

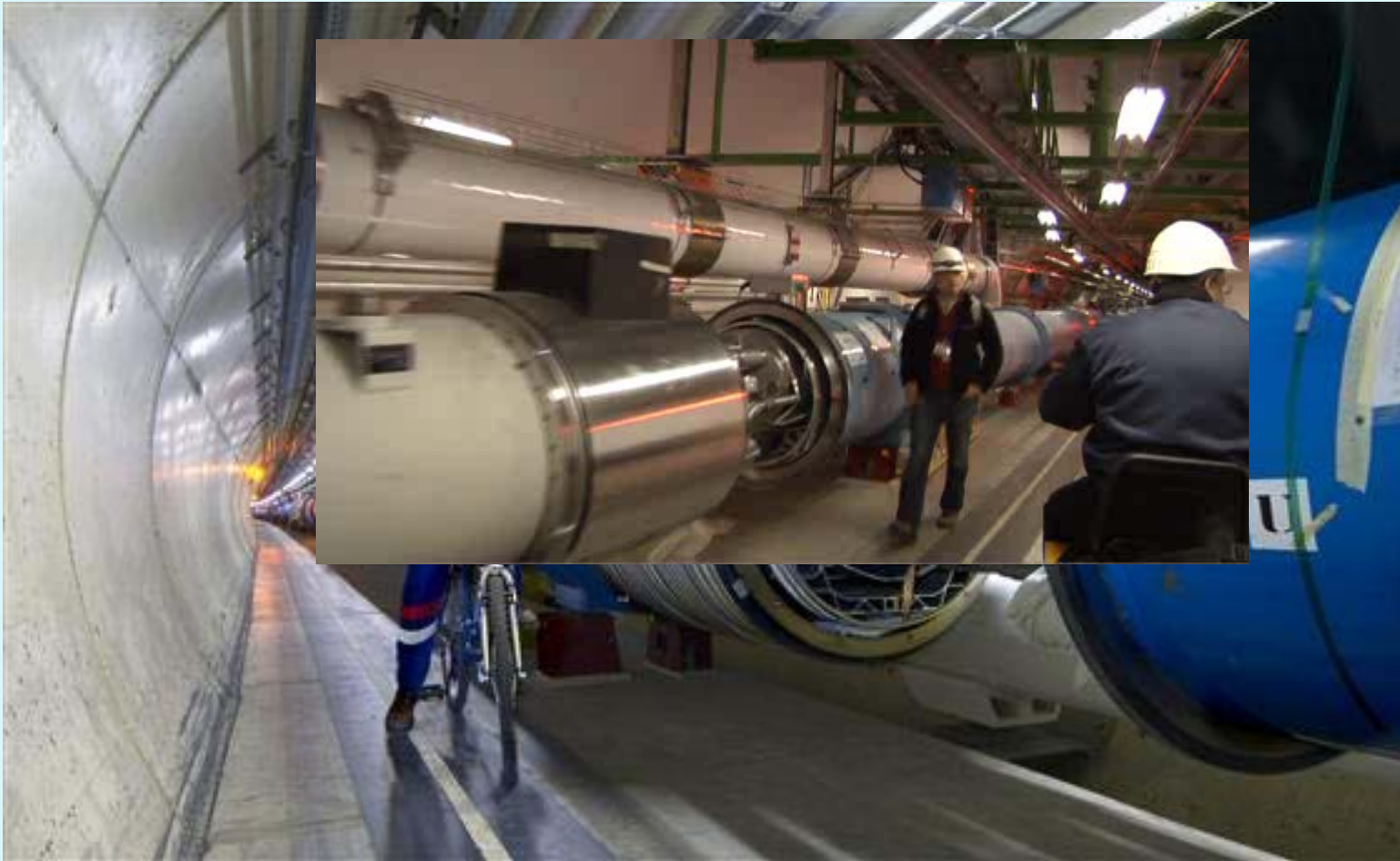
# El acelerador LHC: el más grande detector para investigar lo más pequeño



Carmen Iglesias Escudero  
Universidad Santiago de Compostela

# El acelerador LHC

LHC (Large Hadron Collider) es el colisionador protón-proton situado en el CERN con un anillo de 27 km de longitud y una profundidad de unos 100m.



# LHC (en grandes números)

## Parámetros (protones):

- Energía: **7 TeV**
- Campo magnético (dipolo) para 7 TeV: **8.3 T**
- **$3 \cdot 10^{14}$  Protones / haz** (agrupados en 3000 bunches)
- Corriente: 0.56 A
- Luminosidad:  $10^{34}$  cm<sup>2</sup>/s

## Imanes superconductores. Criogenia:

12 millones de litros de nitrógeno líquido se vaporizaran durante el enfriamiento inicial de 31000 toneladas de material y posteriormente 700000 litros de helio líquido serán necesarios para mantenerlo por debajo de 2K.

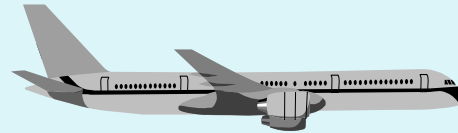
## Energía almacenada:

Energía en los dos haces: **0.7 GJ**

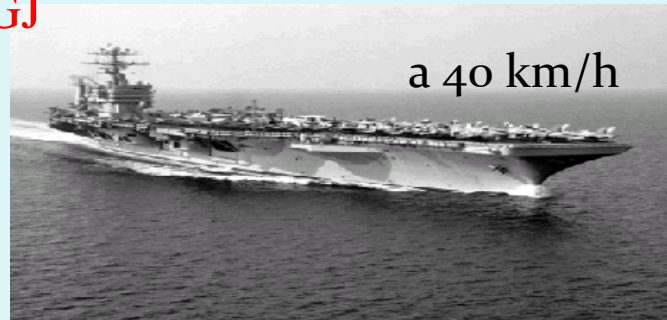
Energía en los imanes: **10.4 GJ**

**Total:**

**11 GJ**



50 toneladas a 600 km/h



a 40 km/h

## Coste del LHC + los 4 detectores :

4.000 millones + 2.000 millones : **6.000 millones de euros**

- Misil Tomahawk: 3 millones de euros
- Fichaje Zidane por el Real Madrid: 76 millones de euros
- Titanic (película 1997): 240 millones de dólares
- Buque-petrolero "El Señor de los Mares" (2ª mano): 1.135 millones de dólares
- Emirates Palace, en Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos): 3.000 millones de dólares
- Gasto Militar Total en España (2008): 18.910,32 millones de euros
- Fortuna Personal de Bill Gates: 40.600 millones de dólares
- Gasto Militar Total en EEUU (2007): 158.283 millones de euros

# ¿Qué es el CERN?

**CERN:** Laboratorio Europeo de Física de Partículas, situado cerca de Ginebra, entre la frontera suiza y francesa.

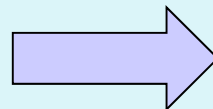


**1954-2004: 50º aniversario**



**1952** Primer año de funcionamiento. 1000 científicos, mitad de los físicos del mundo, vienen al CERN para su investigación. Representan 500 universidades y sobre 80 nacionalidades

Segundo año de funcionamiento. 1952, 6500 científicos del mundo, vienen al CERN para su investigación. Representan 500 universidades y sobre 80 nacionalidades



# Un poco de Historia... (I)

- **1957:** El SC (**synchro-cyclotron**) de 600 MeV, fue el 1<sup>er</sup> acelerador del CERN. Después de 33 años fue cerrado en 1990
- **1959:** El PS (**Proton Synchrotron**) aceleró protones por 1<sup>a</sup> vez .
- **1971:** ISR (**Intersecting Storage Rings**) el primer colisionador protón-protón



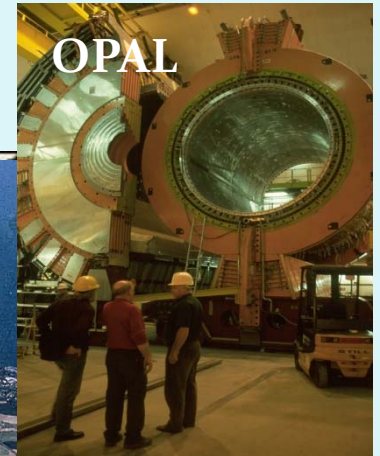
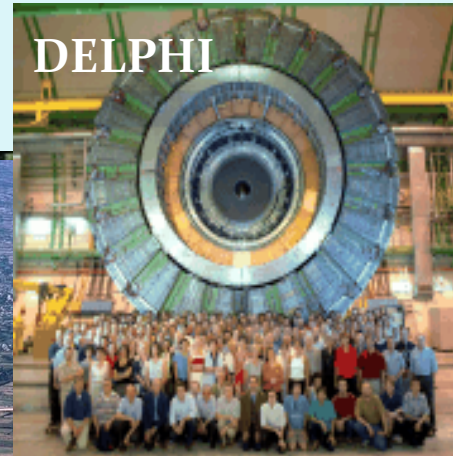
**1973:** descubrimiento de la corriente neutra, con  $\nu$ 's en la cámara de burbujas Gargamell.



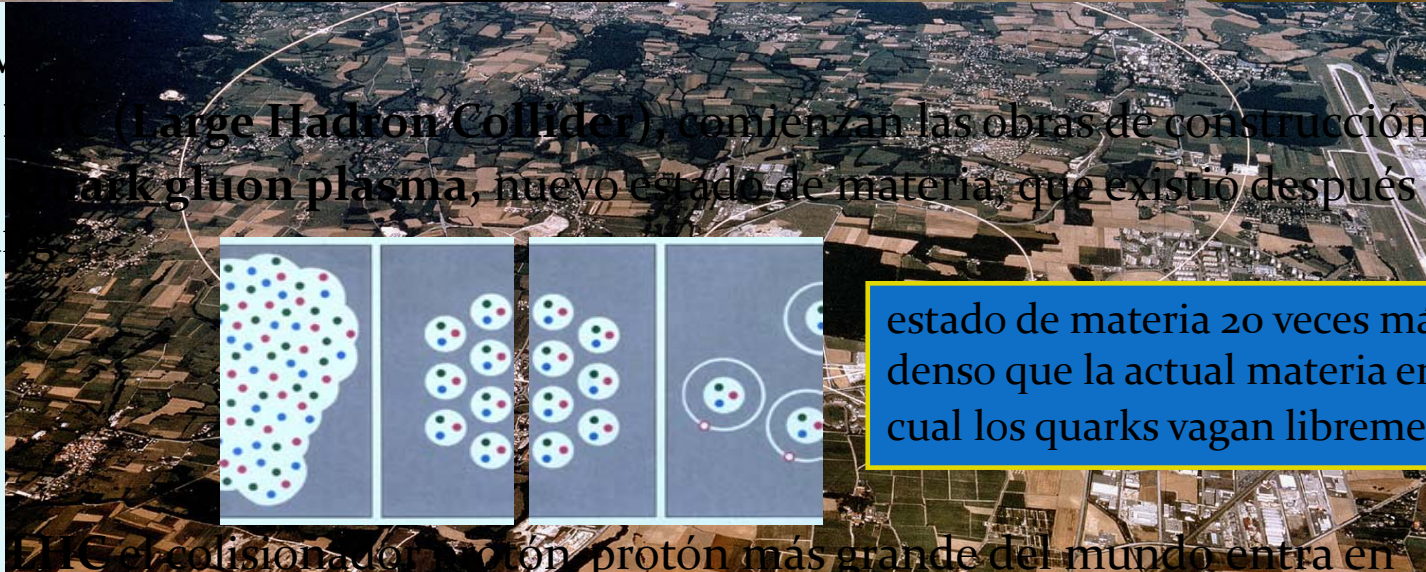
- **1976:** SPS (**SuperProton Synchrotron**), con 7km de circunferencia, operacional

# Un poco de Historia... (II)

- **1989:** LEP (Large Electron-Positron), el colisionador de 27 km de circunferencia entra en funcionamiento, con sus 4 detectores:



- **1993:** M...
- **1999:** (Large Hadron Collider) comienzan las obras de construcción
- **2000:** quark gluon plasma, nuevo estado de materia, que existió después del Big Bang



estado de materia 20 veces más denso que la actual materia en la cual los quarks vagan libremente

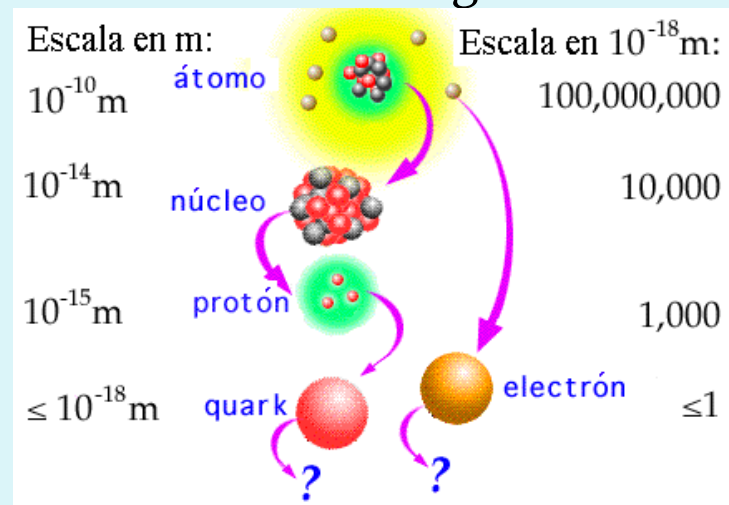
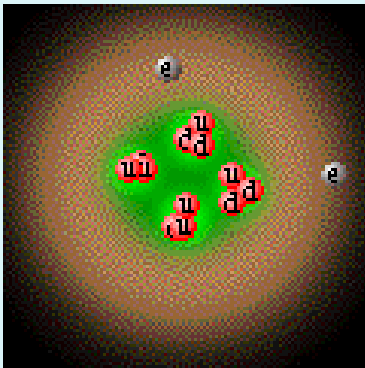
- **2008:** LHC el colisionador de protones más grande del mundo entra en funcionamiento... junto con sus 4 experimentos, ALICE, ATLAS, CMS y LHCb

# ¿Por qué se estudian las partículas? Porque estamos hechos de ellas...

- Gracias al trabajo del CERN, sabemos que sólo se necesitan cuatro tipos de "ladrillos" para formar toda la materia común:




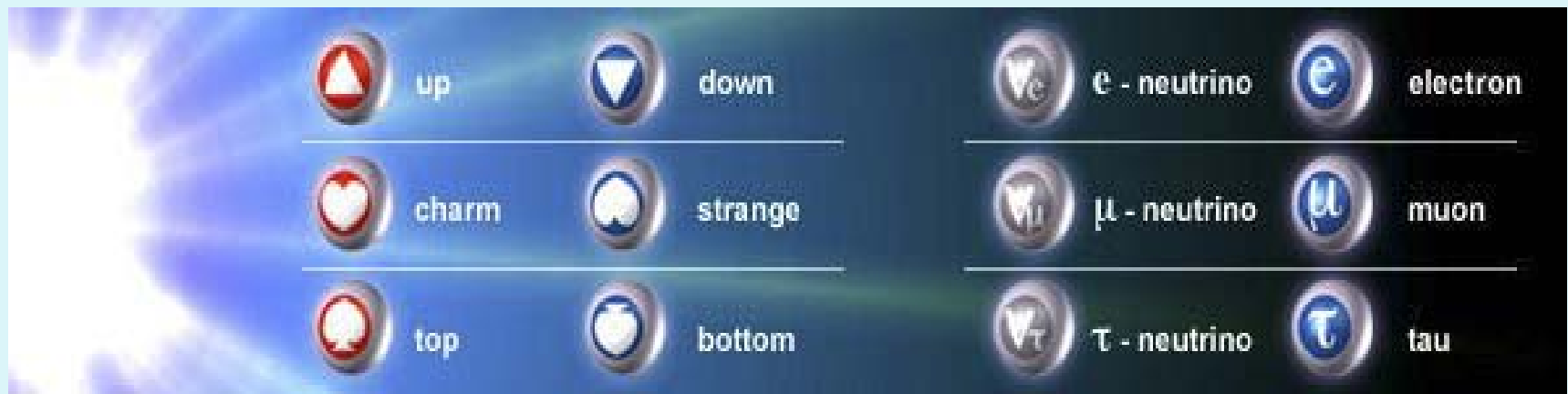
- Los **quarks** forman protones y neutrones que se unen para formar **núcleos**. Los **electrones** circulan alrededor de estos núcleos dando lugar a los **átomos**.




- Los átomos, finalmente, se unen para formar los objetos más complejos.
- Los neutrinos electrónicos como interaccionan muy débilmente con la materia, es muy difícil observarlos.

# Hay más partículas de las que vemos!!!

- La naturaleza está llena de sorpresas!!! 
- Existen otras 2 familias de partículas, similares a las anteriores, excepto porque son más pesadas. Forman la 2ª y 3ª generación, son inestables y se desintegran rápidamente en partículas de la 1ª generación. Ése es porqué las partículas de la 1ª generación son las únicas que observamos.



¿Por qué la naturaleza iba a producir 3 familias de partículas?. Se trata de un misterio que debe ser resuelto en el futuro por los físicos. 



# ¿A que se dedica el CERN?

- A la comprensión de los constituyentes fundamentales de la materia.

## **¿Cuál es el origen y composición de la materia?**

Para saberlo debemos tratar de reproducir el BigBang, cuando existían partículas muy masivas que después dieron origen a las actuales.

## **¿Cómo conseguir partículas tan pesadas?**

A partir de partículas muy energéticas, alcanzando energías muy altas en los aceleradores.

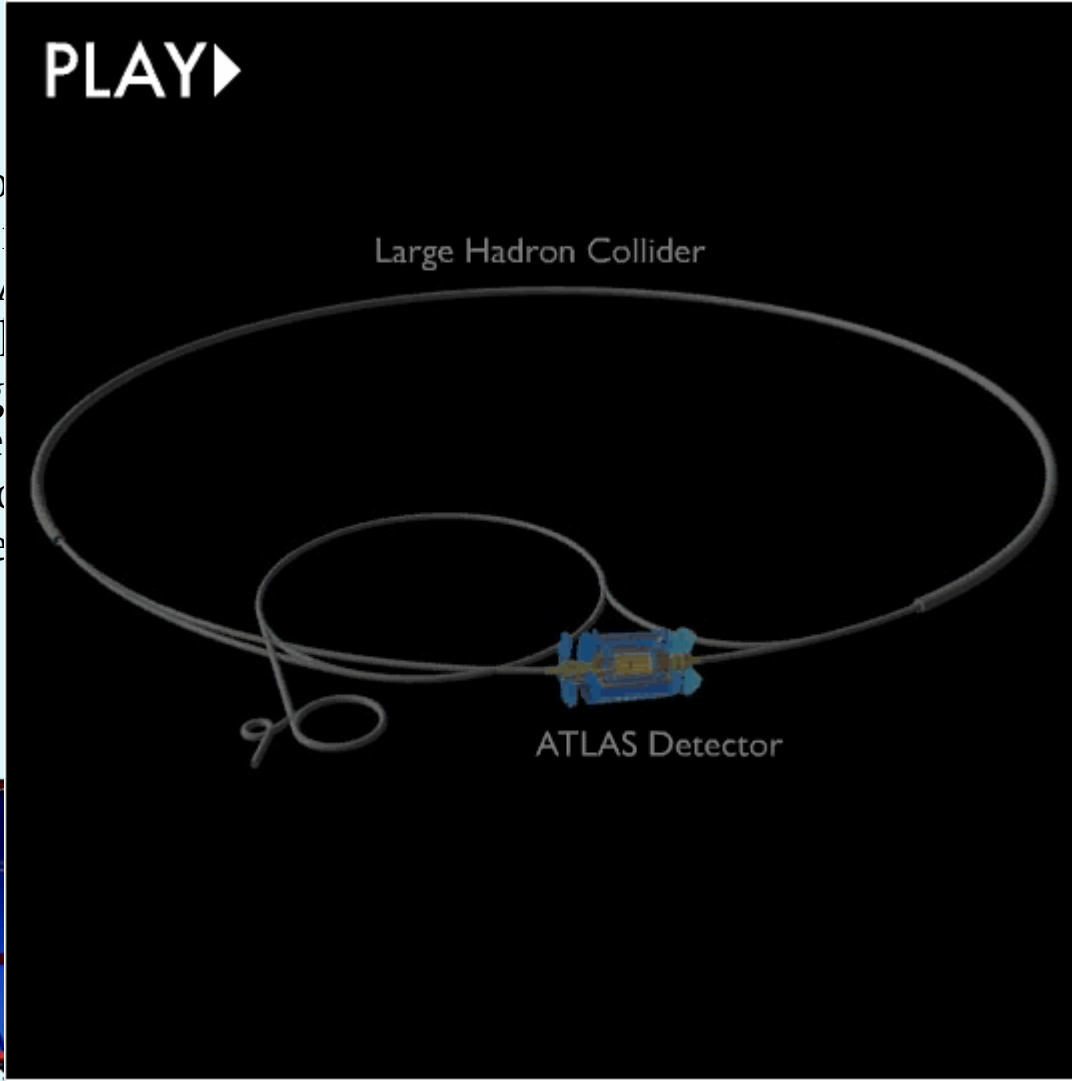
- Los aceleradores y los detectores, están entre los mayores y más complejos instrumentos científicos del mundo.

