy compleja...

## CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 28.7 m  
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE  
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
Pixel ( $100 \times 150 \mu\text{m}$ )  $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$  channels  
Microstrips ( $80 \times 180 \mu\text{m}$ )  $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$  channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying  $\sim 18,000\text{A}$

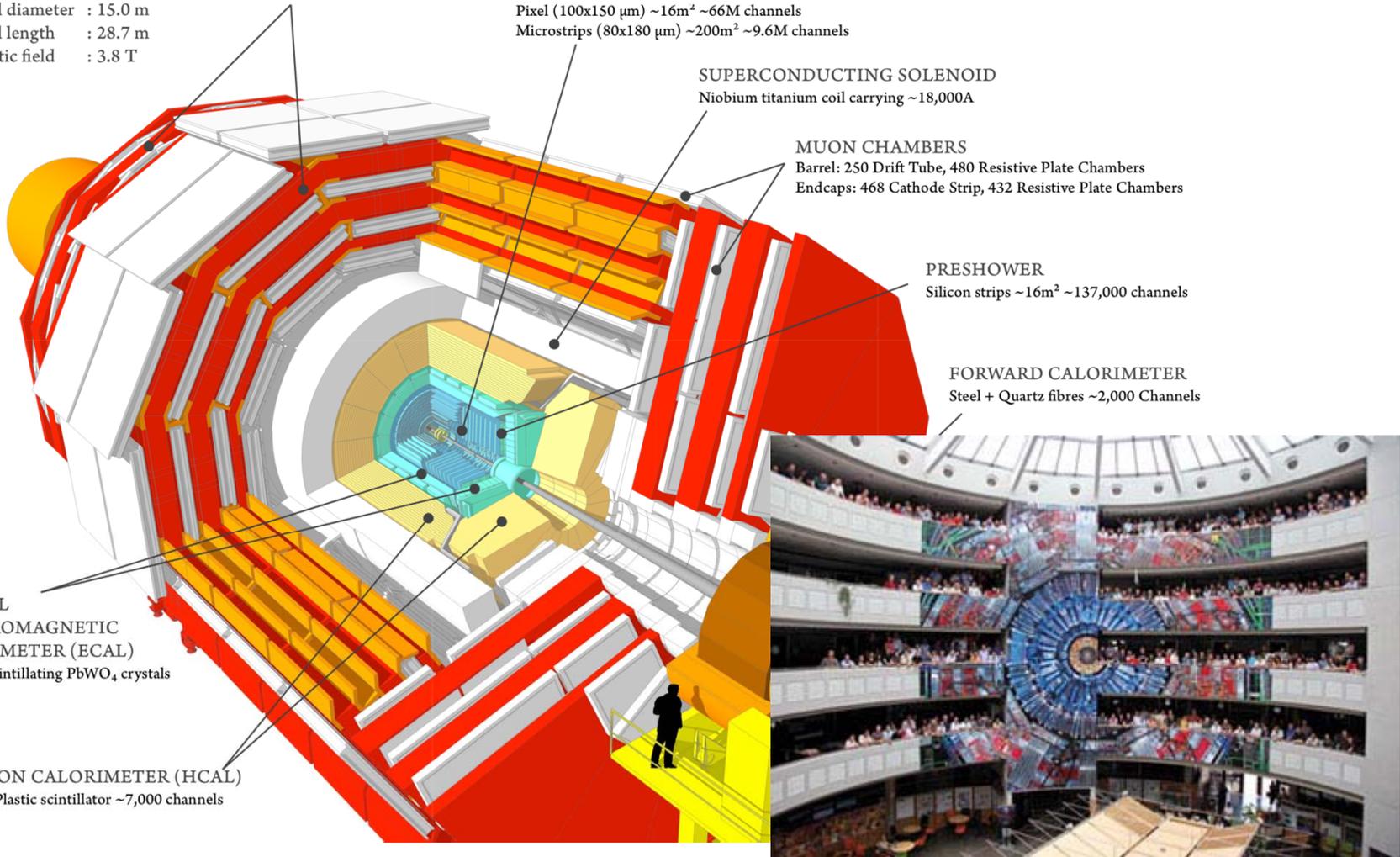
MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips  $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$  channels

