The background of the slide is a complex, monochromatic image. It features a dense network of thin, dark lines that form various geometric shapes, including circles, spirals, and intersecting paths. These lines are overlaid on a lighter, textured background that resembles a particle detector's output or a microscopic view of a material. The overall effect is one of intricate, scientific complexity.

# **Introducción a los Detectores de Partículas**

**Elsa Fabiola Vázquez Valencia**

Universidad Iberoamericana CDMX

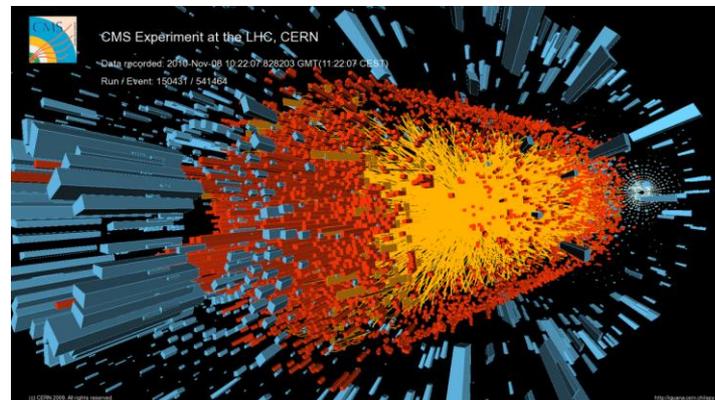
**Mexican Teacher Programme 2017**

# •Contenido•

- ¿Qué es un detector de partículas?
- Algo de historia: Cámaras de Niebla y de Burbujas
- Detectores en el LHC
- Interacciones
- Tipos de detectores
- Subdetectores en CMS:
  - Detectores de Trazas
  - Calorímetros
  - Detectores de muones
- Neutrinos
- Sistemas
- Futuro

# • ¿Qué es un detector•

- Es un aparato capaz de:
  - Detectar el paso de una partícula
  - y/o localizarla,
  - y/o medir su momento o su energía,
  - y/o conocer su identidad,
  - y/o medir su tiempo de llegada



# • Algo de historia •

- Las partículas subatómicas son muy pequeñas para ser vistas
- A través de los años los físicos se las han ingeniado para detectarlas y visualizarlas
- Los primeros detectores que se desarrollaron permitían ver, con nuestros propios ojos, las trazas que estas dejaban a su paso a través de un medio especial.
- Estos primeros detectores fueron las cámaras de niebla y cámaras de burbuja.

# • Cámaras de Niebla •

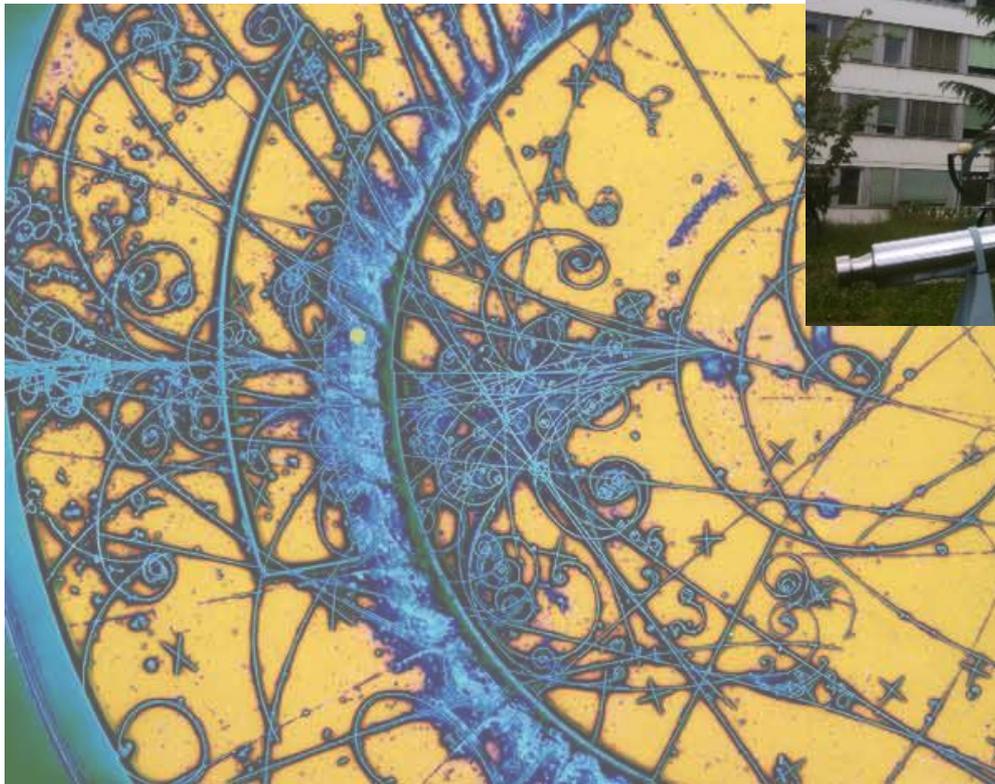
- (1911) Charles Thomson Rees Wilson, Cambridge UK. Premio Nobel (1927)
- Consiste en una caja que contiene un vapor sobresaturado, cuando partículas cargadas lo atraviesan producen iones en el vapor que se condensan para formar gotas.
- En la primera mitad del siglo XX a través de la observación de rayos cósmicos en cámaras de nieblas fueron observados los primeros positrones, muones y partículas con extrañeza