[video](#)

# ¿Cómo se aceleran las partículas?

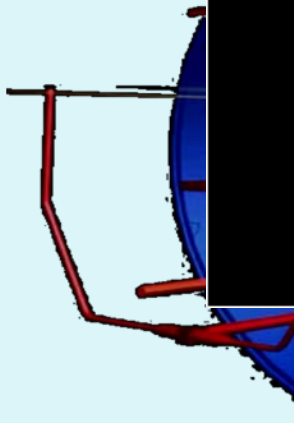
El haz de protones  
Primero debe inyectarse  
• El LINAC (Acelerador Lineal)  
• En el CERN se inyecta el haz  
Después el haz se acelera en el  
• El Protón  
Finalmente el haz se acelera en el  
Siendo posteriormente el haz deseado de

PLAY ▶

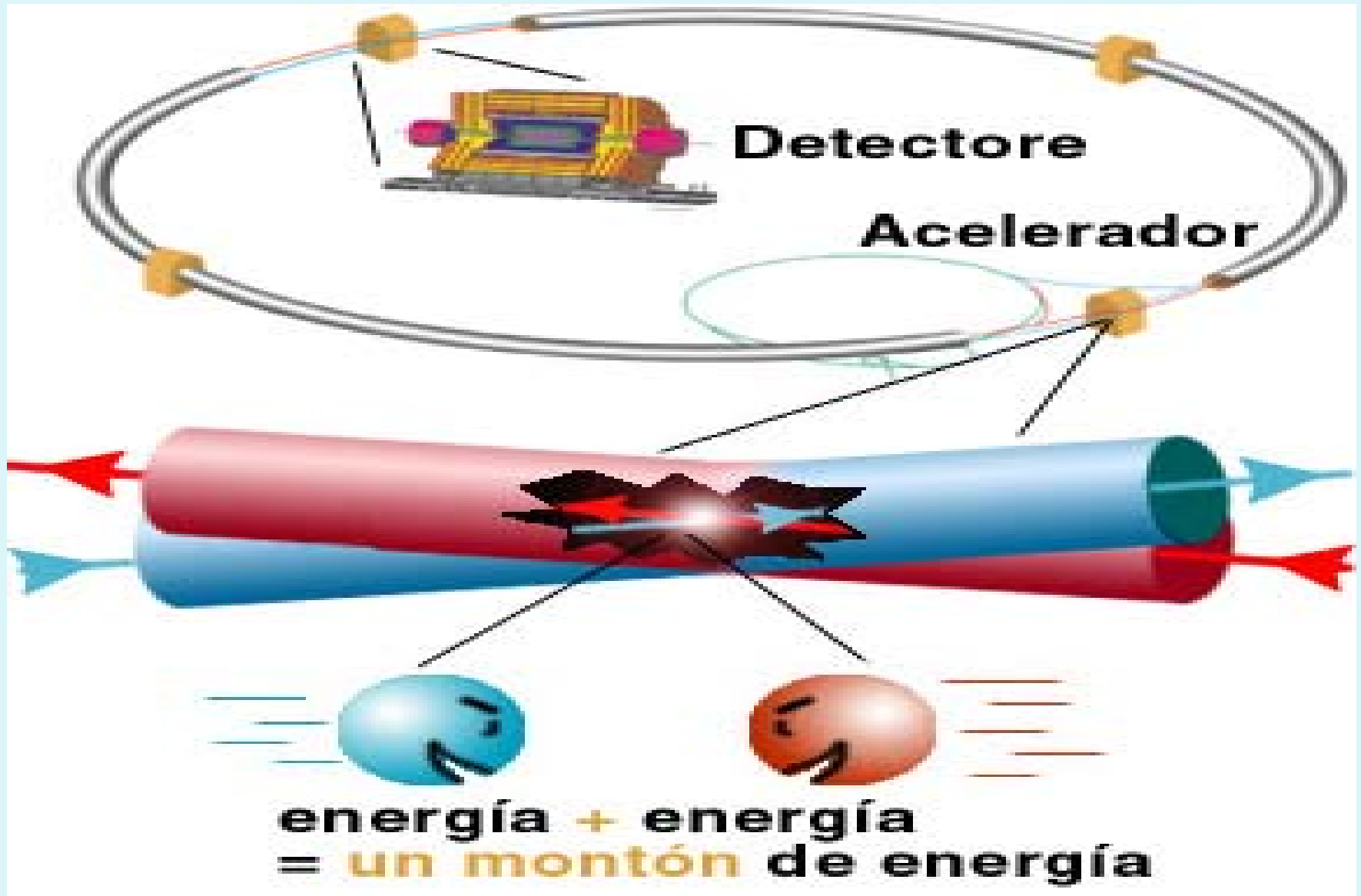


LHC .

hasta 50 Mev  
que  
otros.  
/  
energía de

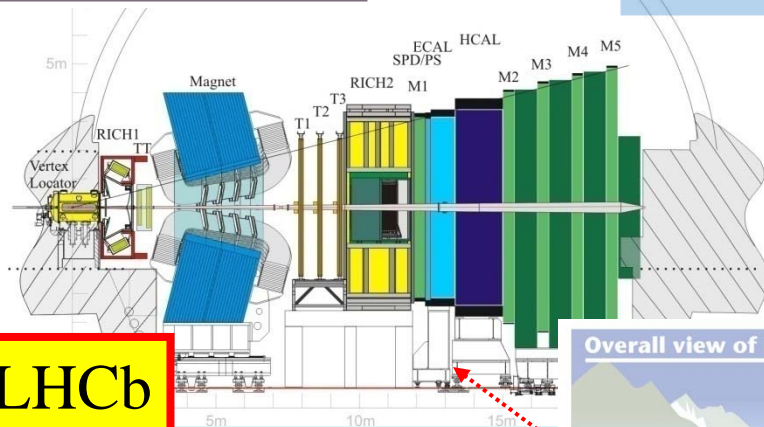


...haciéndolas chocar unas contra otras...



# Detectores

Longueur (m)	18
Largeur (m)	12
Hauteur (m)	12
Poids total (t)	4 270

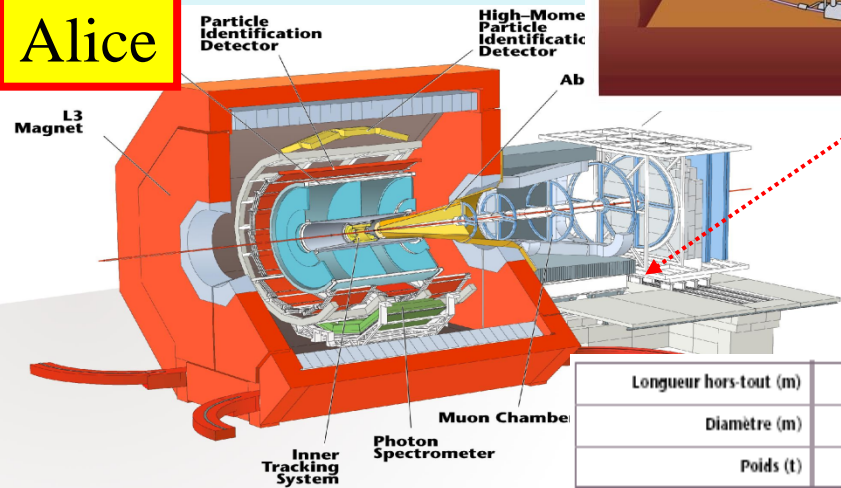


**LHCb**

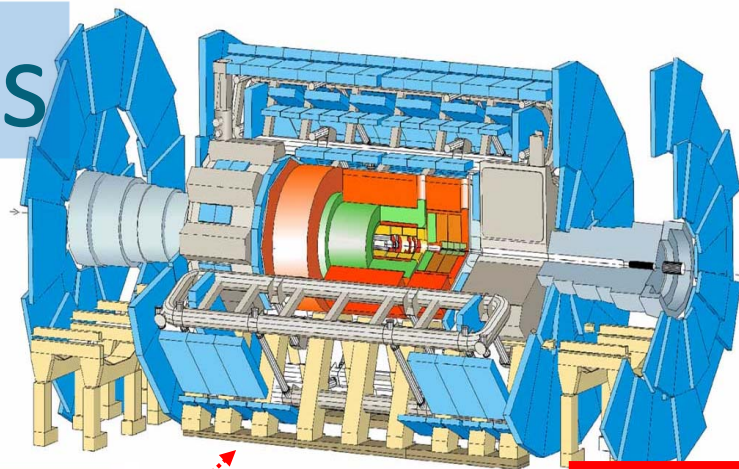
Detector dedicado al estudio del quark b

Detector dedicado al estudio de los iones pesados

**Alice**

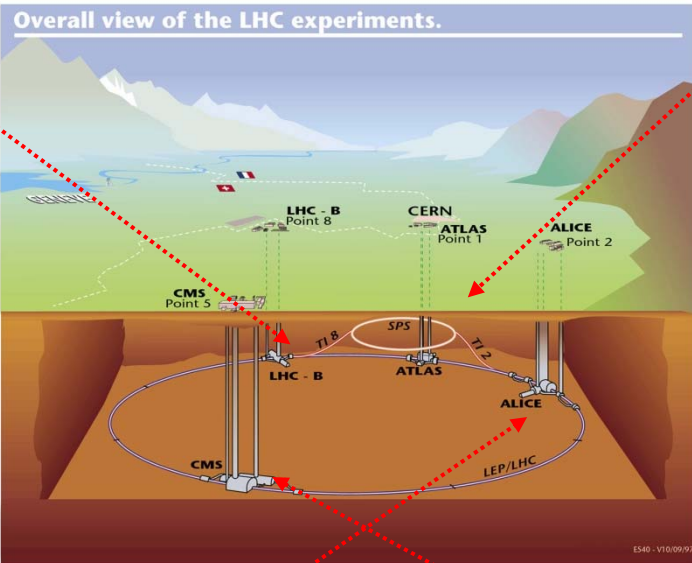


Longueur hors-tout (m)	25
Diamètre (m)	15
Poids (t)	10 000



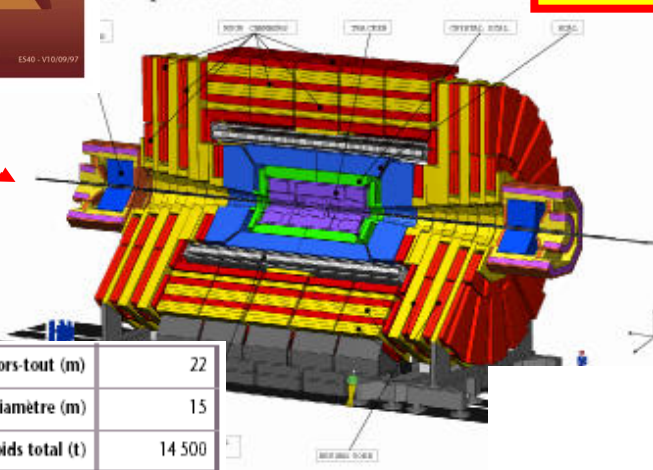
**Atlas**

Detectores de carácter general cuyo propósito es el estudio de la física protón-protón, encontrar evidencias experimentales de la existencia del bosón de Higgs y estudiar la física mas allá del Modelo Estándar



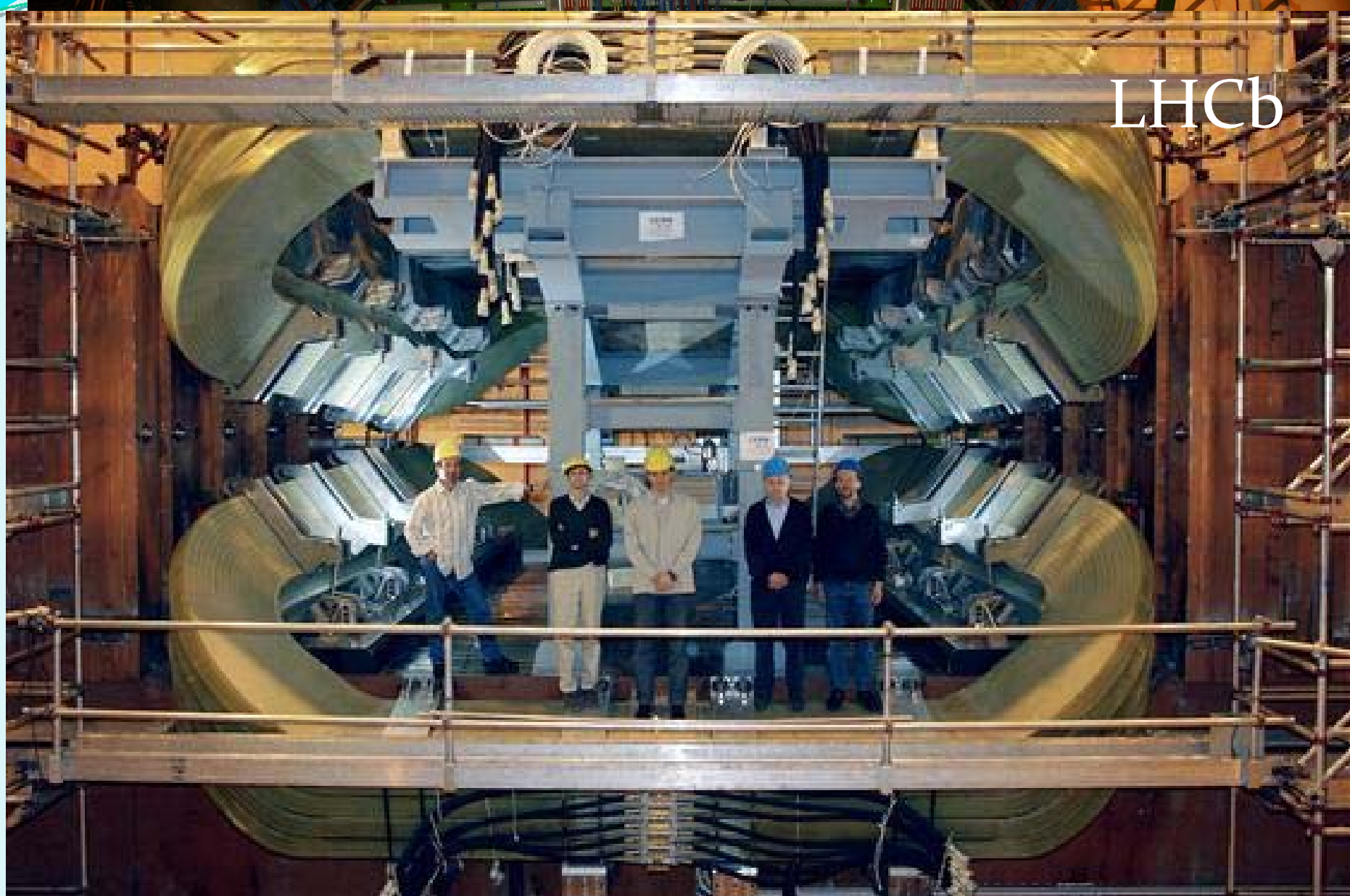
**CMS**

CMS Compact Solenoidal Detector for LHC



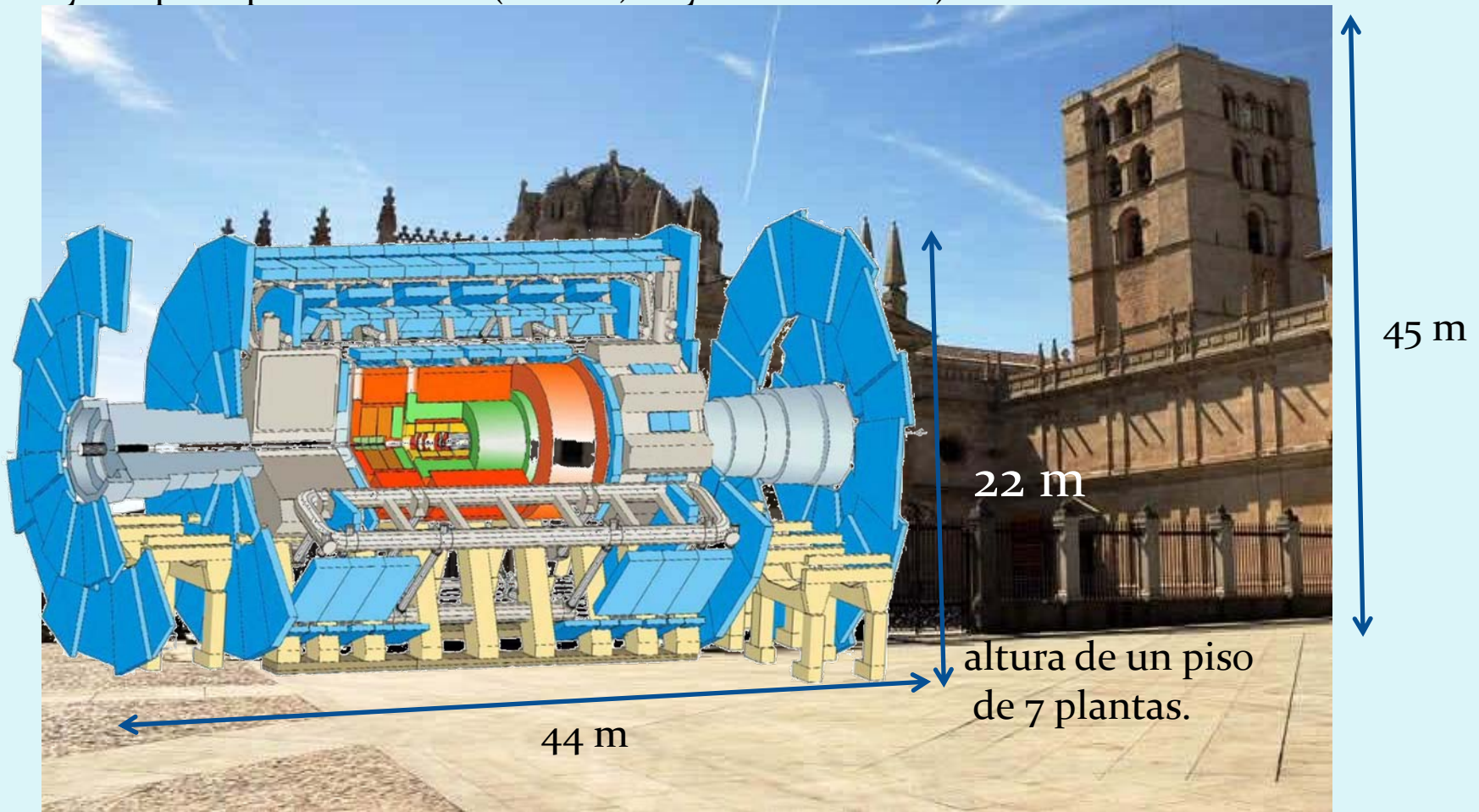
Longueur hors-tout (m)	22
Diamètre (m)	15
Poids total (t)	14 500

# Fotos de los Detectores



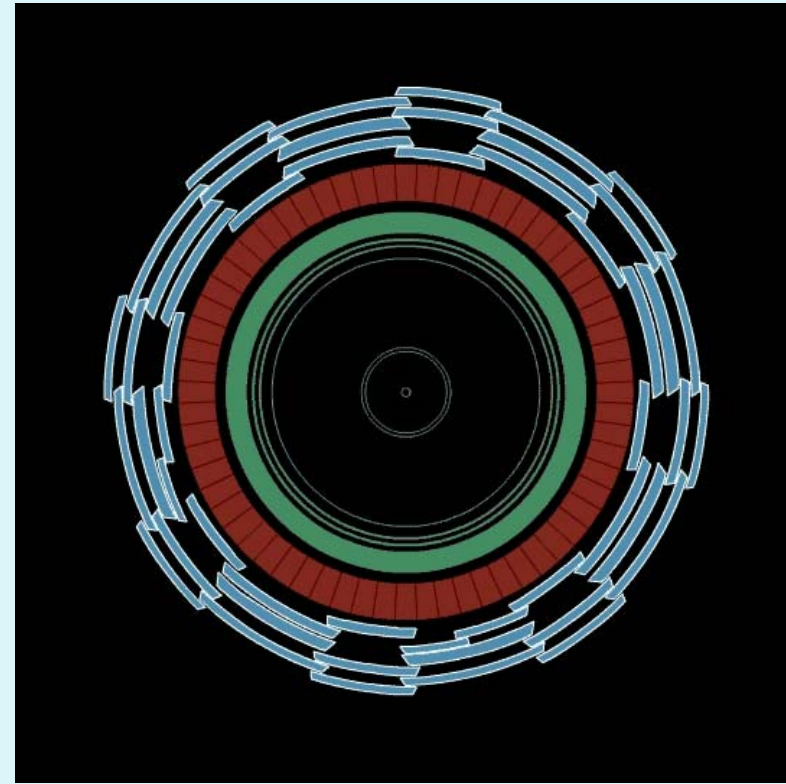
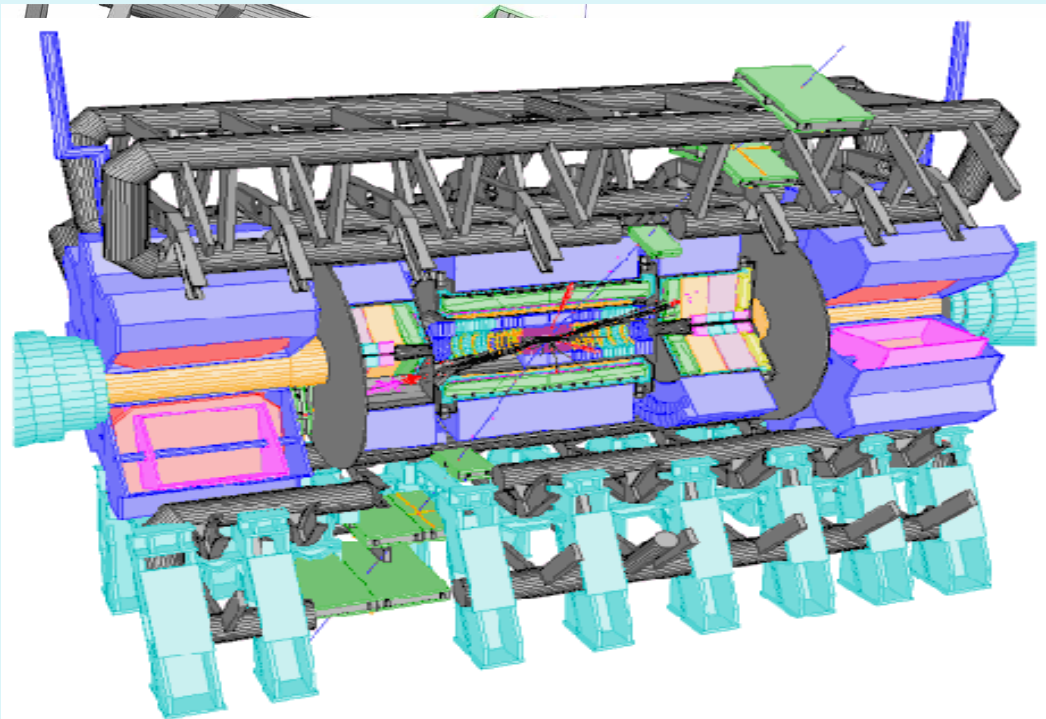
# ¿Por qué son tan grandes los detectores?