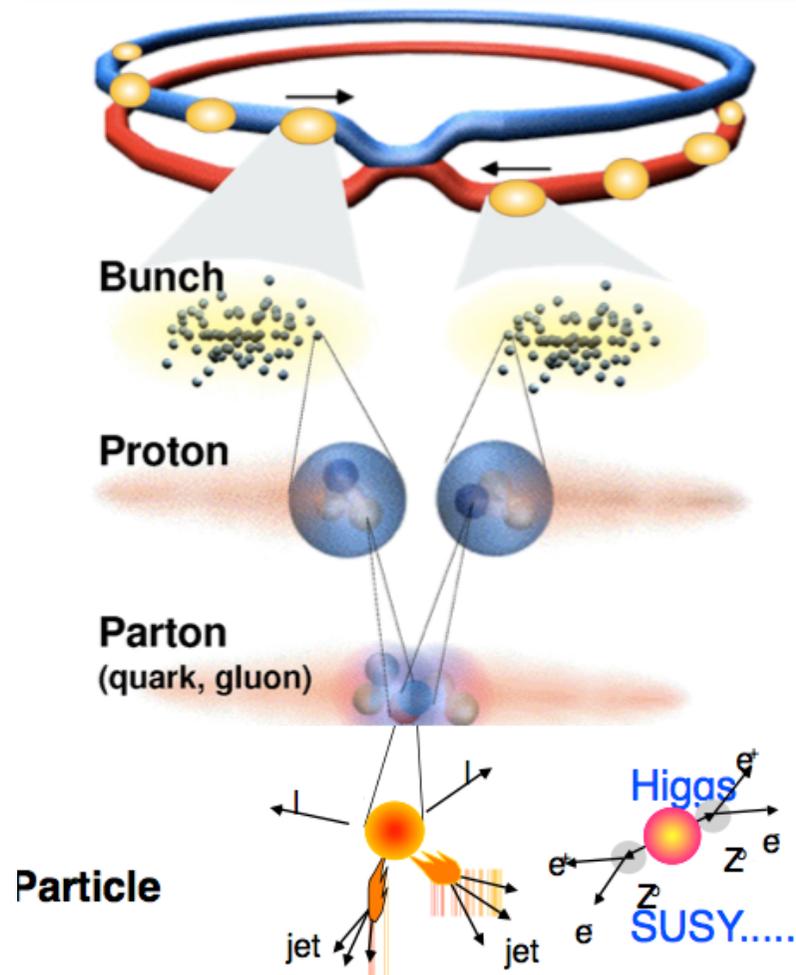
FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres  $\sim 2,000$  Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)  
 $\sim 76,000$  scintillating  $\text{PbWO}_4$  crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator  $\sim 7,000$  channels



# Una extraordinaria maquina muy compleja...



**Proton - Proton** 2808 bunch/beam  
**Protons/bunch**  $10^{11}$   
**Beam energy** 7 TeV ( $7 \times 10^{12}$  eV)  
**Luminosity**  $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