# • Cámaras de burbujas •

- Donald A. Glaser (USA) inventó la cámara de burbujas en 1952, premio Nobel de física en 1960.
- Su principio es similar al de la cámara de niebla, las trazas de las partículas se hacen visibles por las burbujas que se forman en un líquido super caliente, a punto de hervir, en lugar de vapor.
- Gargamelle es la cámara de burbujas más famosa del CERN, en 1973 se descubren las corrientes neutrales débiles. Lo que confirmó la predicción de la teoría electro-débil.

# • Big European Bubble Chamber •

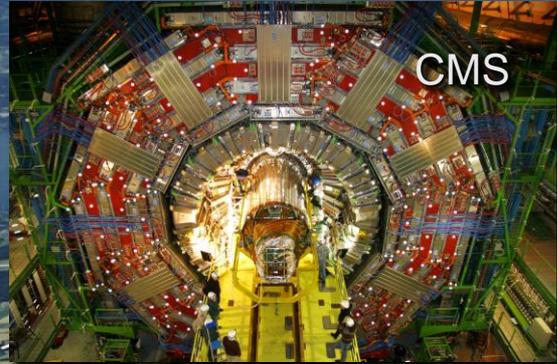
Imagen BEBC (artísticamente mejorada)



# •Gargamelle•



# Detectores del CERN en el LHC



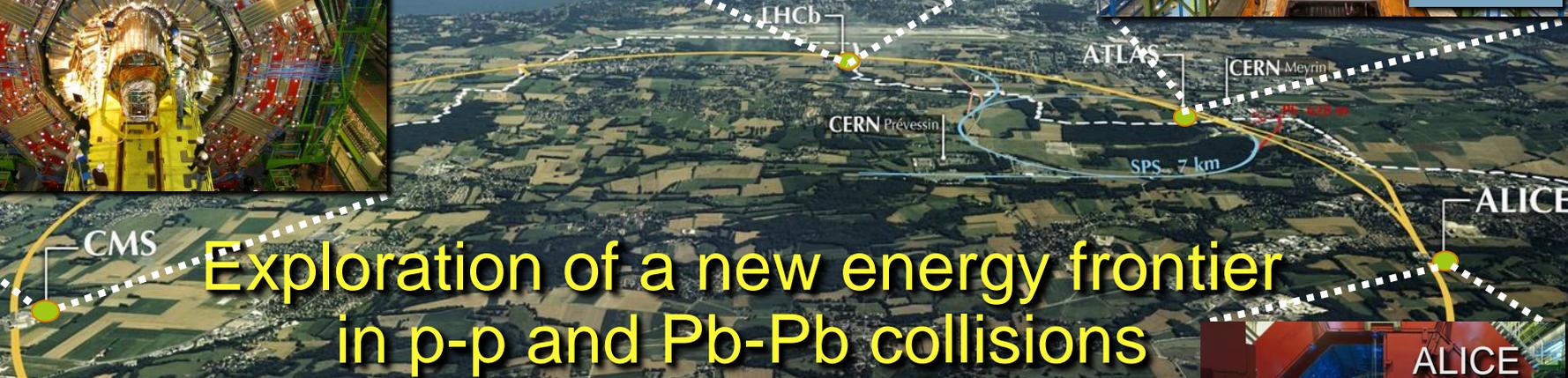
CMS



LHCb



ATLAS



Exploration of a new energy frontier  
in p-p and Pb-Pb collisions



LHC ring:  
27 km circumference



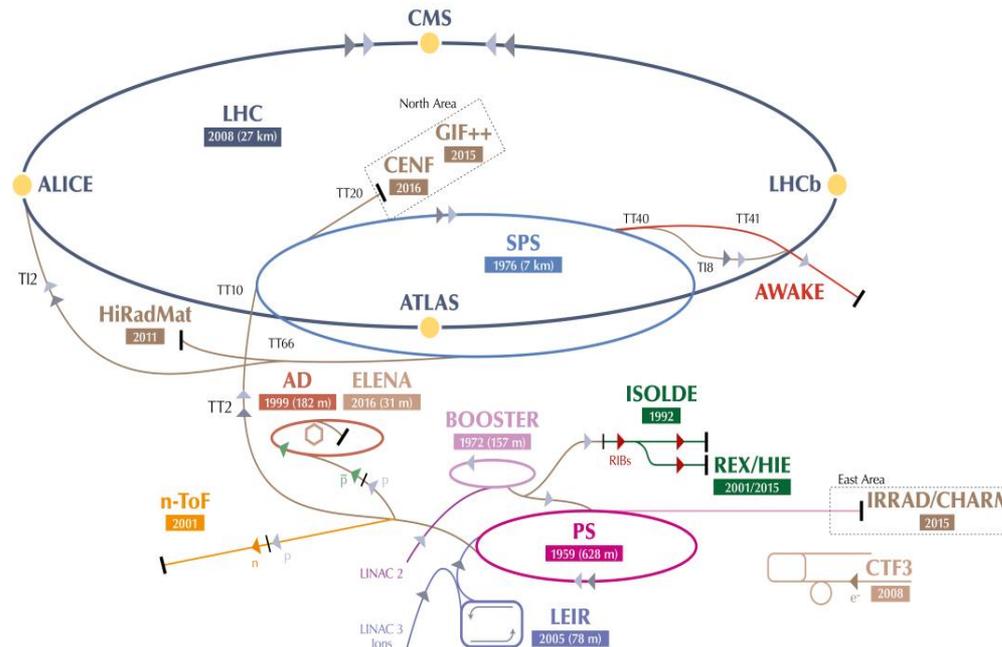
ALICE

# • Experimentos •

- Los experimentos del LHC son las mayores colaboraciones internacionales de la historia

Experimento	Países	Instituciones	Científicos
ALICE	37	154	~1500
ATLAS	38	182	~ 3000
CMS	46	182	~ 3500
LHCb	16	69	~ 800