- Parece paradójico que el estudio de objetos minúsculos requiera el uso de detectores tan gigantescos;
- la razón es que **cuanto mayor es la energía de las partículas** que emergen de las colisiones, **mayor es su poder de penetración en la materia**, por lo que se necesita un mayor espacio para detenerlas (es decir, mayores detectores).



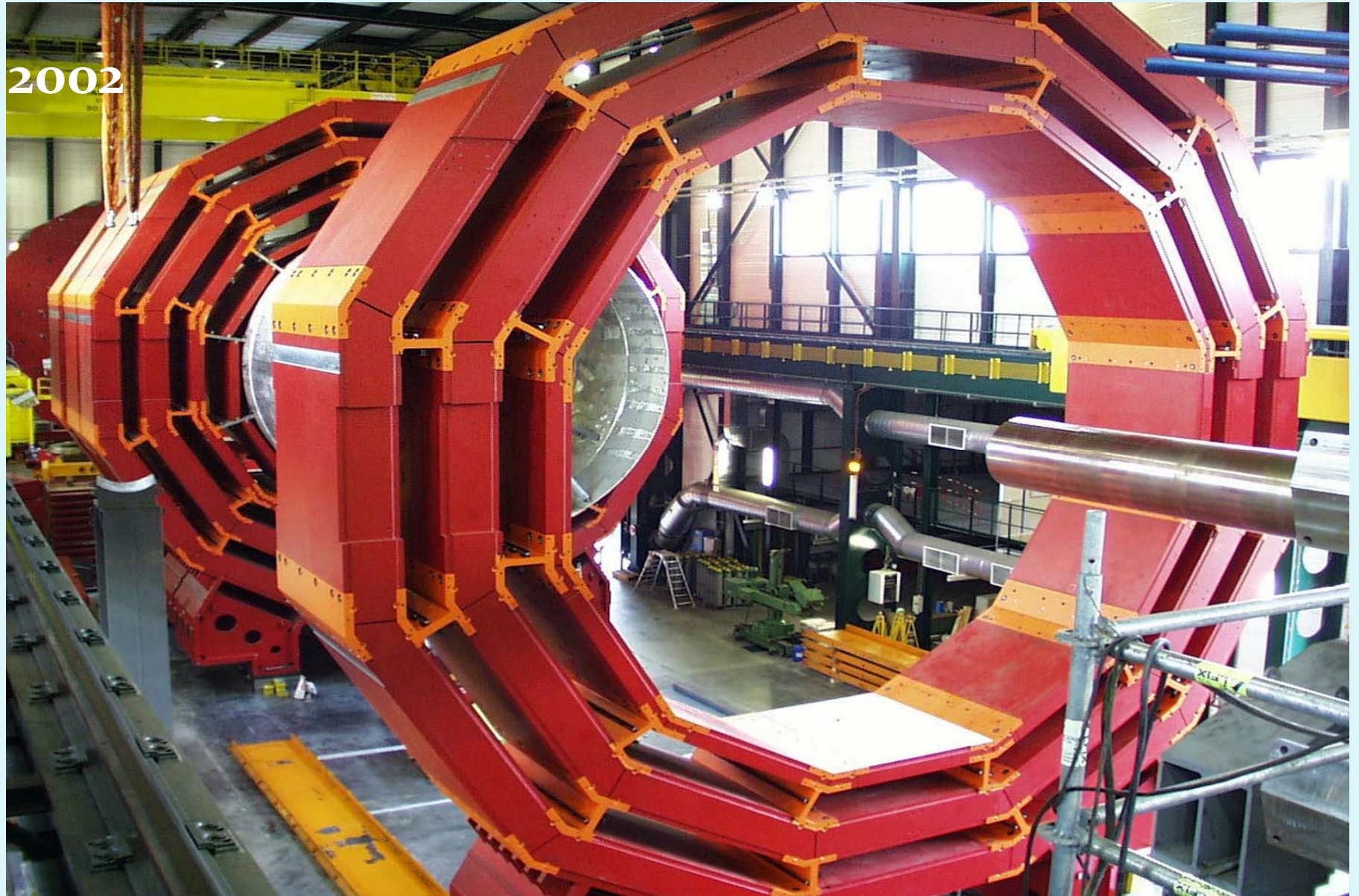
- **Subdetectores**

- **Detector Interno (Inner detector):** detecta trazas de partículas cargadas.
- **Calorímetros (LAr y Tilecal):** mide la energía depositada por las partículas electromagnéticas y hadrónicas y la posición de las misma
- **Espectrómetro de muones (Muon detector):** mide el momento de los muones.