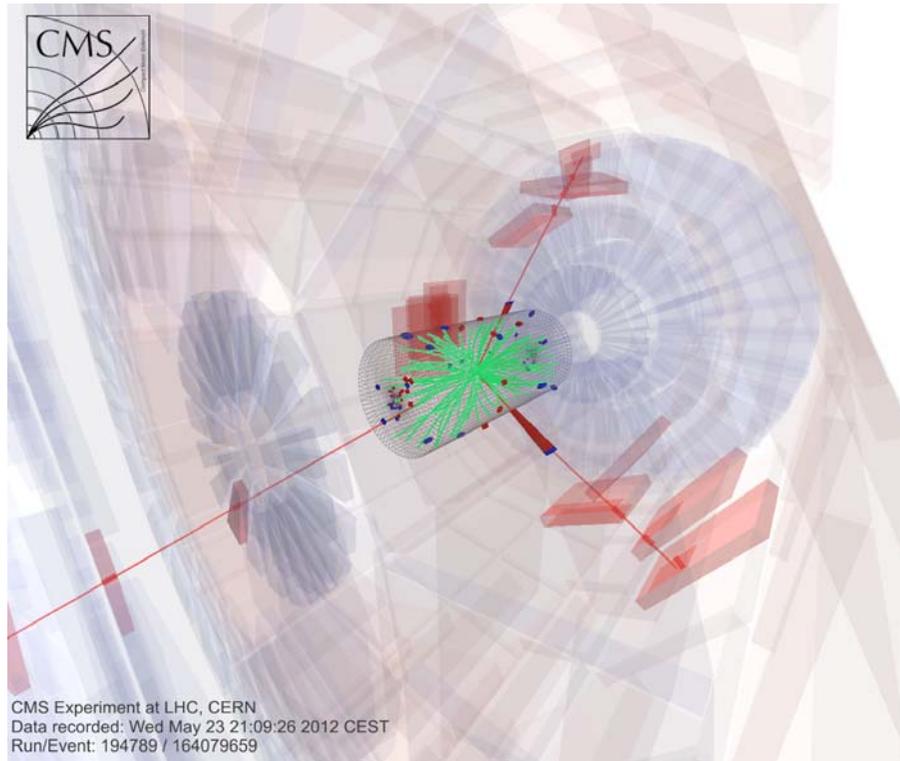
**Crossing rate** 40 MHz

**Collision rate  $\approx$**   $10^7 - 10^9$

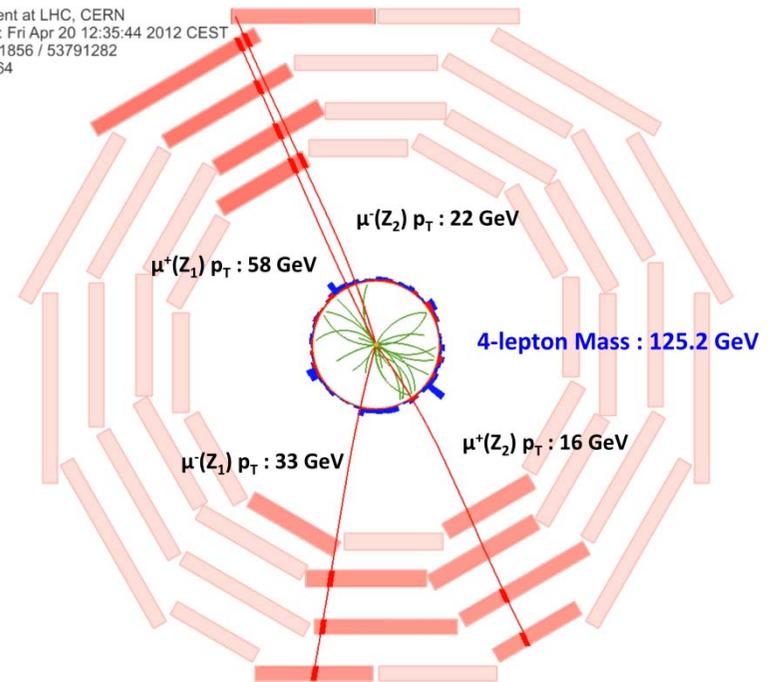
**New physics rate  $\approx$**  .00001 Hz

**Event selection:**  
**1 in 10,000,000,000,000**

# ¿Cómo encontrar el bosón de Higgs?



Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Fri Apr 20 12:35:44 2012 CEST  
Event: 191856 / 53791282  
Section: 64



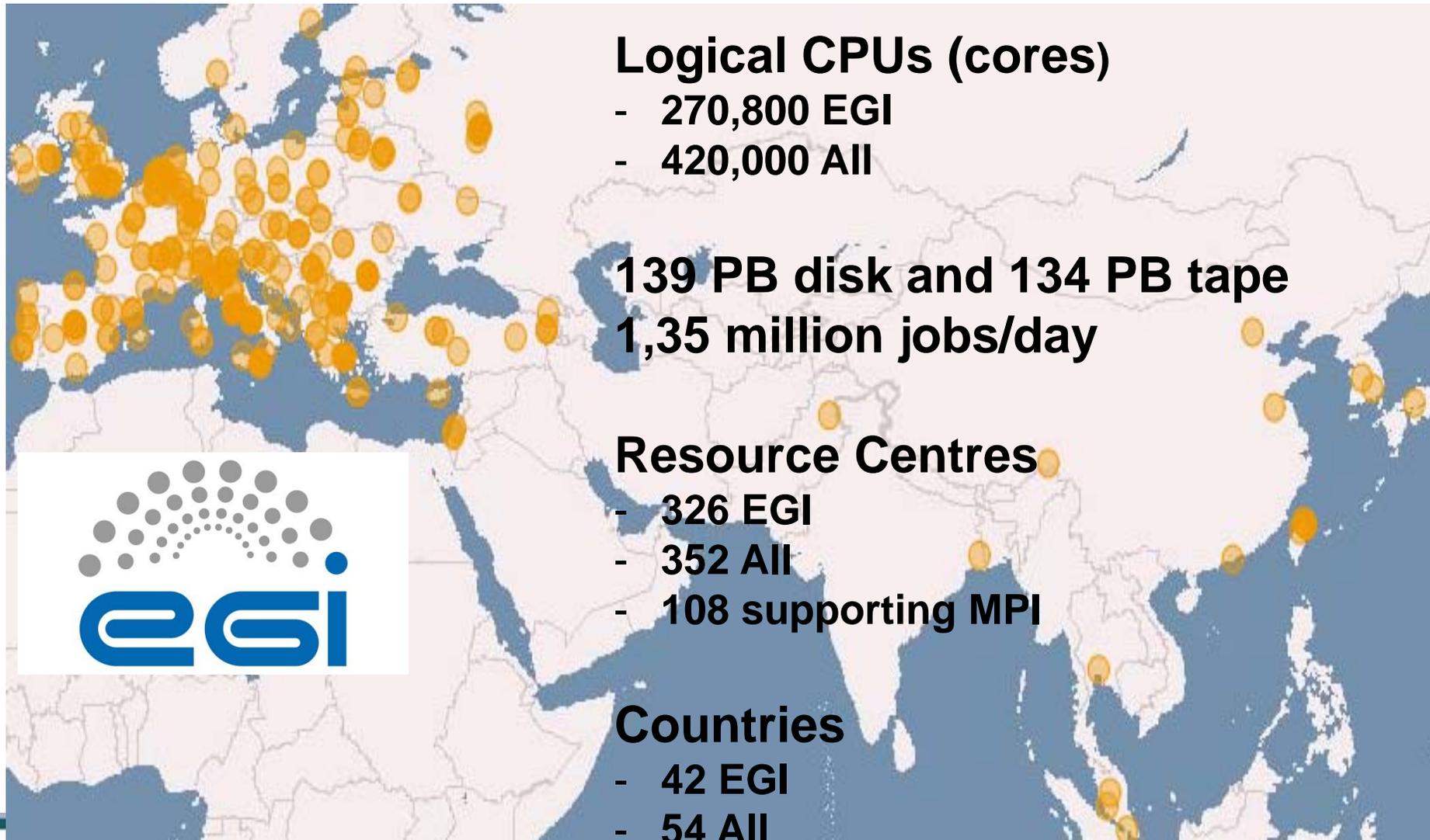
¿Cómo seleccionar 1 colisión de entre 10 millones? !!!