# • Complejo de Aceleradores •

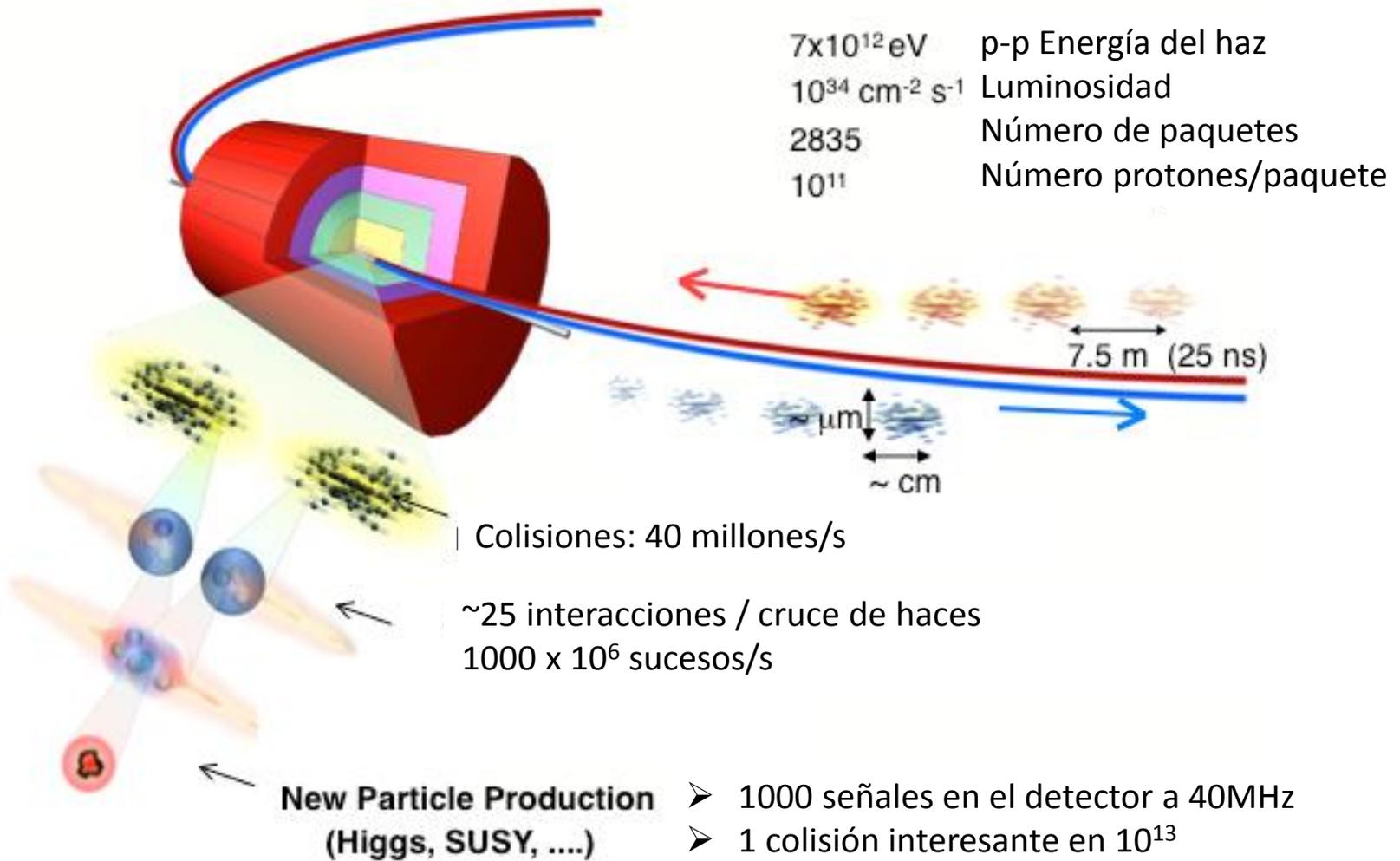


▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶  $\bar{p}$  (antiprotons) ▶ e<sup>-</sup> (electrons)

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility  
 AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine REX/HIE Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE  
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEAR ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials  
 CHARM CERN High energy Accelerator Mixed field facility IRRAD proton IRRADIation facility GIF++ Gamma Irradiation Facility  
 CENF CERN Neutrino platform

© CERN, Accelerator Complex - © CERN, Image of October 2014

# • LHC •



# •LHC•

ACTUALIZACION

- Apenas el 28 de junio del 2017 el LHC estableció un record sin precedentes, con 2556 “bunches” de protones circulando en cada dirección del acelerador. (Cada siete metros (25 nanoseconds), cada uno conteniendo más de 100 billones de protones):
- El diámetro del haz se redujo en un 40% lo que implica “bunches” más densos y por tanto mayor probabilidad de colisión
- Este suceso llevó a conseguir una luminosidad record de  $1.58 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Que es una medida del número de colisiones potenciales por segundo por unidad de área).
- Esta luminosidad sobrepasa el diseño original del LHC ( $1.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

# • Condiciones de trabajo de los detectores en el LHC•

- Cruces cada 25 ns... **Detectores rápidos (ns)**...Lectura a 40 MHz ... ~1 Pbytes/s de datos

En cada cruce ~ 20 sucesos independientes superpuestos ~ 1000 partículas individuales que hay que identificar cada 25 ns ... **la alta densidad de partículas implica alta granularidad** en los detectores... **100 M canales/componentes activos**