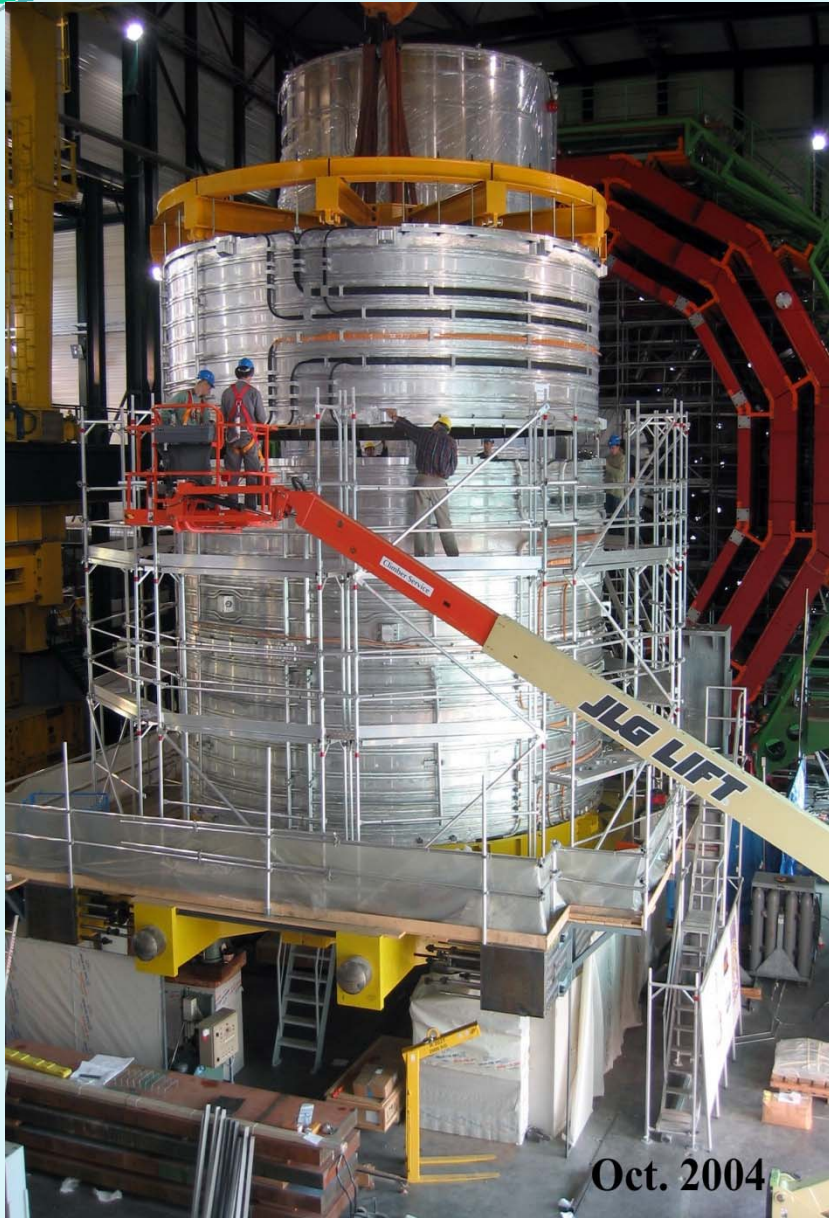
# Montaje de CMS

2002

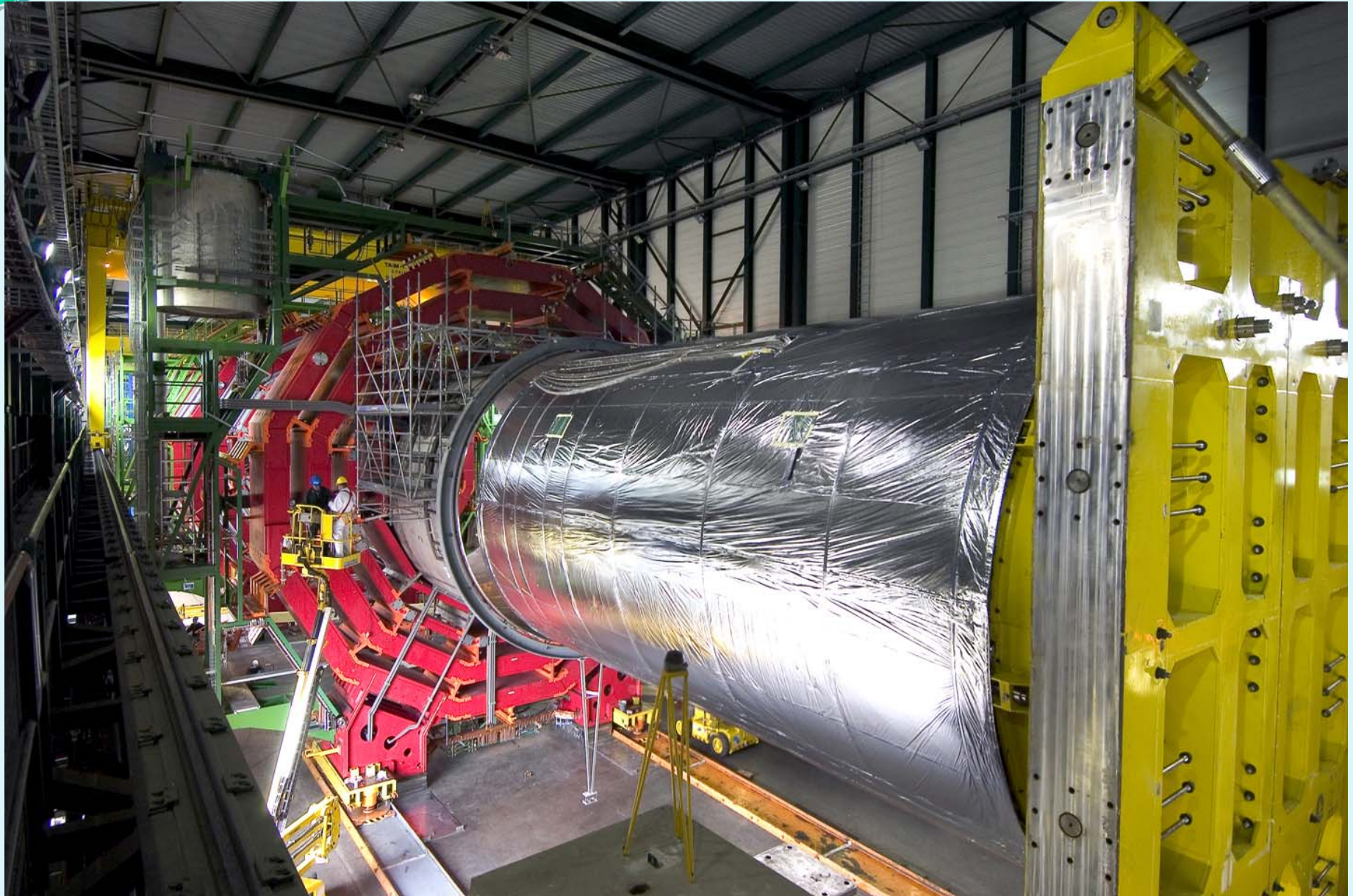




# Montaje de CMS



# Montaje de CMS



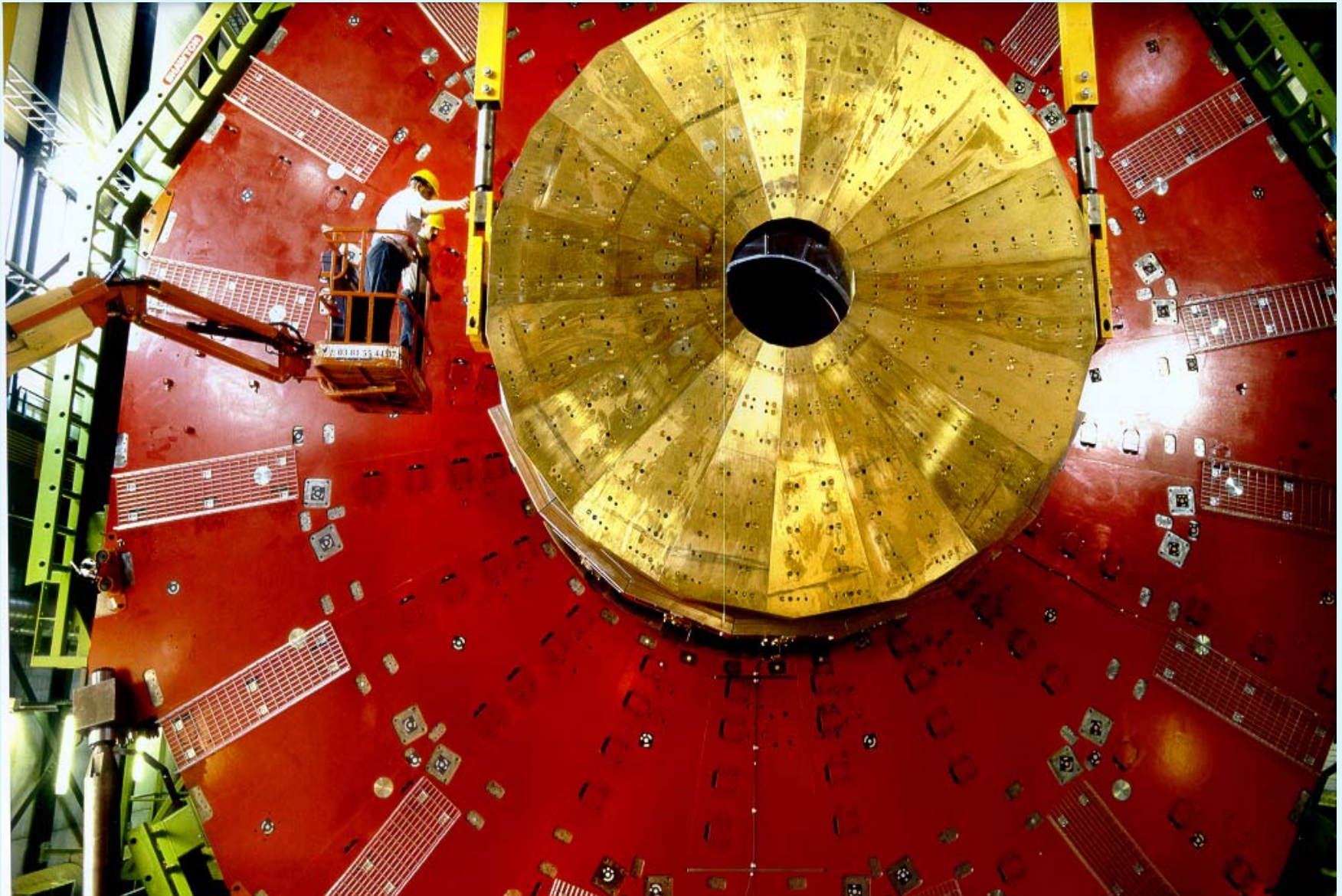
# Montaje de CMS



Sept 05

**Coil: 230 tons**  
**Outer vacuum tank:**  
13 m long SS tube,  $\phi=7.6$  m

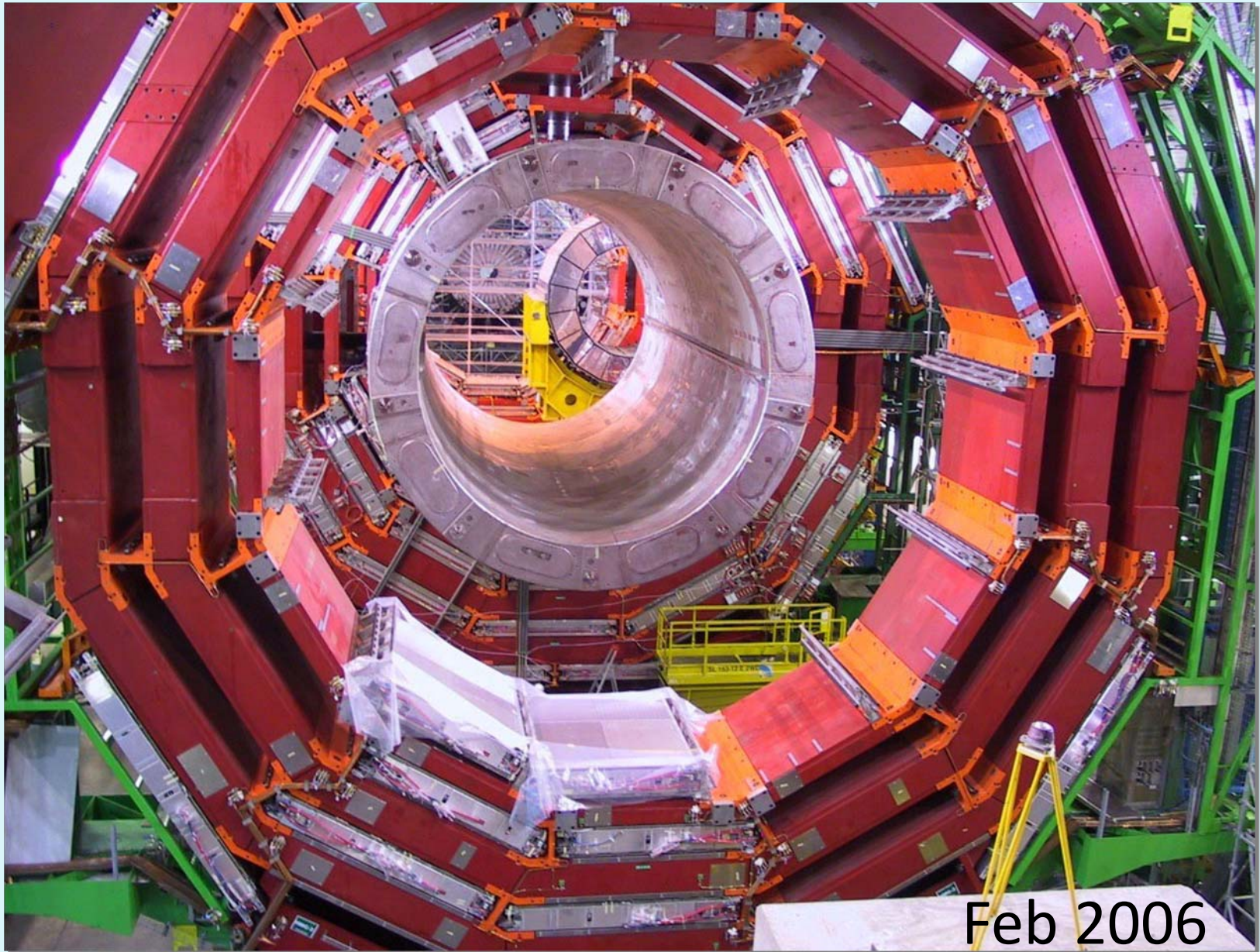
# Montaje de CMS



# Montaje de CMS

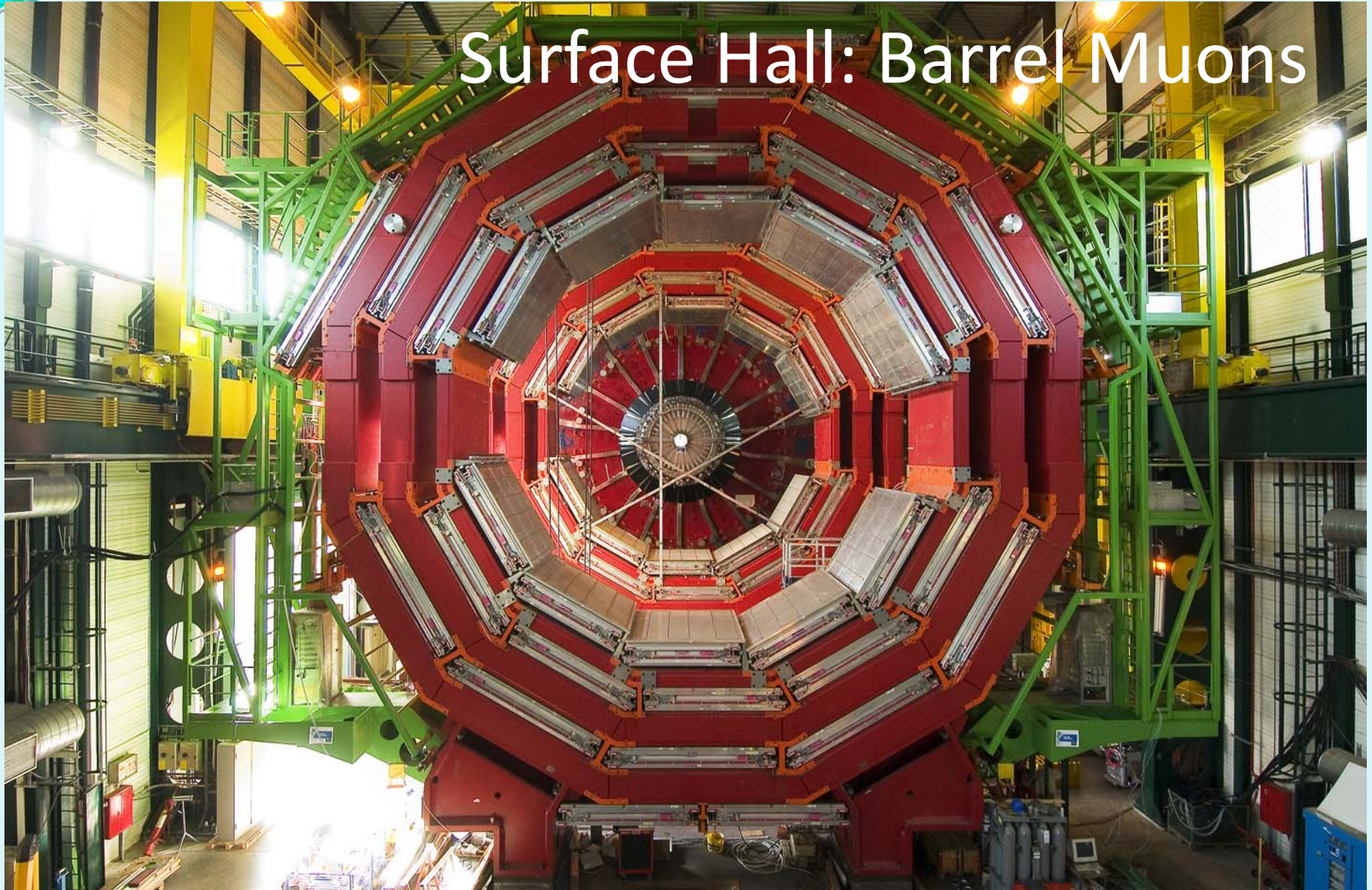


# Montaje de CMS



# Montaje de CMS

Surface Hall: Barrel Muons

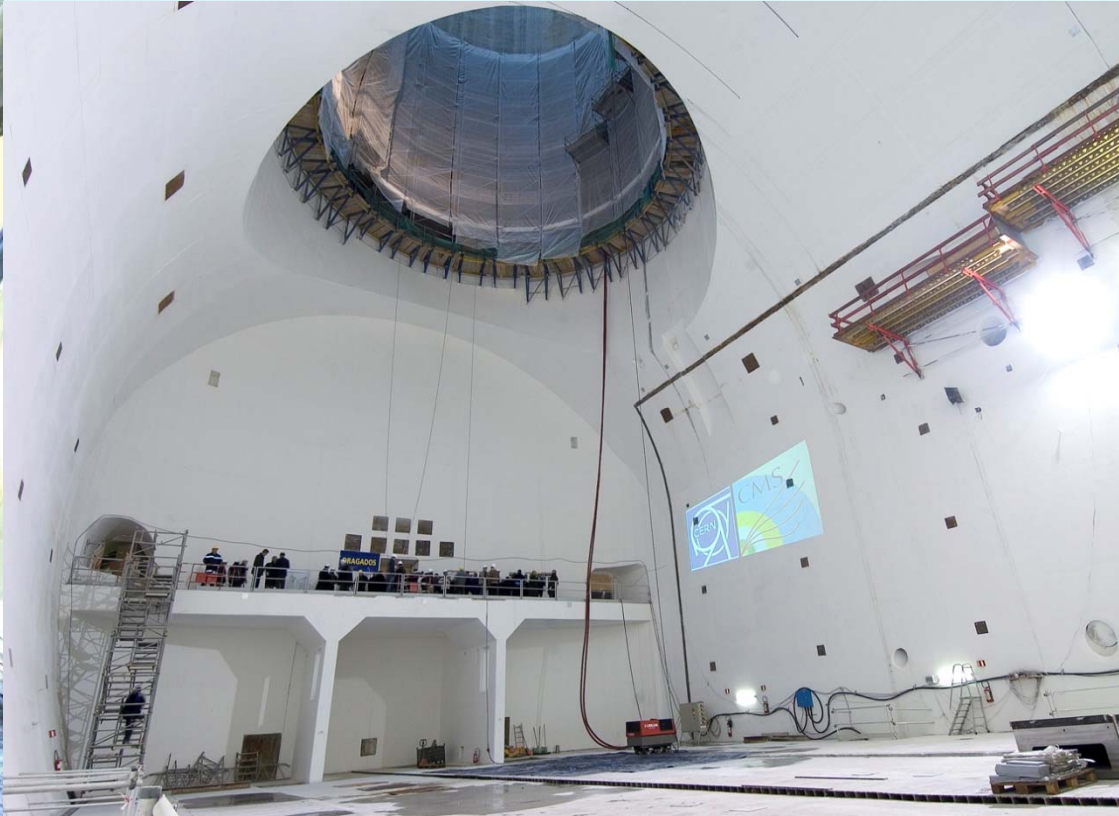


# Montaje de CMS

2003



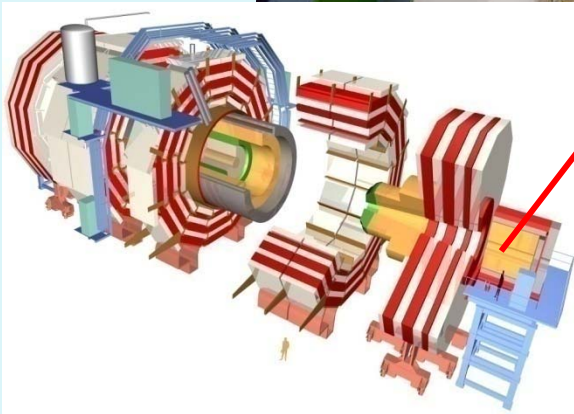
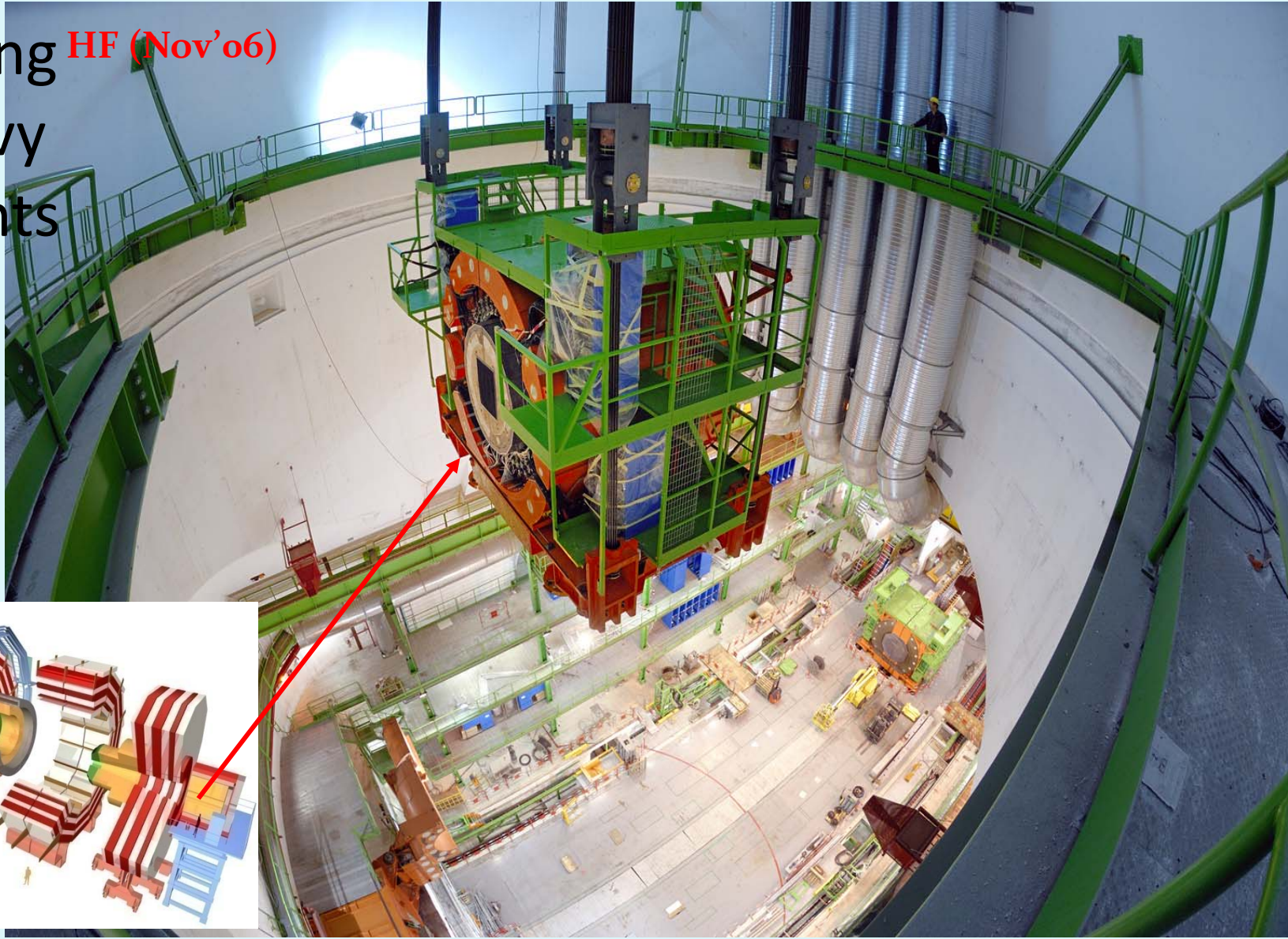
2004



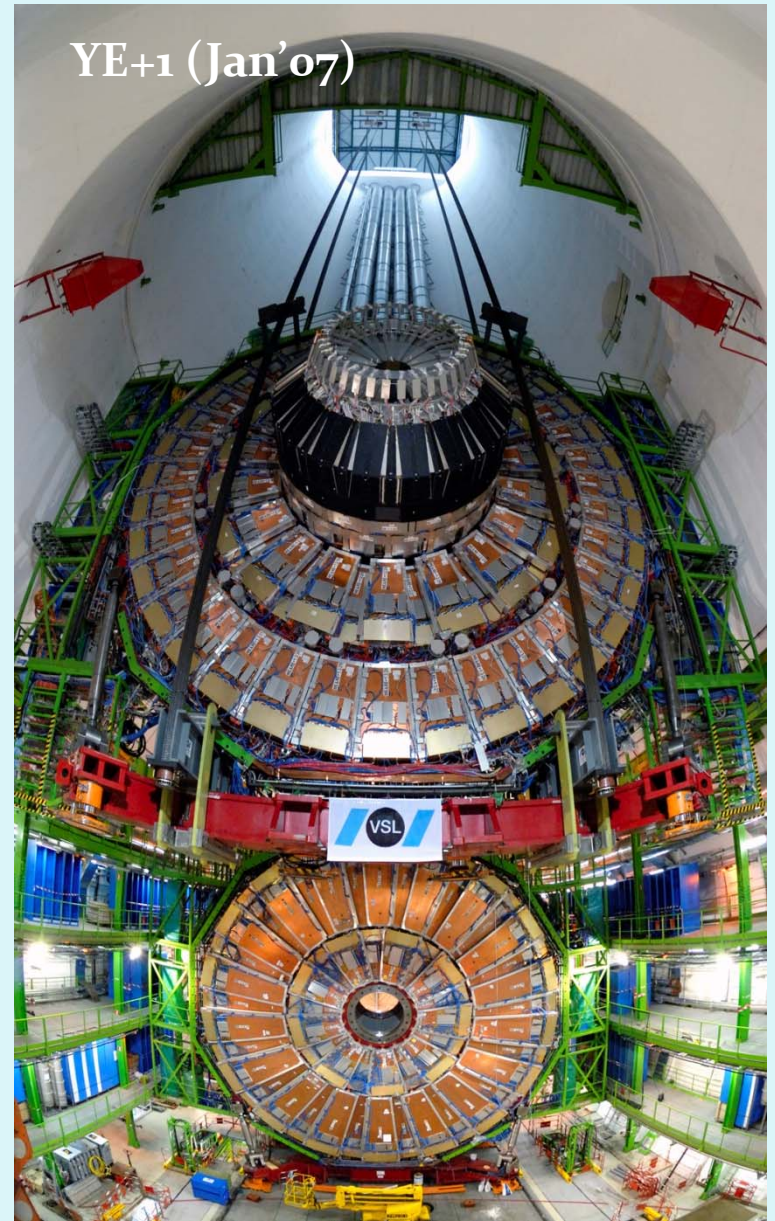
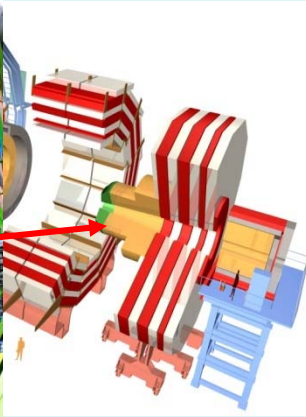
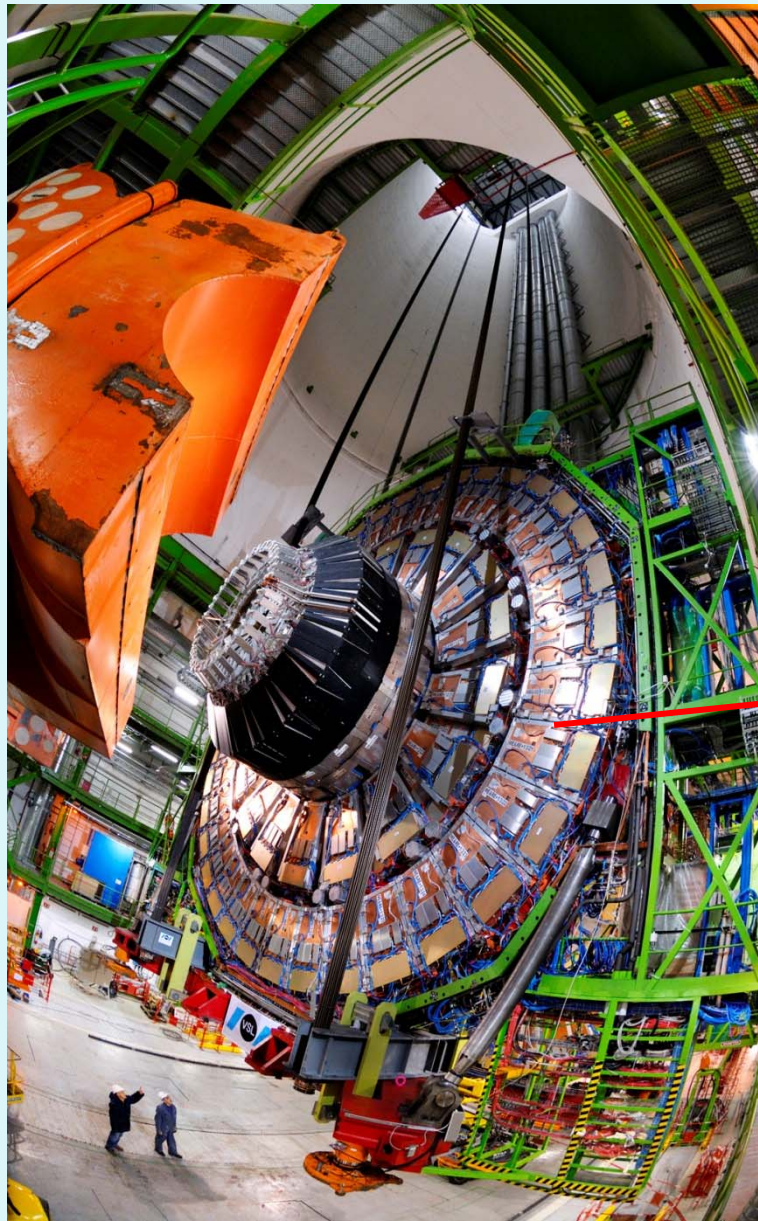


# Montaje de CMS

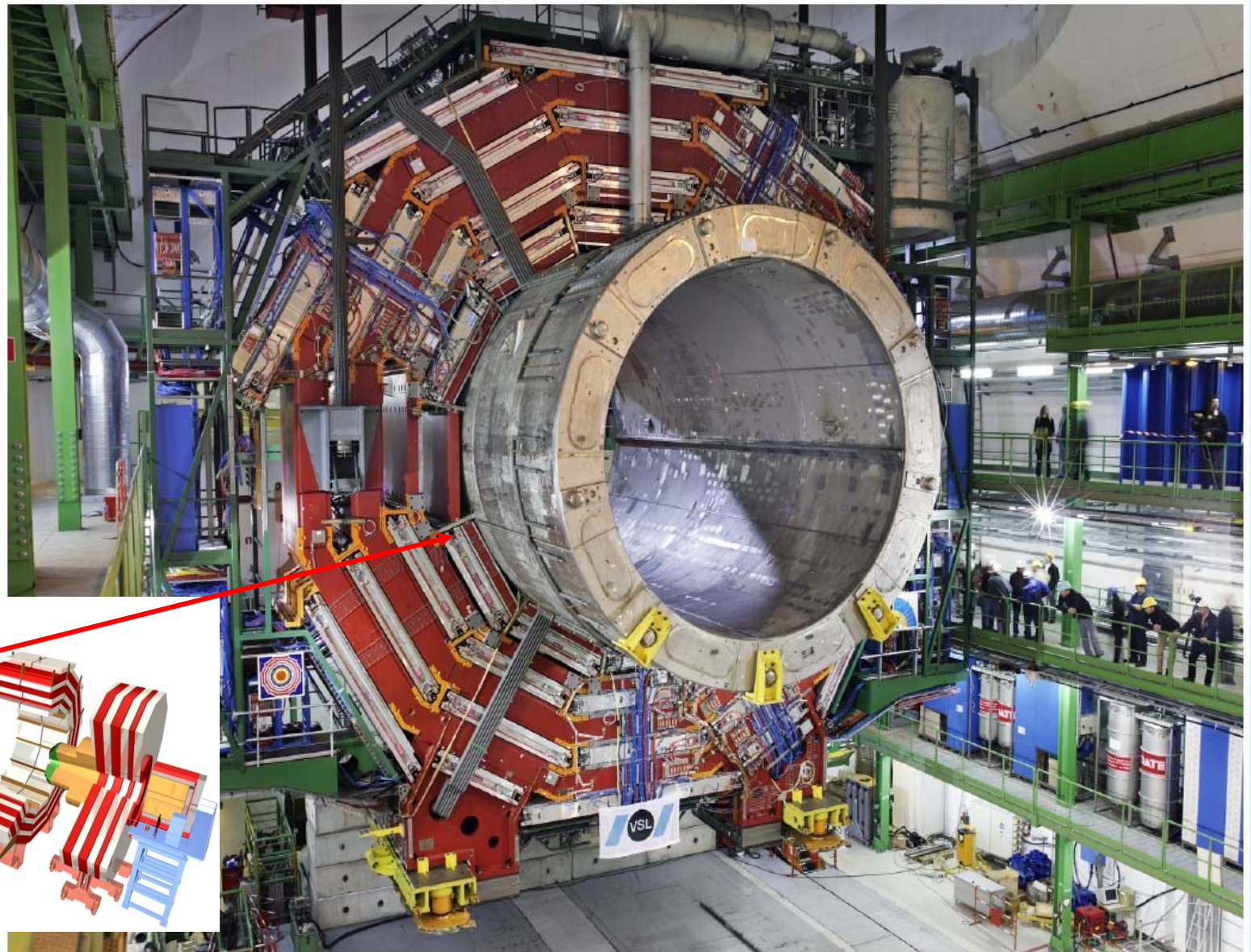
Lowering of Heavy Elements HF (Nov'06)