-SIMULACIÓN DE LA SEÑAL Y EL FONDO

-APLICAR REDES NEURONALES PARA SELECCIONAR LA SEÑAL

# European Grid Infrastructure

(2012)



## Logical CPUs (cores)

- 270,800 EGI
- 420,000 All

139 PB disk and 134 PB tape  
1,35 million jobs/day

## Resource Centres

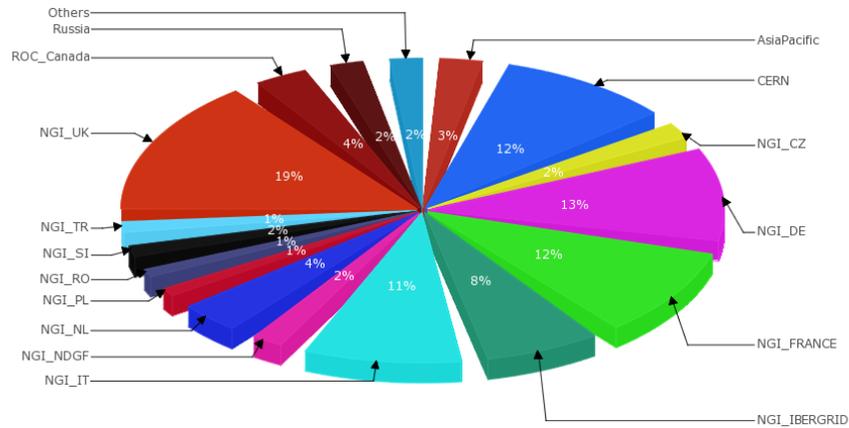
- 326 EGI
- 352 All
- 108 supporting MPI

## Countries

- 42 EGI
- 54 All



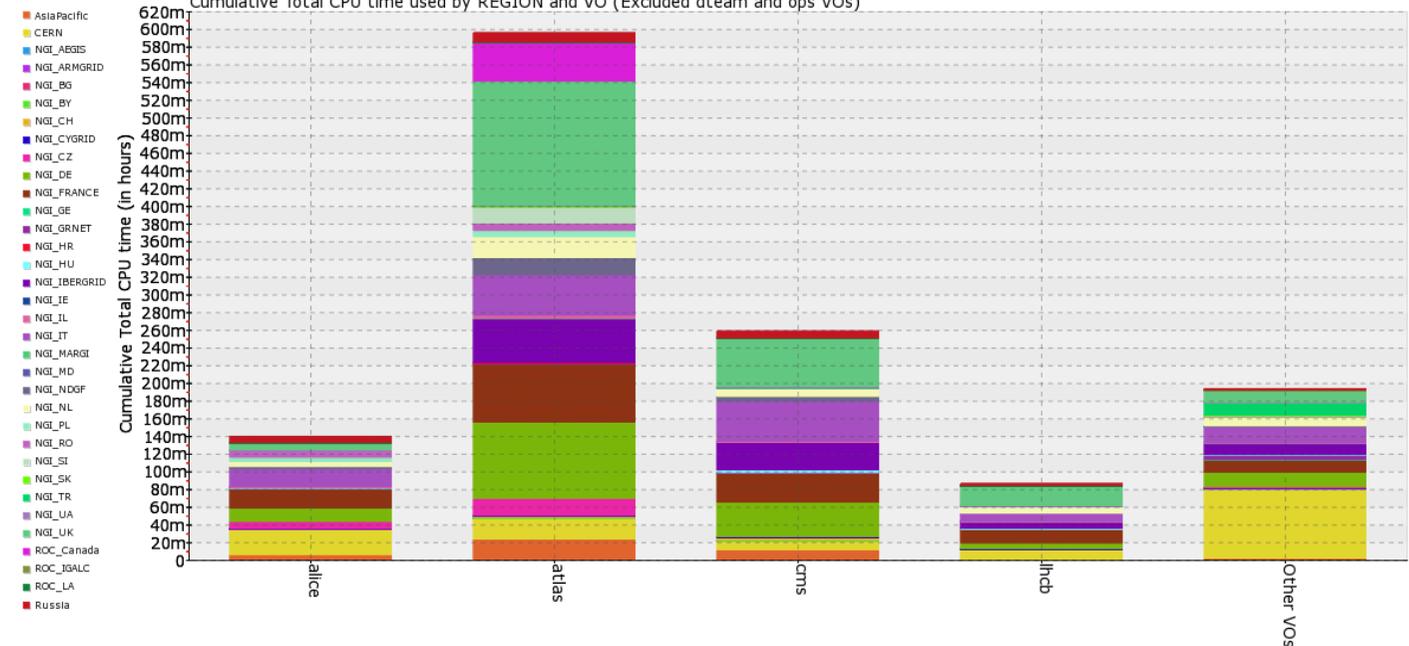
Total CPU time used per REGION (Excluded dteam and ops VOs)



# The GRID success!

>1.000 MILLION HOURS  
IN 1 YEAR  
(80 MILLION IN IBERGRID)

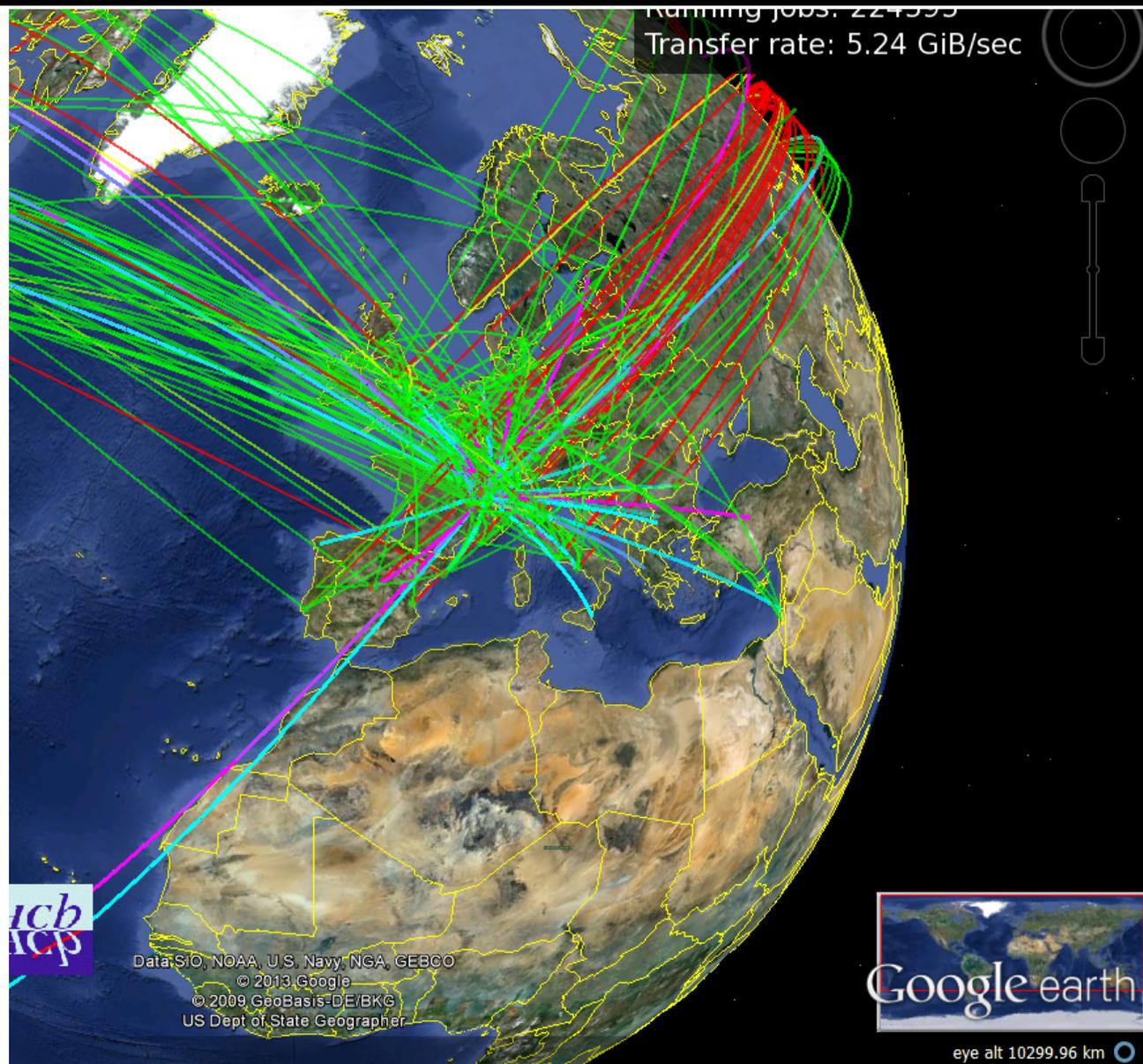
Cumulative Total CPU time used by REGION and VO (Excluded dteam and ops VOs)