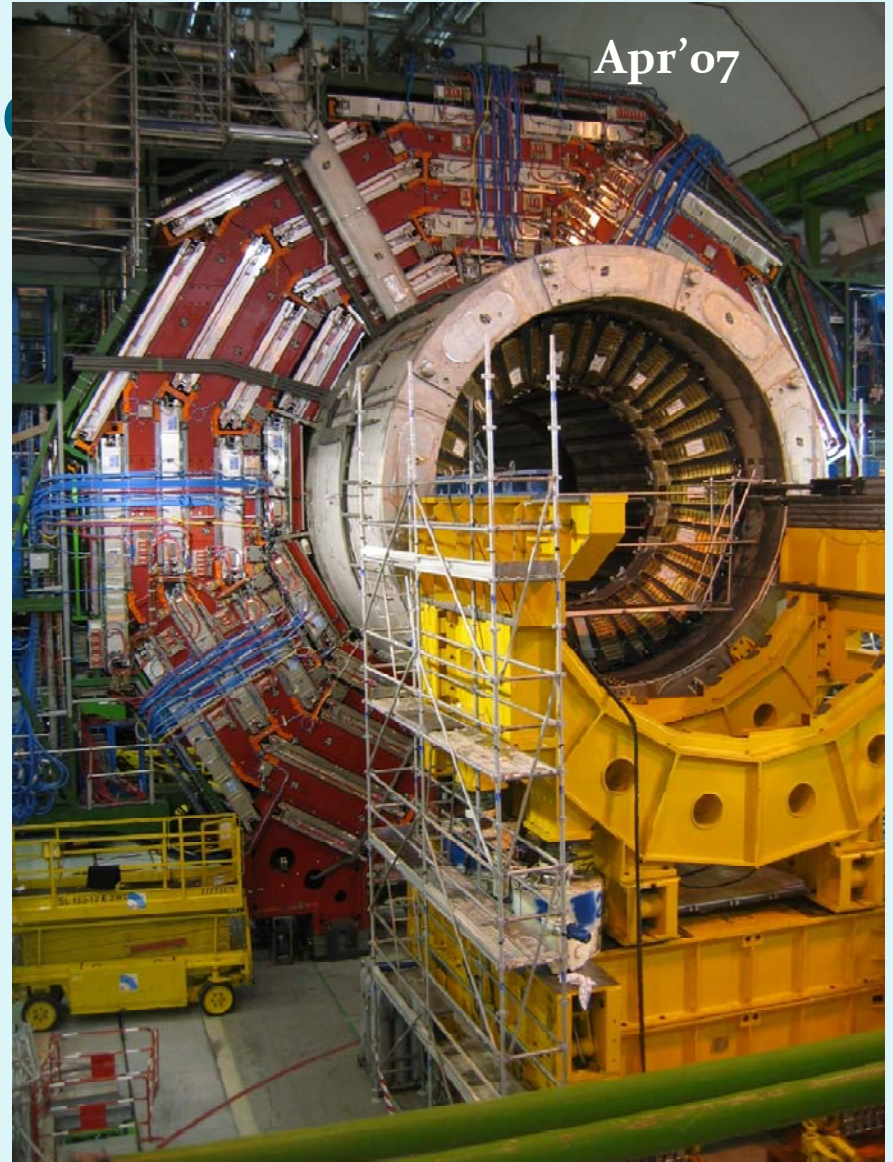
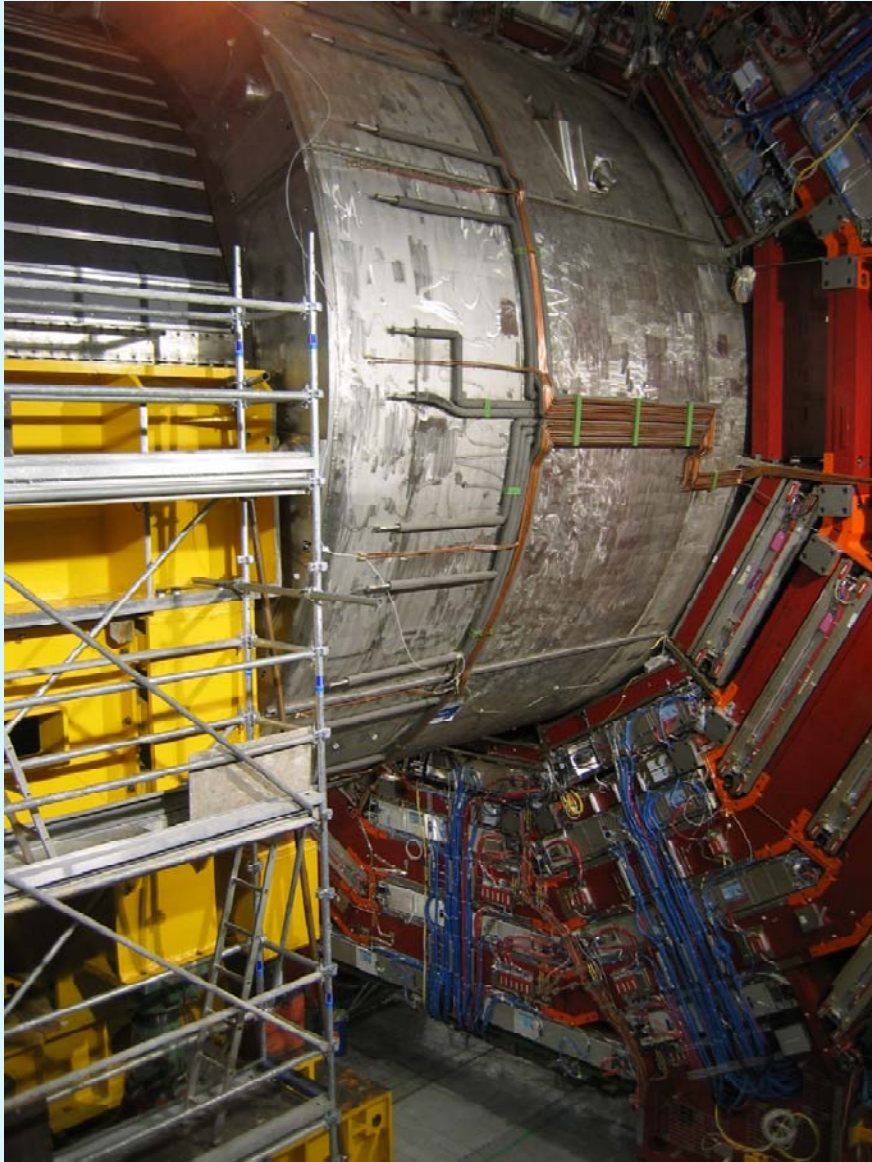
# Montaje de CMS