Jesús Marco de Lucas, CERN-Expo

# Grid en operación

- ✦ <http://wlcg.web.cern.ch/wlcg-google-earth-dashboard>
- ✦ <http://rtm.hep.ph.ic.ac.uk/webstart.php>



# *IFCA: Centro Tier-2 de computación CMS*

- ❁ IFCA coordina Tier-2 de CMS, y la Iniciativa Grid Nacional
  - ❁ >250 servidores, todos con virtualización
  - ❁ Almacenamiento >2 Petabytes
  - ❁ Red: backbone 10Gb + salida directa a RedIris Nova (hasta 10Gbps)
  - ❁ Además: servicios GRID a diferentes comunidades: HEP, Astro, Medio Ambiente, Ingeniería, Bio, Medicina, etc. , + acuerdo CNRS (grid/cloud)

uCloud  
(UC-CSIC)

Cluster Tier-2  
CMS (UC)

Almacenamiento  
Tier-2 CMS (UC)

Petabyte  
IFCA-CSIC

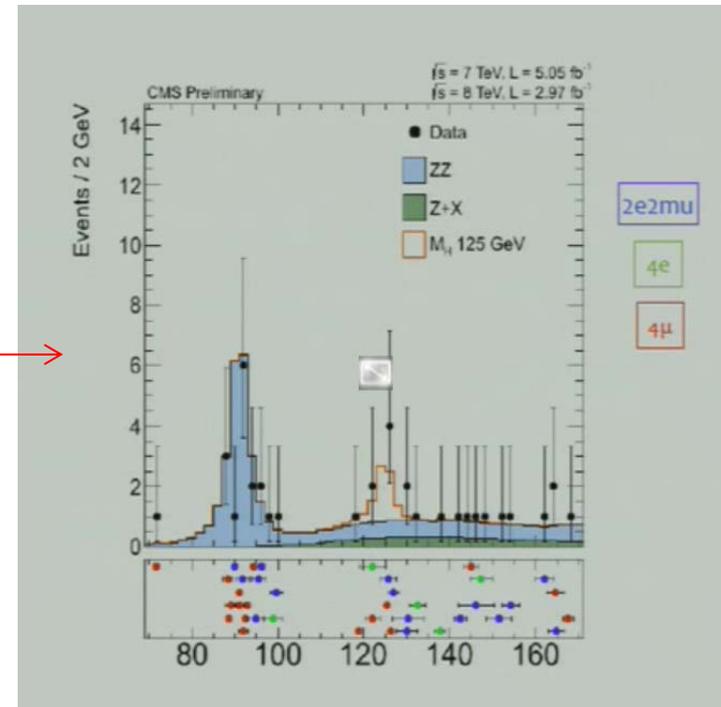
Red ifca.es  
CSIC

GRID-CSIC



# Cómo se cierra el ciclo

- Simulación de colisiones
- Toma de datos y procesado
- Decisión del análisis
- Contraste con la simulación
  - UNBLINDING!
- Aprobación de los resultados
- Escritura final del artículo
  - REVISIÓN
- Presentación/Publicación
  - OPEN ACCESS