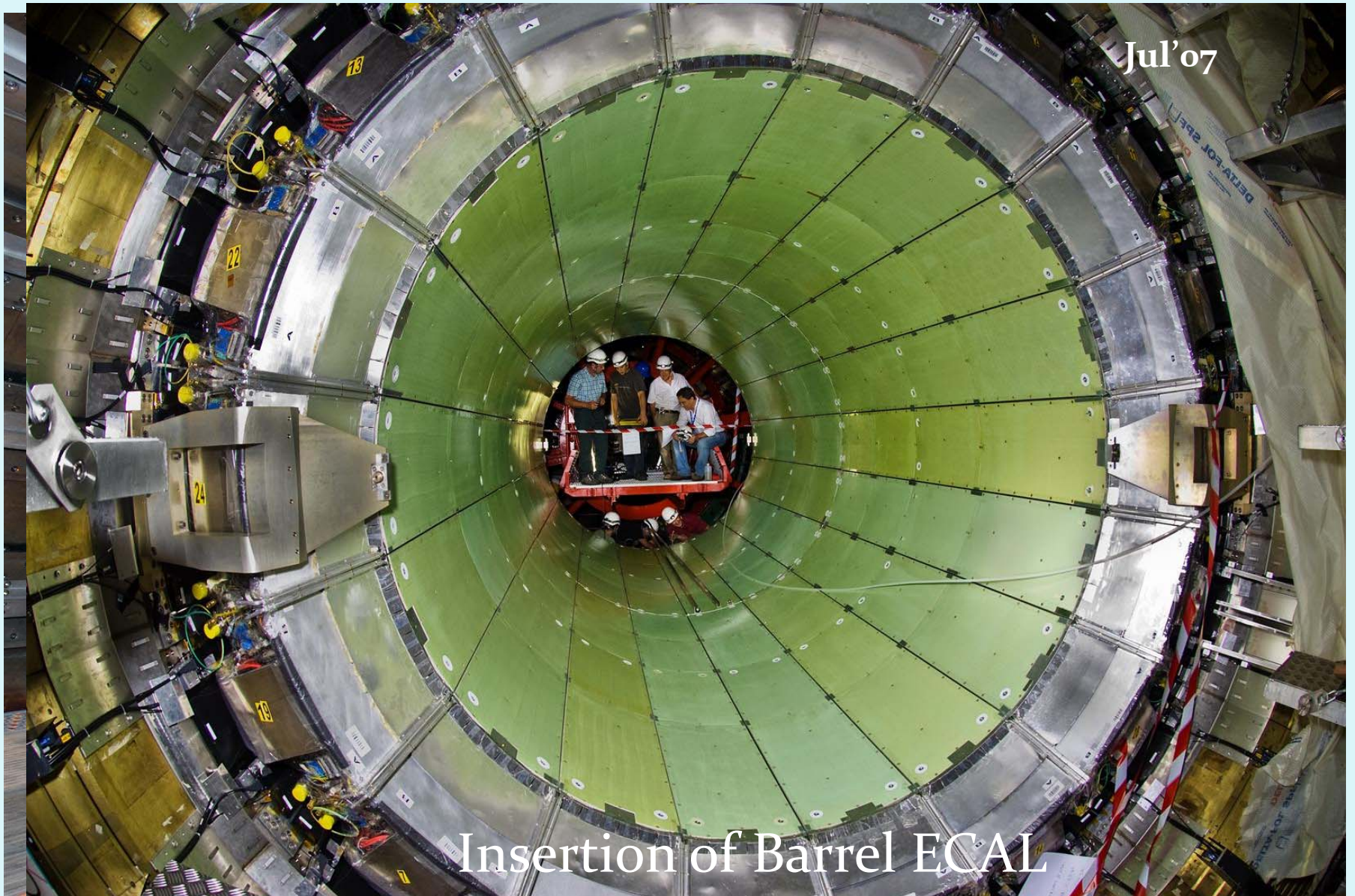
# Montaje de CMS



# Montaje de CMS



# Montaje de CMS



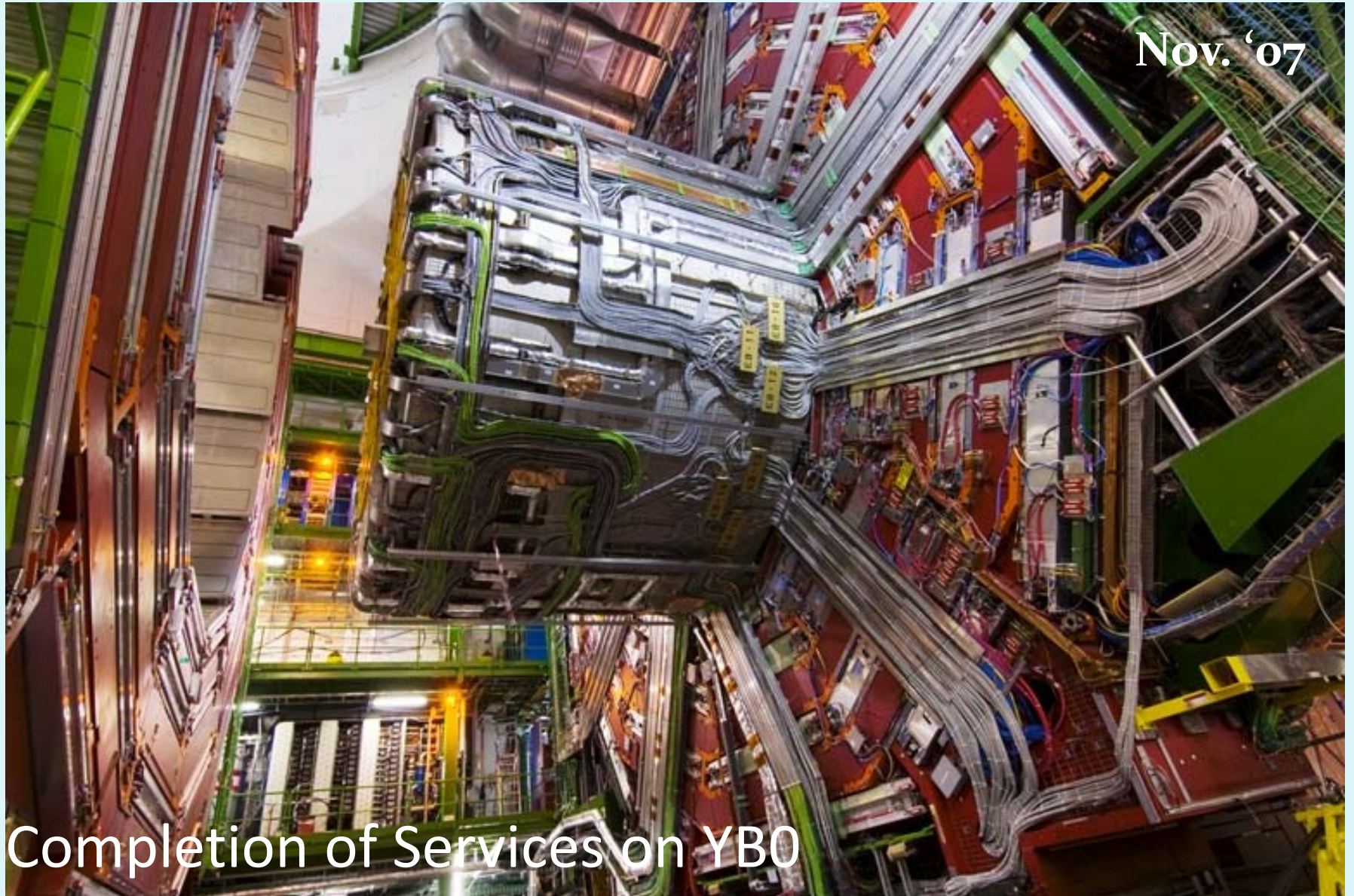
# Montaje de CMS

Aug'07



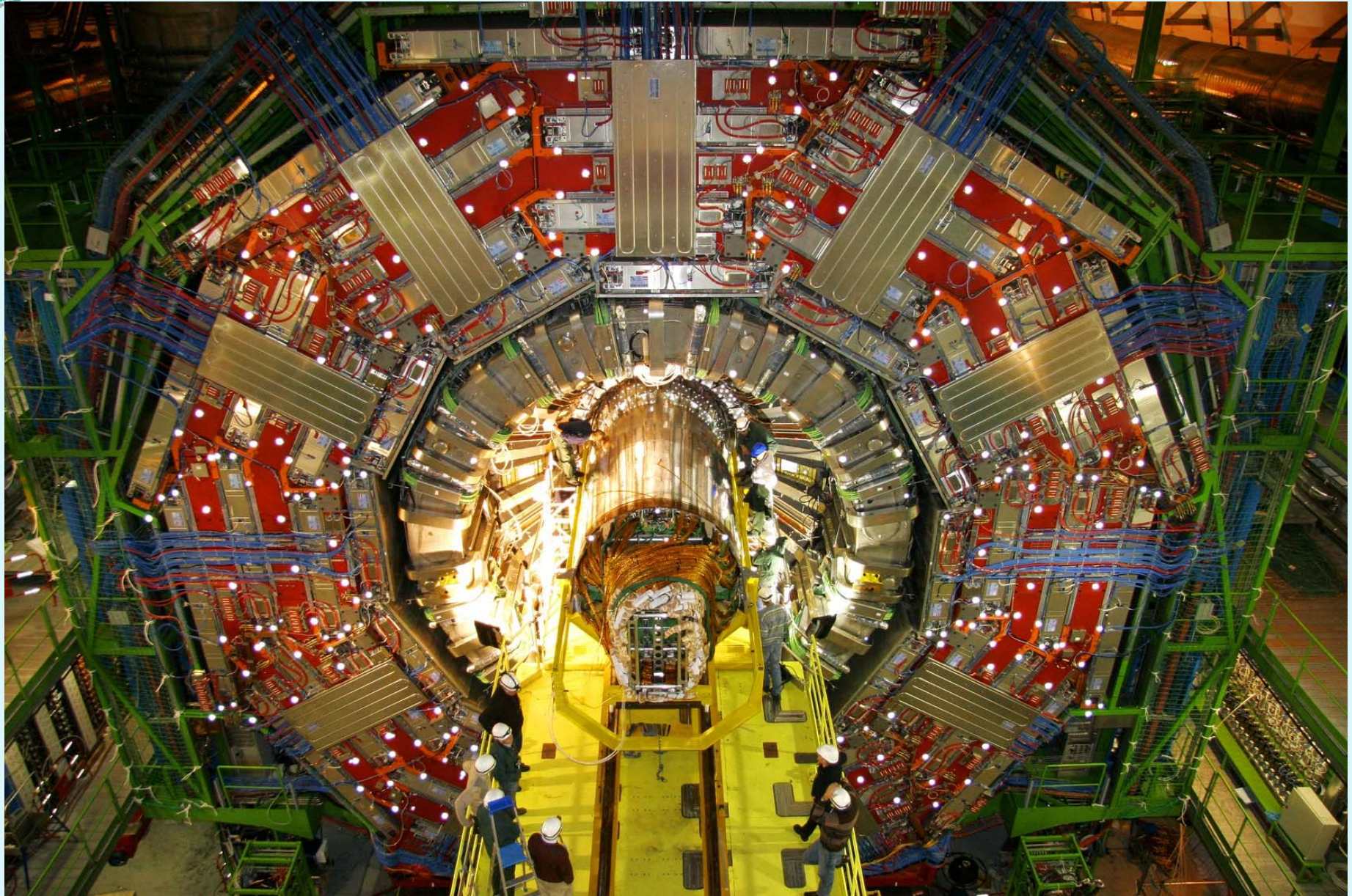
# Montaje de CMS

Nov. '07



Completion of Services on YB0

# Montaje de CMS

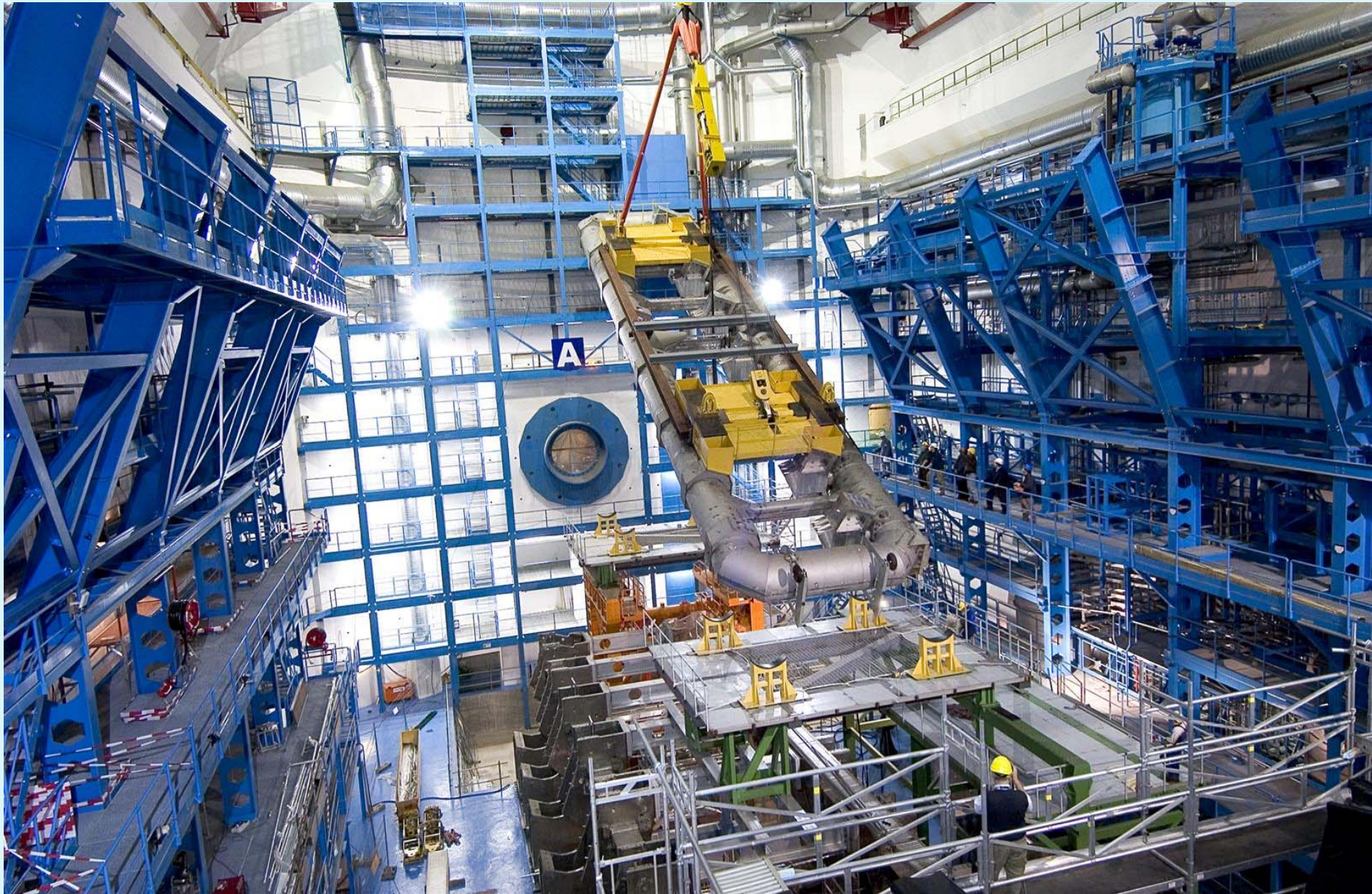




# Montaje de ATLAS



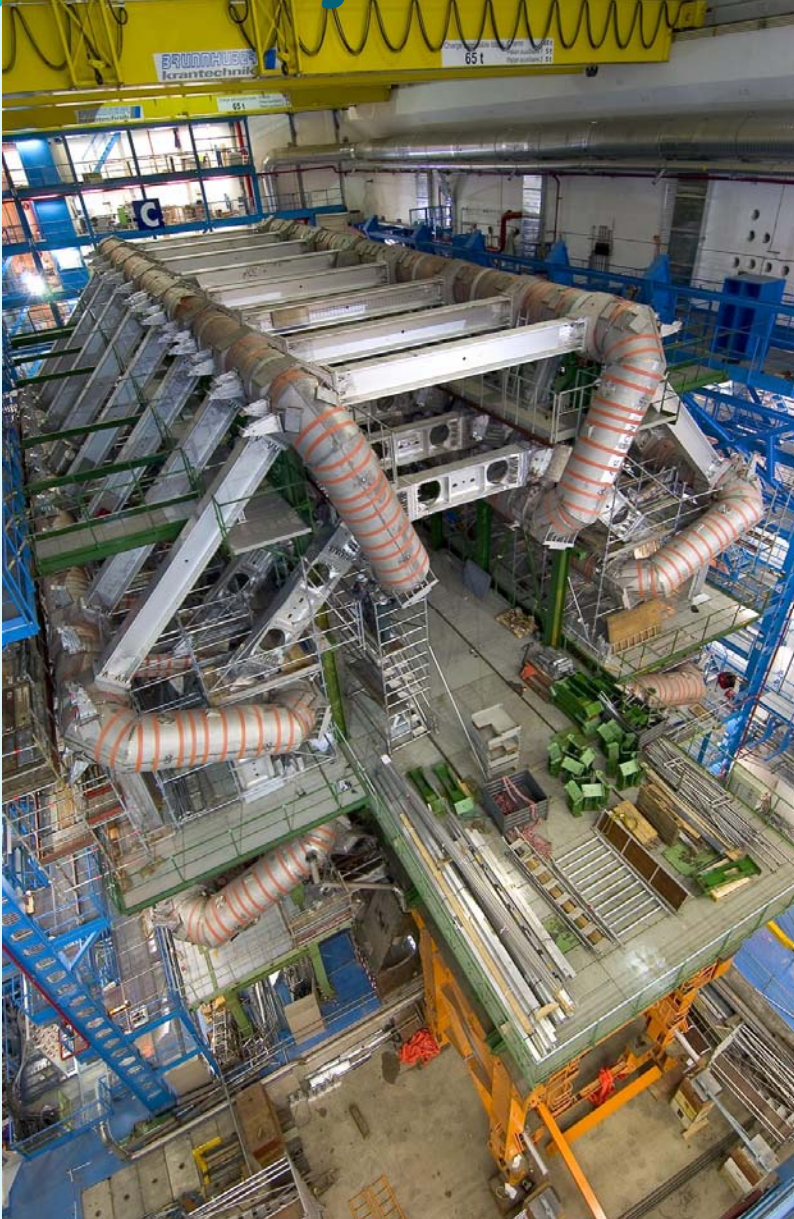
# Montaje de ATLAS



# Montaje de ATLAS



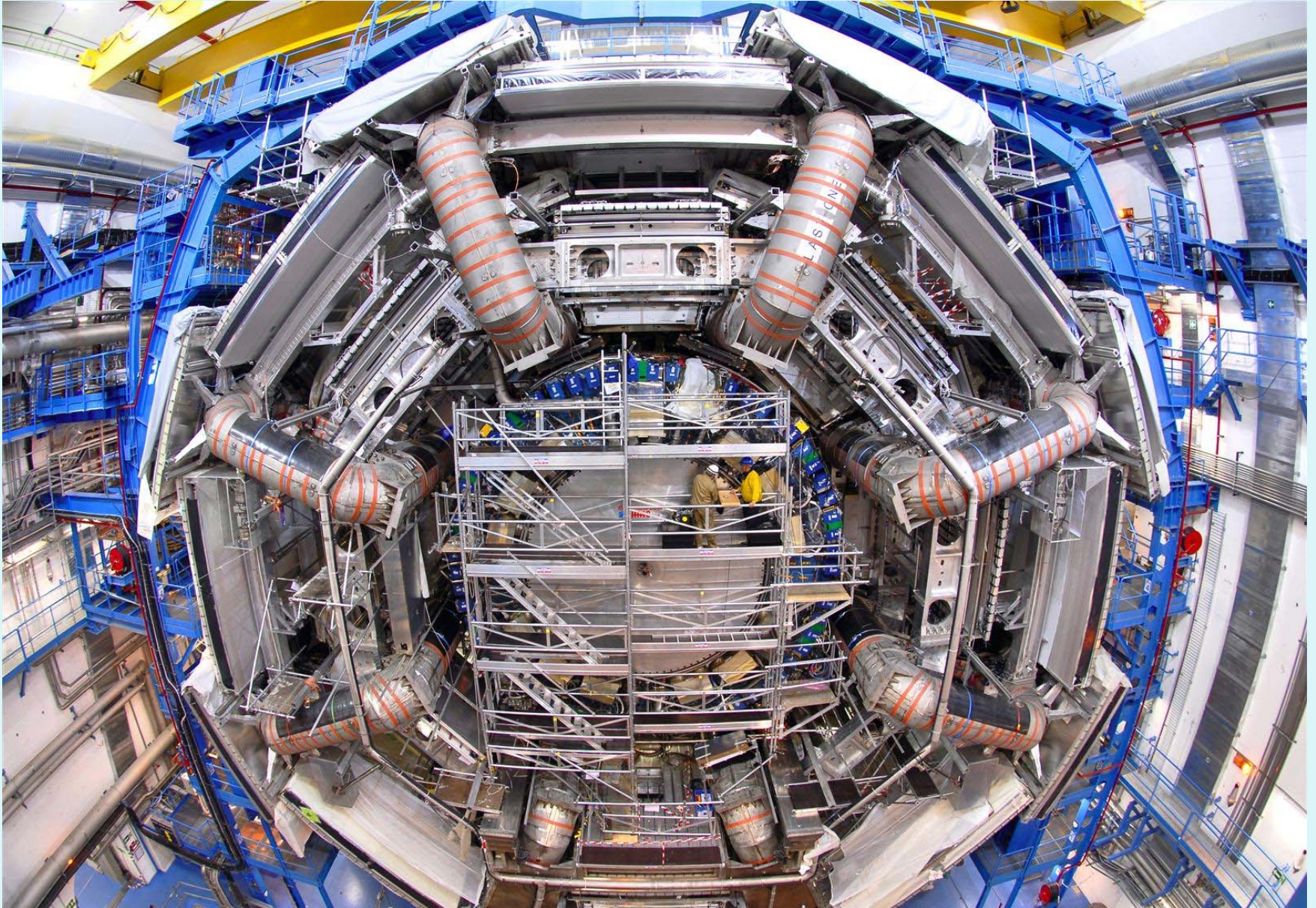
# Montaje de ATLAS



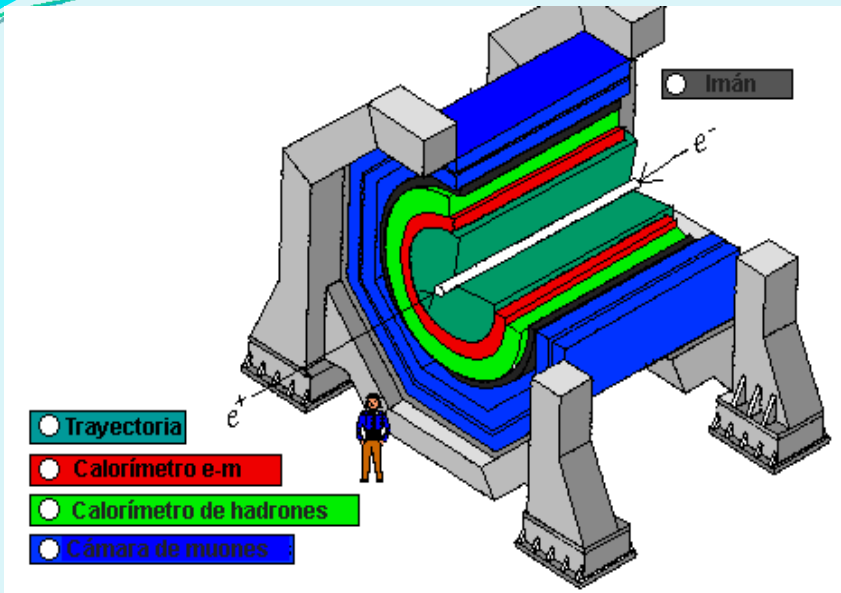
# Montaje de ATLAS



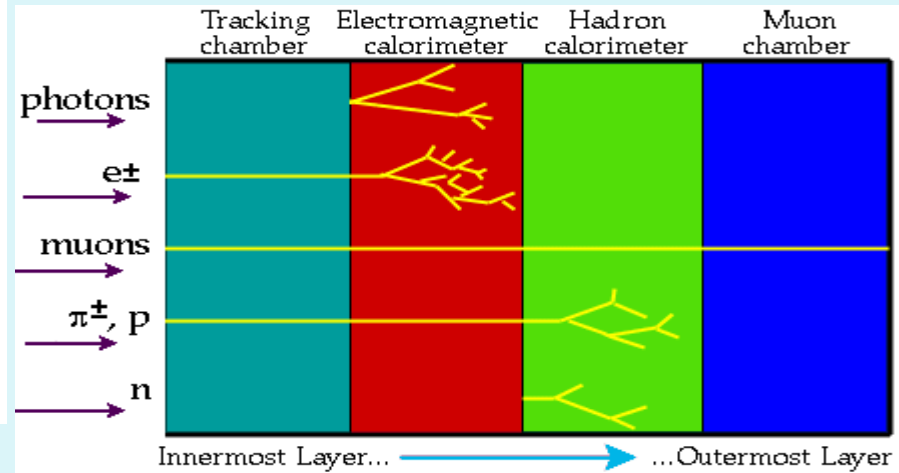
# Montaje de ATLAS



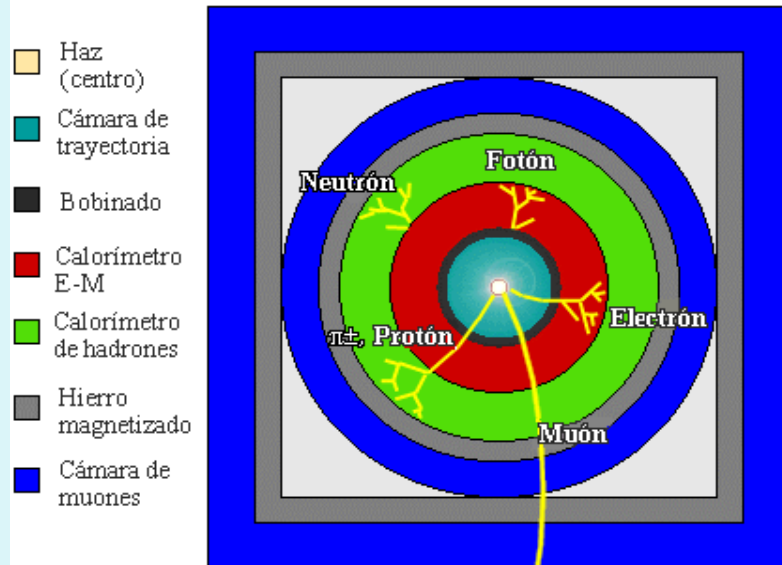
# Detección de las partículas



Un solo detector no puede medir la energía/momento de todas las partículas



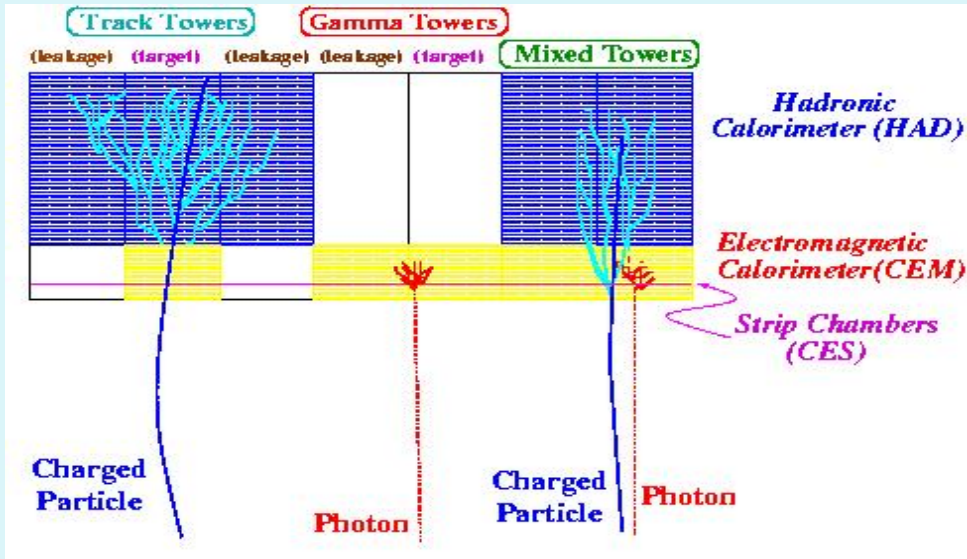
Sección de un detector mostrando las trayectorias de las partículas



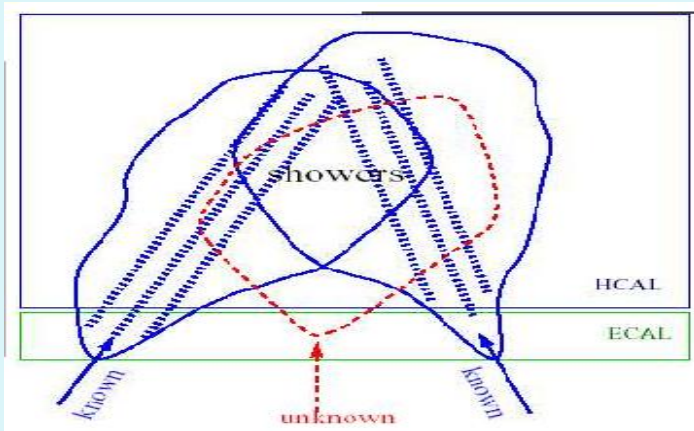
Cada capa identifica y mide la energía-momento no definida en la capa previa

- el momento de las partículas cargadas se mide a partir de la curvatura de la trayectoria en el **detector de trazas**
- Los fotones y electrones depositan casi toda su energía en el **Calorímetro EM**
- Los hadrones depositan su energía en el **calorímetro HAD**
- Los muones de poca interacción con la materia, llegan hasta el **espectrómetro**

# Algoritmo Energy Flow

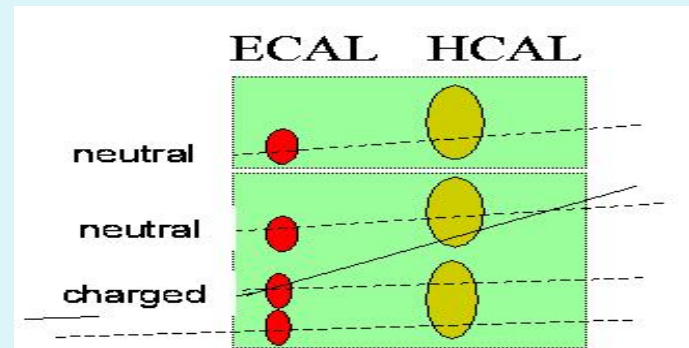


Son necesarios **algoritmos** para reconstruir las partículas



El algoritmo **Energy Flow** separa las partículas cargadas de las neutras:

- Energía con Traza = cargada
- Energía sin traza = neutra





# Participación en el LHC

**ATLAS**



**IFAE (Barcelona)**  
**CNM (Barcelona)**  
**IFIC (Valencia)**  
**UAM (Madrid)**

**CMS**



**CIEMAT (Madrid)**  
**IFCA (Santander)**

**LHCb**



**UB (Barcelona)**  
**USC (Santiago)**



# ¿Quién hace ATLAS?

En la colaboración ATLAS de carácter mundial, participan más de 2000 físicos procedentes de 150 universidades, de 155 institutos y de 34 países.



# Que estudia ATLAS? (I)

**El Modelo Estándar:** teoría que describe las propiedades y estructura de las partículas fundamentales, así como sus interacciones (salvo la gravitatoria).

- **Fuerzas fundamentales**
  - **gravitatoria**, característica de todas las partículas que poseen masa
  - **electromagnética**, propia de las partículas cargadas eléctricamente
  - **nuclear fuerte**, entre las partículas del núcleo y responsable de la estabilidad de este
  - **nuclear débil**, responsable de algunas desintegraciones radiactivas.
- Este modelo supone que la materia está constituida por 2 tipos de partículas:
  - **Partículas de materia:** *leptones y quarks*
  - **Partículas portadoras de fuerza:** cada tipo de fuerza fundamental es transportada por una partícula portadora de fuerza.
    - son **virtuales**,
    - **El alcance máximo de una interacción depende de la masa de la partícula que la transporta.**
      - fuerza e.m. y la gravitatoria, de alcance infinito, se deben al intercambio de partículas de masa en reposo nula: el conocido *foton* y el hipotético *graviton*.
      - Por el contrario, las partículas mediadoras de la interacción débil ( $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$ ) y de la interacción fuerte (piones), han de tener una masa determinada:  $W = 82 \text{ GeV}/c^2$ ,  $Z = 93 \text{ GeV}/c^2$  y  $\pi = 130 \text{ MeV}$ .

Interacción	Intensidad Relativa	Rango de la fuerza	Partic. portadora	Masa P portadora
FUERTE	1	Corta ( $\approx 10^{-15} \text{ m}$ )	Pion	130 MeV
ELECTROMAGN	$10^{-2}$	Larga ( $\propto 1/r^2$ )	Foton	0
DEBIL	$10^{-13}$	Corta ( $\approx 10^{-18} \text{ m}$ )	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$	82 y 93 GeV
GRAVITATORIA	$10^{-38}$	Larga ( $\propto 1/r^2$ )	Graviton ( $?$ )	0 $?$

# Que estudia ATLAS? (II)

- **El bosón de Higgs** ( la “*partícula de Dios*”)

***Porque el foton no tiene masa, mientras que los bosones W y Z son partículas tan masivas?***

Para resolver este problema, se ha propuesto una partícula hipotética llamada **boson Higgs**,

Proporciona el mecanismo para la **rotura de la simetría** electrodébil.

Lo que, a bajas temperaturas, parece ser un cierto número de partículas totalmente diferentes es, en realidad, el mismo tipo de partículas, solo que en estados diferentes.