Acceso a datos públicos

<http://cms.web.cern.ch/content/cms-public-data>

# Hablemos de cómo continuar aprendiendo

## ☉ ¿Cómo hemos aprendido hasta ahora?

### ☒ Método científico

- MODELO/HIPOTESIS - EXPERIMENTO/TEST

### ☒ Avance tecnología

- EXPERIMENTOS CADA VEZ MÁS COMPLEJOS
- **SIMULACIÓN REALISTA**

## ☉ ¿Hay algún area a la que no se aplique este método?

### ☒ Desde los quarks hasta el Universo,

desde las proteínas hasta el cerebro (?),

- NO HAY "FRONTERAS" DE DISCONTINUIDAD (?)

- Podremos algun dia simular nuestro propio desarrollo?

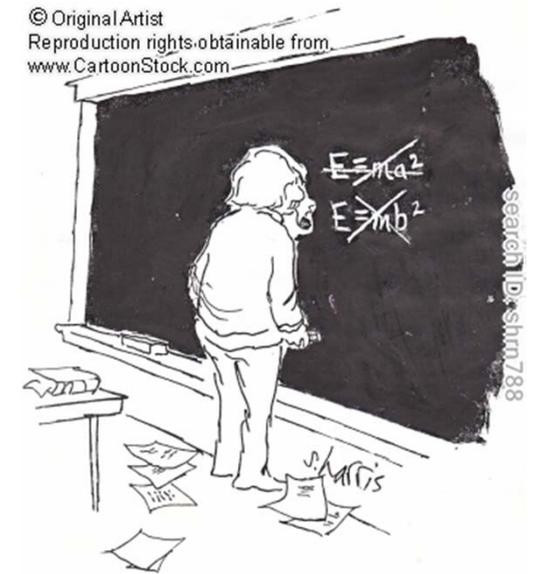
### ☒ "SHOCK" de la transición de siglo:

- BASES BIOLÓGICAS DE LA CONCIENCIA

# Hablemos de cómo continuar aprendiendo

## ¿Cuál es el límite del cerebro humano?

- Una evolución de cientos de miles de años, es equivalente a una demográfica (de miles de millones)?
- Einstein desarrolló la Relatividad Especial (1905) y luego la Relatividad General (1915), comprobada experimentalmente en 1919
- En paralelo, muchos físicos muy brillantes desarrollaron la física cuántica, la teoría cuántica de campos, y el modelo estándar de partículas, con la guía de los resultados experimentales
- ¿Seremos capaces de desarrollar algún día una nueva teoría que suponga un salto en nuestra comprensión (aunque no sea la ToE = Theory of Everything)?
- ¿Será la teoría de strings esta teoría? Un increíble esfuerzo teórico de los últimos 30 años realizado por una comunidad de primera línea



# Hablemos de cómo continuar aprendiendo

- ❖ ¿Se puede mejorar la conexión de los cerebros?
  - ❖ No lo sé
- ❖ Sabemos conectar los ordenadores, si los supercomputadores llegan a competir con el cerebro, podríamos dar un salto en nuestro conocimiento?
  - ❖ No entendemos cómo funciona nuestro cerebro
    - Proyecto HUMAN BRAIN
  - ❖ No sabemos (AUN) modelar el conocimiento para generar nuevo conocimiento
  - ❖ Los computadores SI escalan en RENDIMIENTO
  - ❖ ¿podríamos entender lo que descubrieran los computadores?

# Seguimos Sin Saber Nada

Pero Wikipedia viene en nuestra ayuda:

- ✦ En la *Apología de Sócrates* de Platón, se dice:  
– *Este hombre, por una parte, cree que sabe algo, mientras que no sabe [nada]. Por otra parte, yo, que igualmente no sé [nada], tampoco creo [saber algo].*
- ✦ La imprecisión de parafrasear este fragmento como «solo sé que no sé nada» radica en que el autor no está diciendo que no sabe nada, sino que hace ver que no se puede saber nada con absoluta certeza, sino solamente estar seguro de ciertas cosas.

# *Entonces, ¿seguimos sin saber nada?*

Una imagen personal de la evolución de los componentes del Modelo Estándar en los últimos 30 años:

✦ 1983, SppS, CERN

- ✦ Descubrimiento de los bosones pesados: Z, W

✦ 1989, LEP

- ✦ Límite de 3 generaciones de neutrinos
- ✦ Acuerdo perfecto de medidas de precisión del bosón Z con el SM

✦ 1995, FERMILAB

- ✦ Descubrimiento del quark top, masa 175 GeV

✦ 2000, Final de LEP (límite masa del bosón de Higgs:  $>114$  GeV)

✦ LA PREGUNTA (en 2000) : ¿qué veremos en LHC?

- ✦ No encontramos el bosón de Higgs
- ✦ Descubrimos el bosón de Higgs y tiene  $<130$  GeV
- ✦ Descubrimos el bosón de Higgs y tiene  $>130$  GeV

# *Entonces, ¿seguimos sin saber nada?*

## Algunos “problemas” del Modelo Estándar

- ✦ ¿POR QUÉ TRES GENERACIONES DE PARTICULAS ELEMENTALES?
- ✦ ¿POR QUE SUS MASAS SON TAN DIFERENTES?
- ✦ AJUSTES FINOS
- ✦ ¿DONDE ESTA LA MATERIA OSCURA?
- ✦ ¿Y LA ENERGÍA OSCURA?

# Entonces, ¿seguimos sin saber nada?

“Realmente”, ¿qué sabemos/entendemos?

- CONCEPTO DE PARTÍCULA

- Ligado al concepto de “campo”
- Antipartículas

- MASA

- SPIN

- CARGA

- SIMETRÍAS

- Carga, Paridad, Tiempo, CPT

- ESTRUCTURA ESPACIO-TIEMPO

- ¿El espacio-tiempo es discreto?
- ¿Cuántas dimensiones hay? *¿Somos Hormigas o Gigantes?*
- ¿Qué es el tiempo?
- ¿Que es el vacío?

# *Entonces, ¿seguimos sin saber nada?*

Realmente, ¿que sabemos/entendemos de la masa?

- ⊕ La masa es una magnitud invariante relativista
  - ⊠ Solo las partículas con masa nula pueden viajar a la velocidad de la luz en el vacío (**que otras partículas, aparte del fotón, tienen masa nula?**)
  - ⊠ Las demás partículas tienen una velocidad (propagación información) inferior
  - ⊠ **La masa de un protón no es la suma de la masa de los quarks y gluones que lo componen, sino que depende de su energía de "enlace"**
- ⊕ El campo de Higgs proporciona masa a las partículas
  - ⊠ [https://www.youtube.com/watch?annotation\\_id=annotation\\_341695&feature=iv&index=1&list=PLED25F943F8D6081C&src\\_vid=9Uh5mTxRQcg&v=ASRplym\\_jFM](https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_341695&feature=iv&index=1&list=PLED25F943F8D6081C&src_vid=9Uh5mTxRQcg&v=ASRplym_jFM)
- ⊕ **¿ Pero qué define los valores de los acoplamientos, es decir, de las masas ? ¿Por qué son tan diferentes?**

# *Entonces, ¿seguimos sin saber nada?*

Realmente, ¿que sabemos/entendemos del spin?

- ⊕ El spin de una partícula es una característica muy importante:
  - ⊠ Las partículas con spin entero (0,1,2...) son bosones
  - ⊠ Las partículas con spin semientero (1/2, 3/2...) son fermiones
- ⊕ El spin se justifica en la teoría cuántica relativista
- ⊕ Entendemos el principio de exclusión de Pauli, la conexión spín-estadística y la conservación CPT
- ⊕ **SUPERSIMETRIA (SUSY):**
  - ⊠ partículas y s-partículas (bosones  $\leftrightarrow$  fermiones)
  - ⊠ Méritos:
    - Solucionan “ajuste fino” en los cálculos
    - Convergencia de las fuerzas
    - Candidatos Materia Oscura
    - **Predicción concreta: hay un bosón de Higgs con masa  $<130$  GeV**

# ¿Seguiremos Sin Saber Nada?

- ☉ Sócrates concluye en el diálogo platónico *Menón* :  
—y ahora no sé qué es la virtud; tú quizás lo sabías antes de hablar conmigo, pero ahora eres ciertamente igual a uno que no sabe.

necesitamos

- ☉ Pero nosotros ~~podemos~~ seguir aprendiendo:

- ☐ 2015: LHC @ 13 TEV

- ☐ Es posible que:

- Aparezca SUSY
  - Producción de partículas supersimétricas
  - Candidatos de materia oscura
  - Efectos indirectos
- Encontremos efectos de dimensiones extra
- Surja algo completamente nuevo !