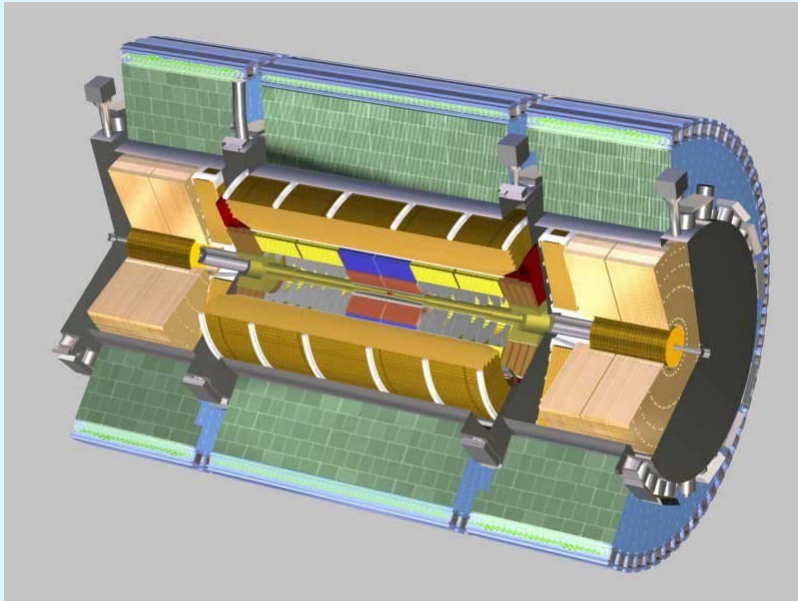
A energías mucho mayores de 100GeV, las 3 partículas  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$  y el foton se comportarían todas de una manera similar, pero a bajas energías, que se dan en la mayoría de las situaciones normales, esta simetría entre partículas se rompería.  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$  adquirirían grandes masa, mientras que el foton tendría masa nula.

El problema es que el Boson de Higgs no es estable para las condiciones energéticas actuales del Universo, sino que su existencia se remonta a las condiciones del Big-Bang, altas temperaturas y grandes cantidades de energía

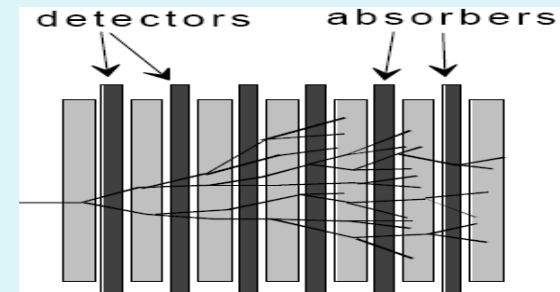
# Introducción a TileCal

TileCal está compuesto por 3 barriles, uno central y dos extendidos.

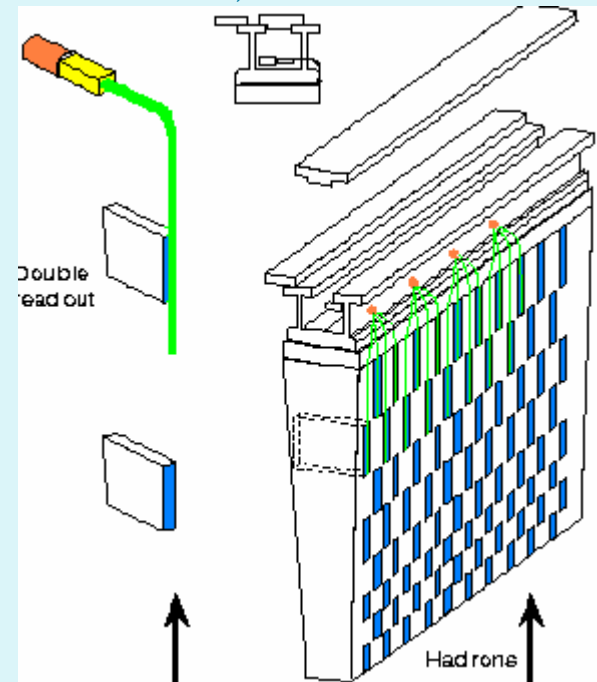
Cada barril está dividido en 64 módulos.



*Simulación del Calorímetro Hadrónico de Tejas*



Cada módulo está compuesto por capas y filas alternadas de hierro (para frenar las partículas) y plástico centellador (para medir la energía depositada por las partículas al atravesarlo)



## VIDEO

La luz generada en los centelladores es recogida y guiada por medio de fibras ópticas a unos conversores de luz en señal eléctrica (fotomultiplicadores, PMT)

# Preparación y Test de los módulos

Se realizan diferentes controles de calidad:

- Inspección de las tejas
- **Test de las fibras**

El LED en movimiento a través de las tejas simula la luz generada por el centellador que es absorbida por la fibras.

Con este sistema se puede discernir entre:

- Fallos en el tintado de las tejas
- Fallos en las fibras
- Fallos en el acoplamiento fibra - centellador



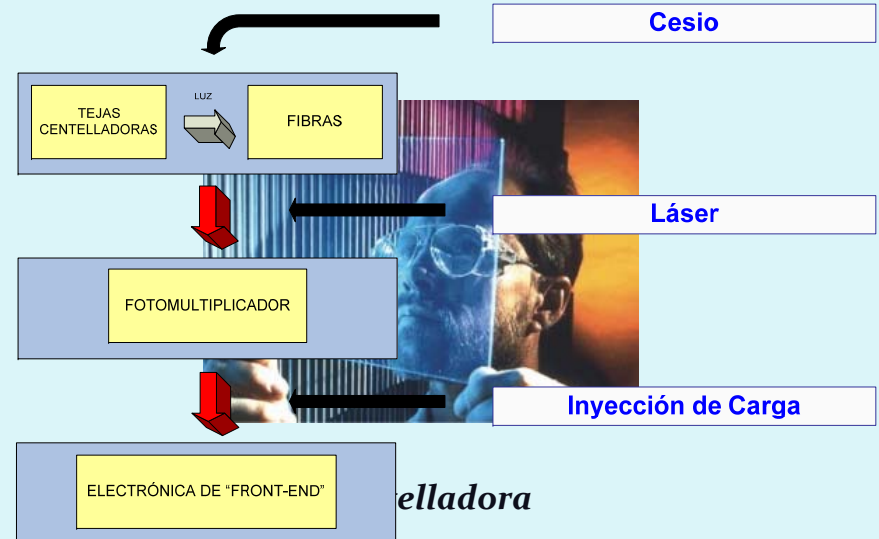
Ventana - amm  
➤ **Calibración**

Para conocer la relación entre la energía depositada por las partículas y la señal eléctrica que se obtiene del calorímetro.

- Fuente radioactiva de Cesio - 137
- Láser
- Inyección de Carga

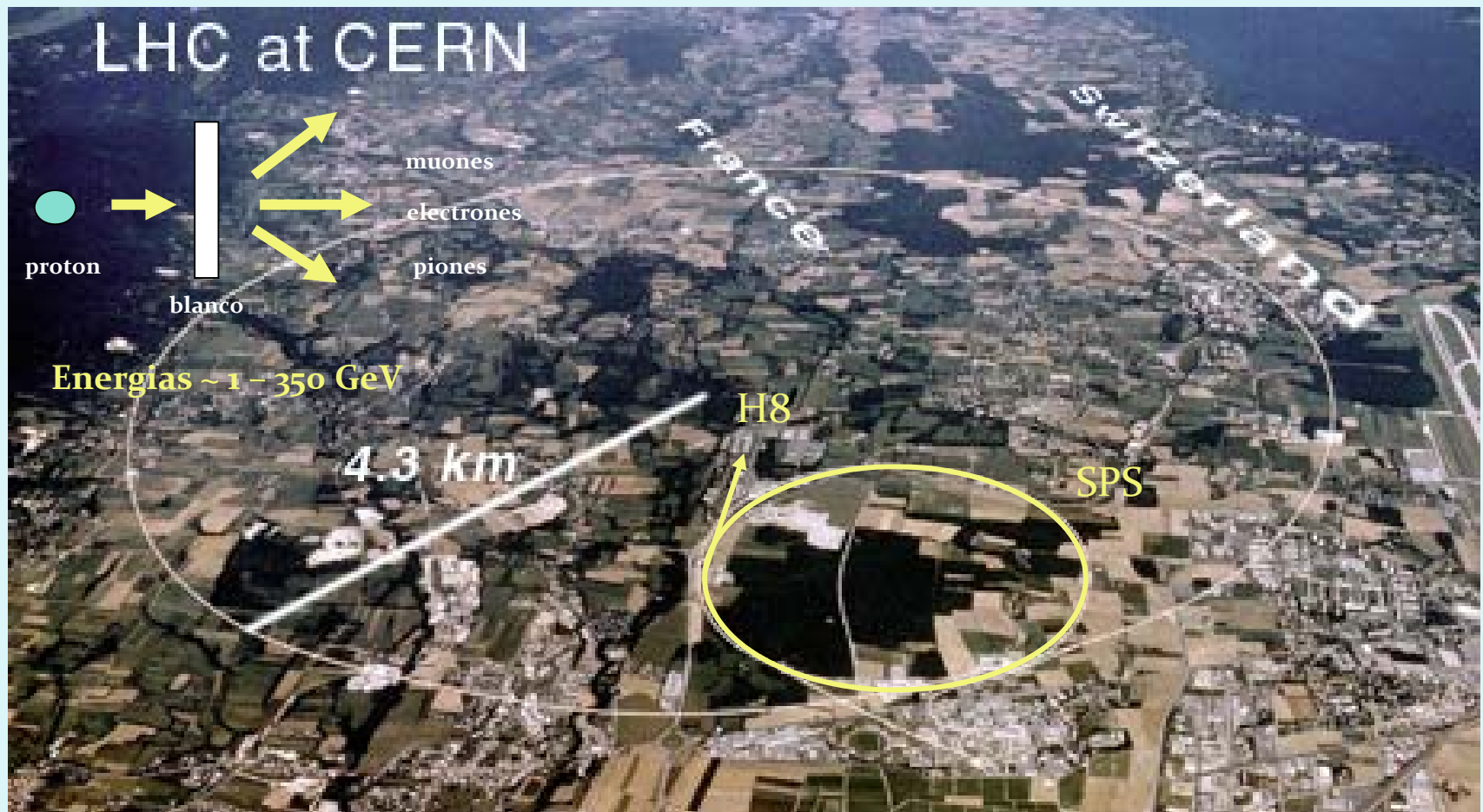
LED azul

## Módulo de TileCal

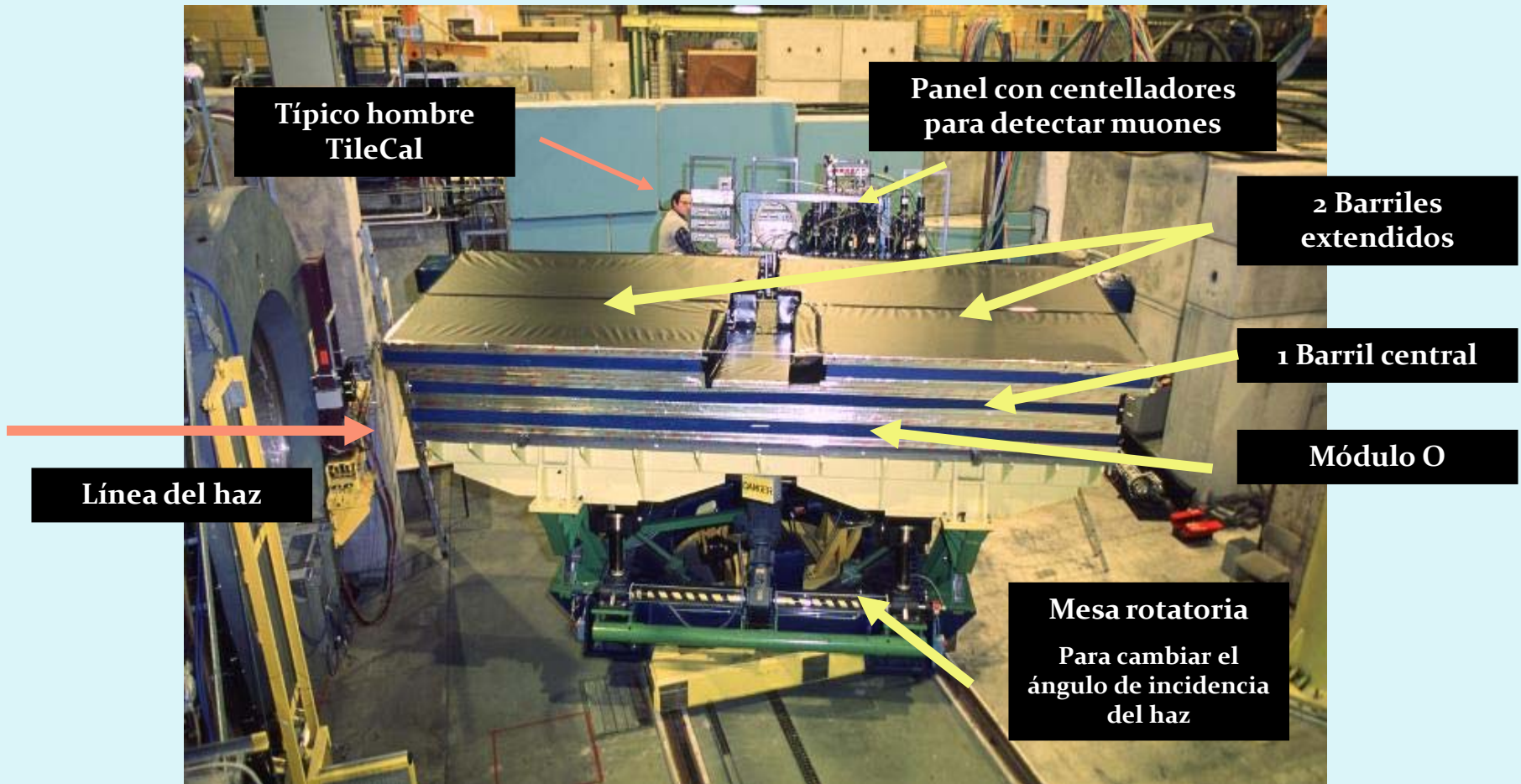




# Test con haz de TileCal

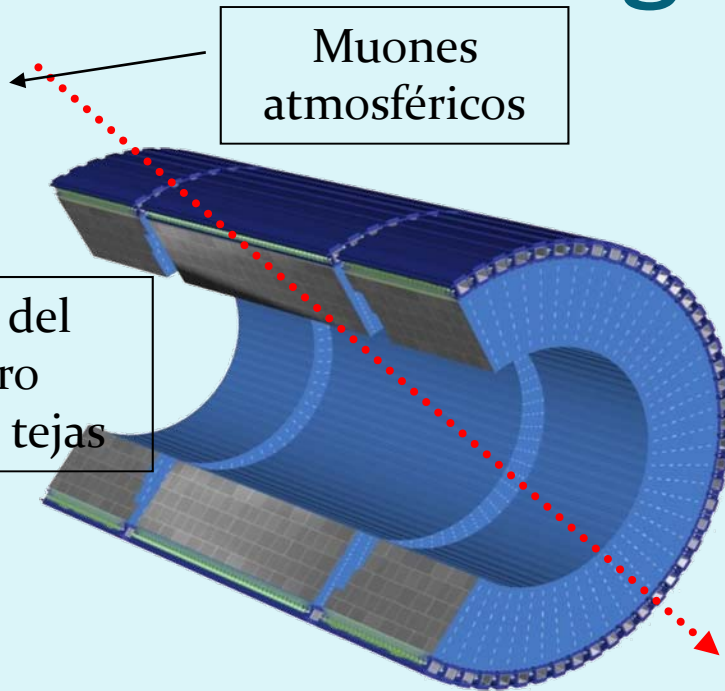


# Test con haz de TileCal





# “Commissioning” de TileCal



Muones  
atmosféricos

Simulación del  
calorímetro  
hadrónico de tejas

El sistema más grande probado se constituía de 4 módulos.

Un barril tiene 64 módulos.

➤ **Necesario un paso intermedio**

## Ventajas de los muones:

- No se depende de la disponibilidad del haz
- Se puede continuar en el pozo (92m bajo tierra)

*Primera fase:*

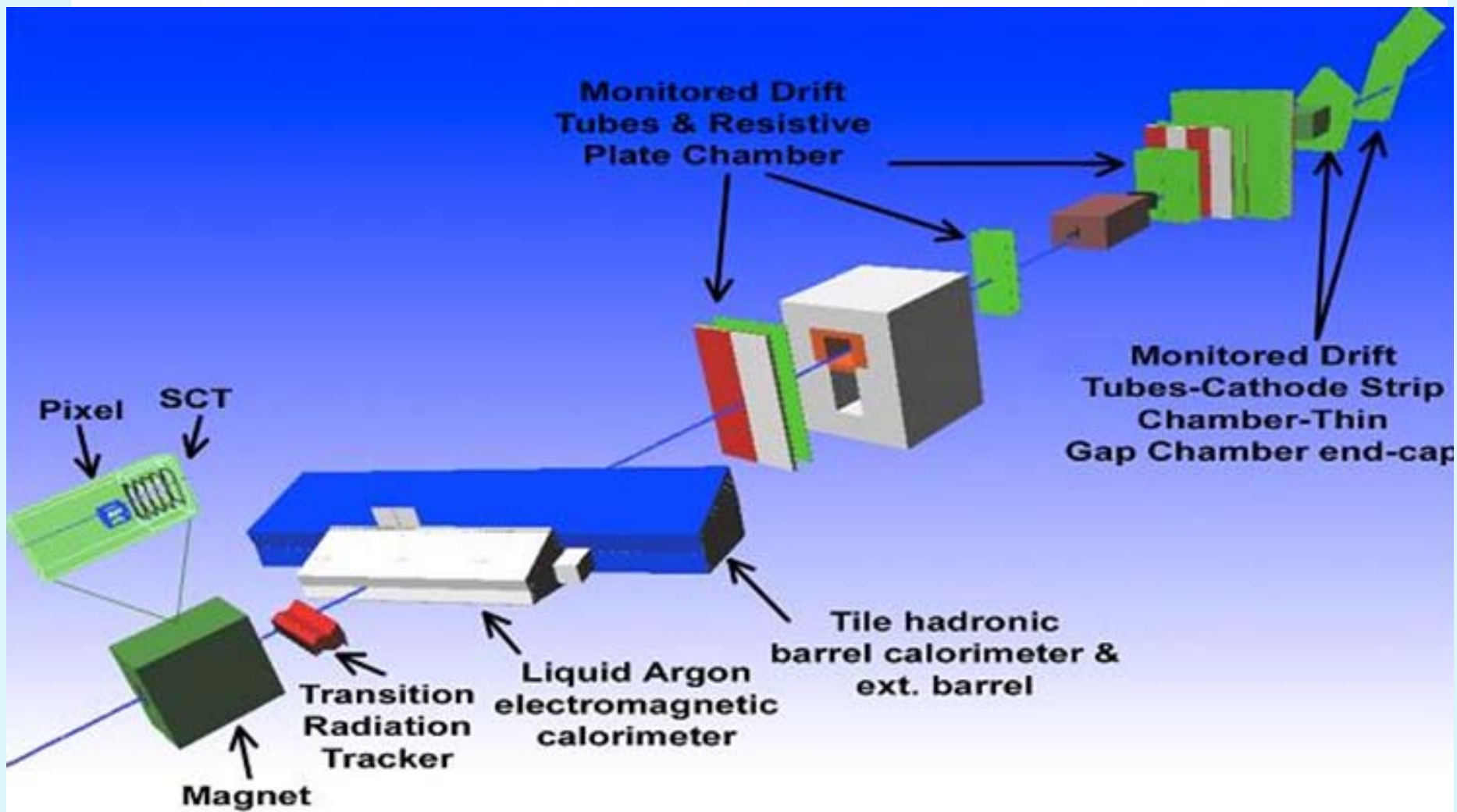
**Montaje en la superficie**

*Segunda fase:*

**Montaje en el pozo (92m profundidad)**



# Test de haz combinado

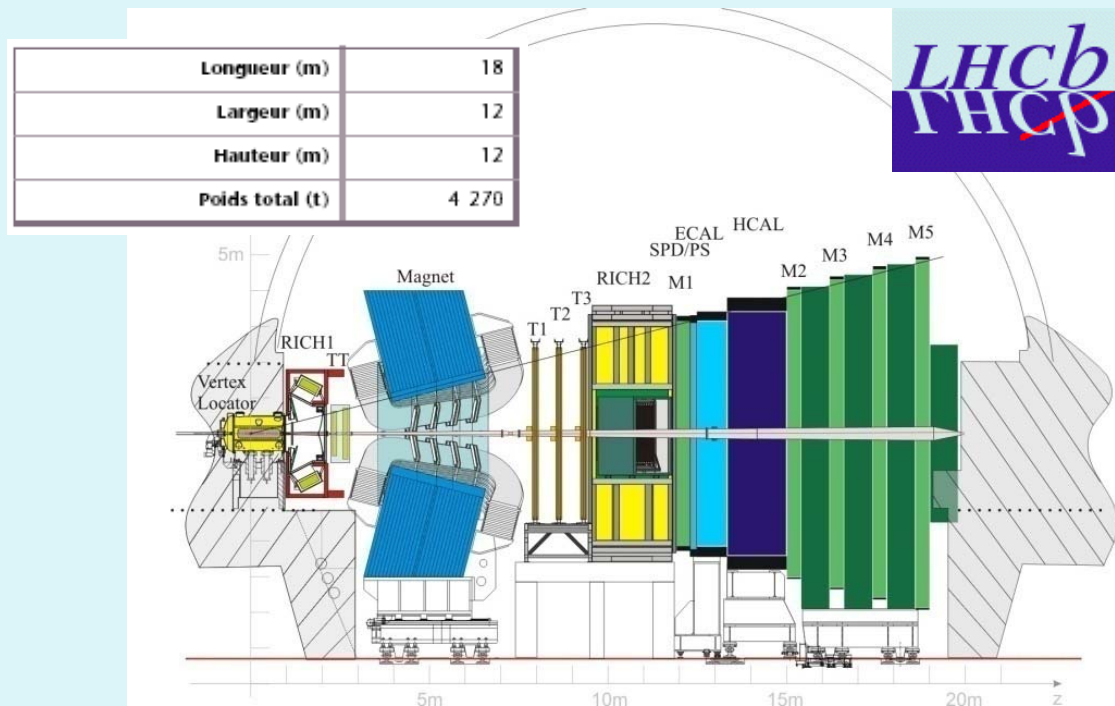


LAr cryostat

3 Tilecal barrel modules

# El LHCb

- LHCb ( “Large Hadron Collider beauty experiment”) es un experimento especializado en física del quark b.
- La geometría de LHCb es completamente diferente a la de los otros detectores de LHC: un espectrómetro de un único brazo, formado por subdetectores planos perpendiculares al haz incidente.
  - Debido a que las colisiones de protones produzcan parejas de quarks b b', que hadronizarán en una región muy estrecha cercana al cono del haz original

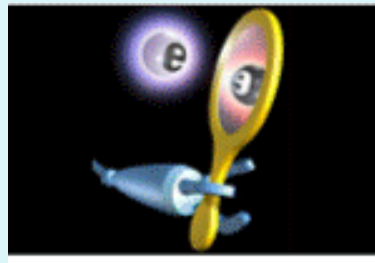


# Que estudia el LHCb? La violacion CP

- El universo visible está compuesto de partículas -protones, neutrones y electrones- y no por sus antipartículas - antiprotones, antineutrones y positrones. El Big Bang debería haber creado iguales cantidades de materia y antimateria. Entonces, **por que hay tanto de unas y tan poco de las otras?** Una de las causas es la **violación CP**.
- La simetría **CP** se basa en la unificación de la **simetría C** y la **simetría P**.
  - La **simetría C**: las leyes de la física serían las mismas si se pudiesen intercambiar las partículas con carga positiva con las de carga negativa.
  - La **simetría P**: leyes de la física permanecerían inalteradas bajo inversiones especulares, es decir, el universo se comportaría igual que su imagen en un espejo.

## VIOLACION CP:

La desintegración de un q a derechas no es igual que la desintegración de un anti-quark a izquierdas



q (quark) a derechas



q' (anti-quark) a izquierdas



- El marco teórico de la **Violación CP**, fue proporcionado en 1973 por **Kobayashi y Maskawa** (premiados con el Nobel 2008, junto a Yoichiro Nambu).

# Premio Nobel de Física 2008



Yoichiro Nambu

**"Por el descubrimiento del mecanismo de la rotura espontánea de simetría en física de partículas"**



Makoto Kobayashi



Toshihide Maskawa

**"por el descubrimiento del origen de la rotura de simetría que predice la existencia de al menos tres familias de quarks en la naturaleza."**

# Primer haz del LHC

- Se aceleraron los protones en los aceleradores más pequeños, y se llevaron con una energía de 0,45 TeV “hasta la puerta” desde la que se inyectaron en el LHC.
- La primera inyección se hace con baja intensidad para reducir el riesgo de dañar el LHC y solo viajará un paquete de protones (con cien mil millones de protones) en un sentido, no los casi 3.000 paquetes que constituirán el haz final.
- El **objetivo de esta jornada era** conseguir que el paquete diese una vuelta completa al LHC en un único sentido, con eso sería todo un éxito. A las 9.30 el primer haz de protones recorría en el sentido de las agujas del reloj el túnel del LHC.



**Pero hubo un doble éxito!!.** A las 15.00 horas un segundo haz de protones, esta vez en el sentido contrario a las agujas del reloj, completaba el mismo recorrido. No se esperaba conseguir tanto en una sola jornada!!.

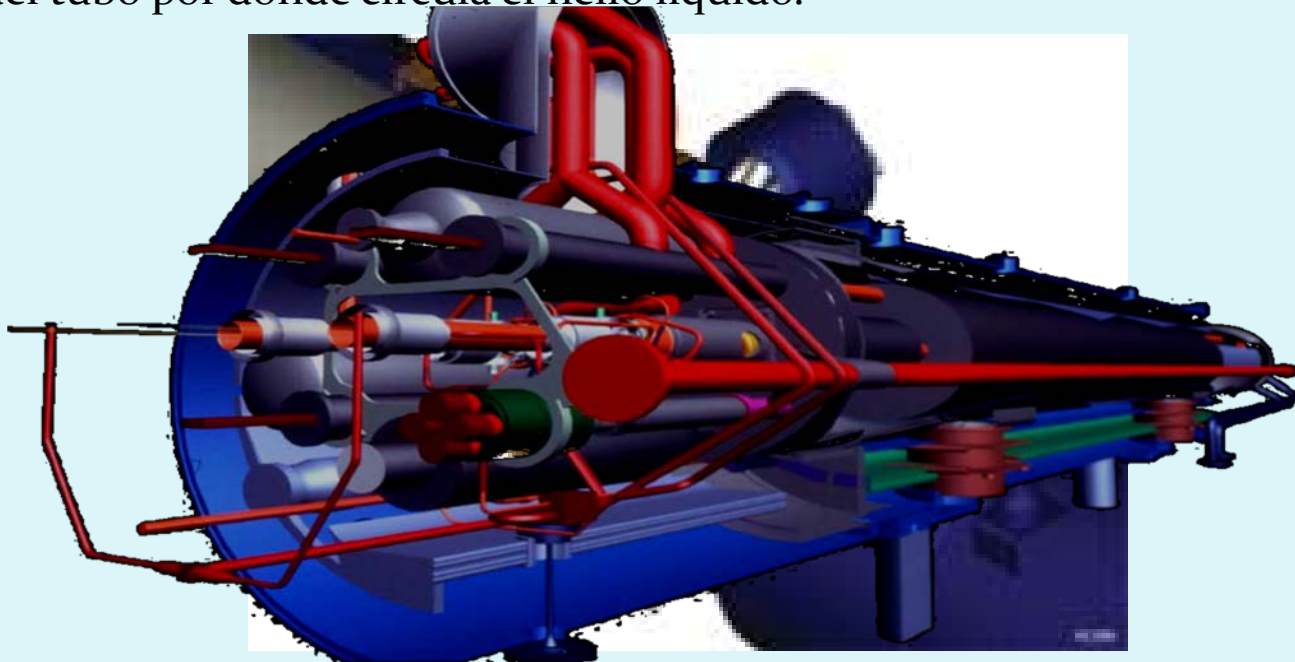
No obstante, todavía habrá que esperar para el primer choque de partículas en el interior del LHC

# ¿Qué ocurrirá cuando el LHC esté en pleno rendimiento?

- Habrá 31 millones de cruces de paquetes por segundo, lo que originará **1,5 Megabytes** de datos por colisión.
  - Los datos recogidos en ATLAS llenarían 100.000 CD por segundo, tantos como para levantar una pila hasta la luna en 6 meses.
- Por eso, en lugar de intentar grabarlo todo, los experimentos tendrán un **sistema de selección** (“trigger”) y de **adquisición de datos** (ROD).
  - Actuarán como grandes filtros de correo basura, descartando la mayor parte de la información de forma rápida y enviando para su archivo y posterior análisis, solo los datos de los 100 sucesos más prometedores.
- Los científicos estamos deseando poder comparar nuestras simulaciones con los datos reales y así poder corroborar el Modelo Estándar confirmando la existencia del **Boson de Higgs**.
  - Aun así la tarea no será fácil, pues aunque se supone que LHC si que alcanzara las energías necesarias para generar dicha partícula, solo aparecerá una de ellas cada 2,5 segundos y habrá que tratar de identificarla entre la maraña de partículas secundarias y otras señales que tengamos.

# Accidente en LHC

- Se produjo un **vertido de helio** en el sector 3-4 del túnel del LHC debido a un **fallo de conexión entre 2 imanes**. Esto provocó un daño mecánico estructural y la consiguiente liberación de helio desde el cuerpo del acelerador hacia el tunel.
- Se cree que un **fallo de conexión en 2 cables superconductores** (que debería permitir el paso de 12000 amperios de corriente) generando un aumento notable de la temperatura hasta provocar un *arco eléctrico*, lo que crearía un fusión parcial en una parte del tubo por donde circula el helio líquido.



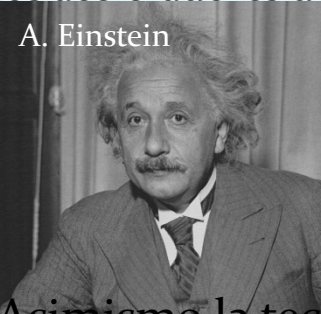
- los **procedimientos de seguridad** se pusieron en marcha, los sistemas de seguridad reaccionaron como se esperaba, y nadie se puso en situación de riesgo.
- Así mismo, se tienen suficientes componentes de repuesto para asegurarse de que el LHC es capaz de **reiniciar en 2009**, y las medidas para evitar un incidente similar en el futuro se están poniendo en marcha.



# ¿Para qué sirve todo esto? (I)

- Desde el punto de vista de la **Física**, los resultados obtenidos con el LHC acerca del conocimiento de lo más pequeño, nos servirán para entender mejor lo mas grande, es decir, la **formación del universo**, su composición, el nacimiento de nuevas estrellas o su extinción, la existencia de agujeros negros, si el universo se expande o por el contrario se está contrayendo...
- Respecto a las **aplicaciones directas** en nuestra sociedad...
- Los aceleradores de partículas tienen **aplicaciones biomedicas** como :

A. Einstein



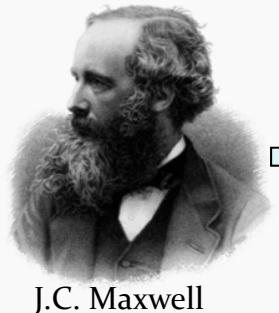
la resonancia magnética.  
de hadrones se usan para matar células cancer  
ocurría con sistemas pa  
Relatividad  
ET (de Emisión de Positron  
a en mile  
muy especialmente ar el cerebro hu

100% CIENCIA



sin  
osticar

- Asimismo la tecnología de **superconductores** y los estudios sobre **criogenia**, tienen grandes aplicaciones en el campo energético y en el transporte
- Del desarrollo del LEP surgió **Internet: 1990**: World Wide Web inventada por Tim Berners-Lee



J.C. Maxwell

Electromagnetismo  
para el proyecto LHC,  
ro. "Quizá un día un ord  
conectándose a  
100% CIENCIA

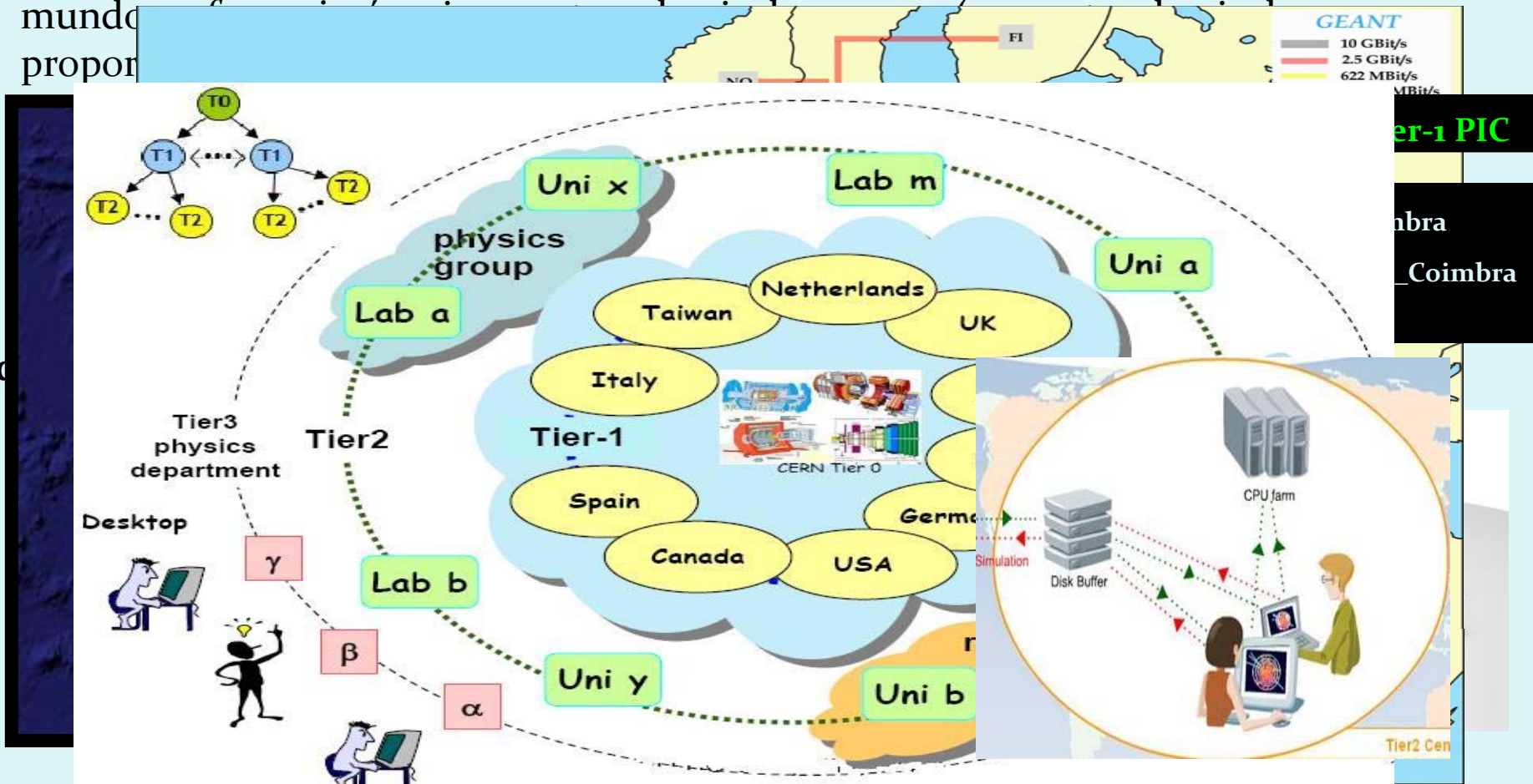


- in  
he  
tátil o un móvil para un hacer operaciones

# EL GRID

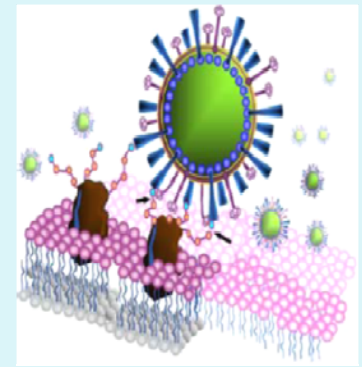
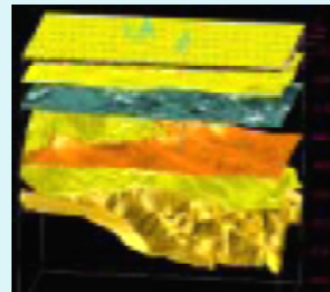
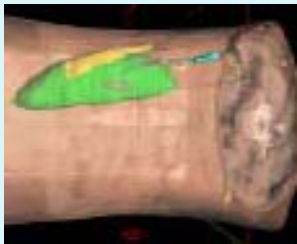
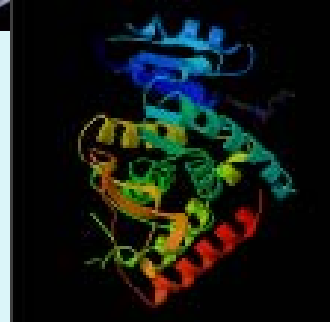
Gran volumen de datos producidos en LHC: 1 Petabyte/año (1Peta=10<sup>6</sup>Giga) no pueden procesarse con el sistema informático y de cálculo utilizado hasta ahora

**Solución:** formar una *mall*a de nodos (GRID) comunicados a través de protocolos *software*. Recursos necesarios para procesamiento y análisis, distribuidos por todo el mundo



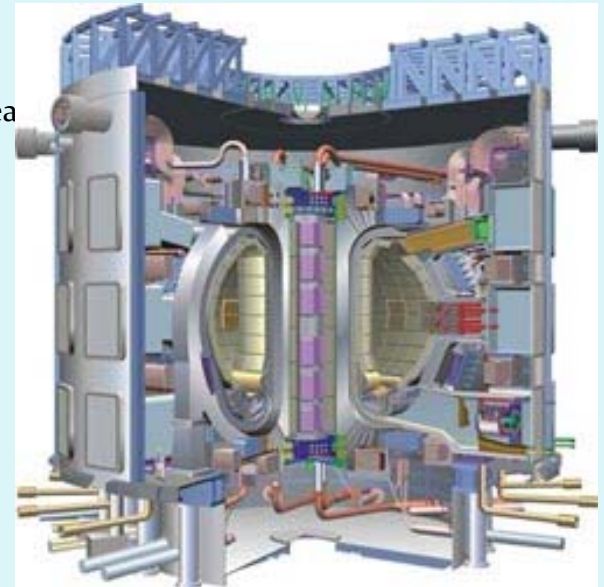
# ¿Para qué sirve todo esto? (II)

- Pero ni siquiera hay que esperar al futuro, el **GRID** se está empleando hoy mismo ya se está aplicando en centros con el **CESGA (Centro de SuperComputacion Gallego)** para:
  - el tratamiento de datos meteorológicos necesarios en la planificación de aerogeneradores eólicos, plantas de energía solar,
  - la predicción de incendios forestales a través del tratamiento digital de imágenes satélite
  - Simulación del impacto de la radiactividad sobre células cancerosas en casos reales de cáncer de mama.
- Y a **nivel mundial** el GRID se esta usando ya para hacer analisis sobre:
  - Efectos del **cambio climatico** sobre el planeta
  - Estudios de **Genoma Humano**
  - **Astrofisica** (busqueda de radiacion de micro-ondas, rayos gammas...)
  - Prevision de grandes inundaciones
  - Tratamiento **Imágenes medicas**
  - Prediccion de **Movimientos geologicos**
  - Desarrollo de **nuevos farmacos** (contra la fiebre aviar y la malaria)



# ¿Servirá para mejorar la energía nuclear?

- Tanto el conocimiento de la composición de la materia y su comportamiento, como el desarrollo de la tecnología de campos magnéticos potentes ha permitido empezar a afrontar otro gran reto tecnológico: el **ITER (International Thermonuclear Reactor)**.
- Es decir la obtención de energía a partir de la fusión de dos núcleos pequeños (dos isótopos del hidrógeno llamados deuterio y tritio). De obtener esta fuente de energía sería :
  - la más eficiente (gran cantidad de energía se obtiene en cada fusión),
  - la más barata (pues se obtendría de la transformación del agua del mar),
  - la más limpia (no deja residuos radiactivos, al contrario que la energía nuclear obtenida a partir de la fisión de los núcleos de uranio)
  - y además inagotable.



- Cambiaría completamente el panorama energético que nos obliga a depender del petróleo y a contaminar nuestro planeta emitiendo combustibles fósiles a la atmósfera. El problema es que para conseguir fusionar estos núcleos hay que aplicar una gran cantidad de energía para que superen la repulsión coulombiana, para lo cual hay que elevarlos a temperaturas cercanas a las que hay en el interior del Sol (cien mil millones de grados Kelvin) y a esas temperaturas los núcleos se descomponen en una especie de plasma. Aunque estas temperaturas se llegan a alcanzar lo más difícil es conseguir que el sistema esté estable el tiempo suficiente para lo cual se está desarrollando una tecnología de contención mediante campos magnéticos.
- El 24 de mayo de 2006 los siete socios del proyecto ITER - Unión Europea, Japón, EEUU, Corea del Sur, la India, Rusia y China - firmaron el acuerdo para la construcción del Tokamak en el Sudeste de Francia. Los costes de construcción del reactor se estimaron en 10.000 millones de euros y la duración de la construcción en 10 años.

# Y despues de LHC ¿que?: el ILC

- El ILC: International Linear Collider, consiste en dos aceleradores lineares



# ¿Quién trabaja en ILC?

ILC engloba mas de 100 institutos de investigacion y universidades alrededor del mundo y actualmente 1000 personas trabajan desarrollando su I+D.