- **Flujo de neutrones y fotones altísimos**, capaces de comprometer las propiedades de los materiales utilizados, la electrónica... los detectores
- **Radioactividad inducida** en materiales (activación) lo que añade complejidad al proceso de **mantenimiento**
- **Altos campos magnéticos en grandes volúmenes**, lo que implica el uso de **superconductividad (criogenia)** y atención a los **componentes** (electrónica, estrés mecánico...)

# • Detección •

- Actualmente los detectores están compuestos por capas de subdetectores, cada uno diseñado para medir ciertas propiedades o características de partículas específicas.
- **Sólo unas pocas de las numerosas partículas conocidas tienen una vida suficientemente larga como para dejar huellas en los subdetectores**
- Las 13 partículas que se pueden identificar son:  
 $e^{\pm}$ ,  $\mu^{\pm}$ ,  $\Upsilon$ ,  $\pi^{\pm}$ ,  $K^{\pm}$ ,  $K^0$ ,  $p^{\pm}$ ,  $n$
- El resto de las partículas son medidas (inferidas) a través de sus productos de desintegración y de sus relaciones cinemáticas (masa invariante)

# • Detección de Partículas •

- En general, no podemos "ver" la reacción en sí, pero sólo los productos finales de la reacción
- Con el fin de reconstruir el mecanismo de reacción y las propiedades de las partículas involucradas, queremos la máxima información sobre los productos finales
- **El detector de partículas ideal debe**
  - Garantizar cobertura del ángulo sólido completo (sin grietas, segmentación fina)
  - Medir el momento y/o energía
  - Detectar, rastrear e identificar todas las partículas (masa, carga)
  - Responder rápidamente, sin tiempo muerto
  - Convertir la información en señales (eléctricas)



- Limitaciones prácticas: tecnología, espacio, presupuesto, etc.

# • Retos y Dificultades •

## RETOS

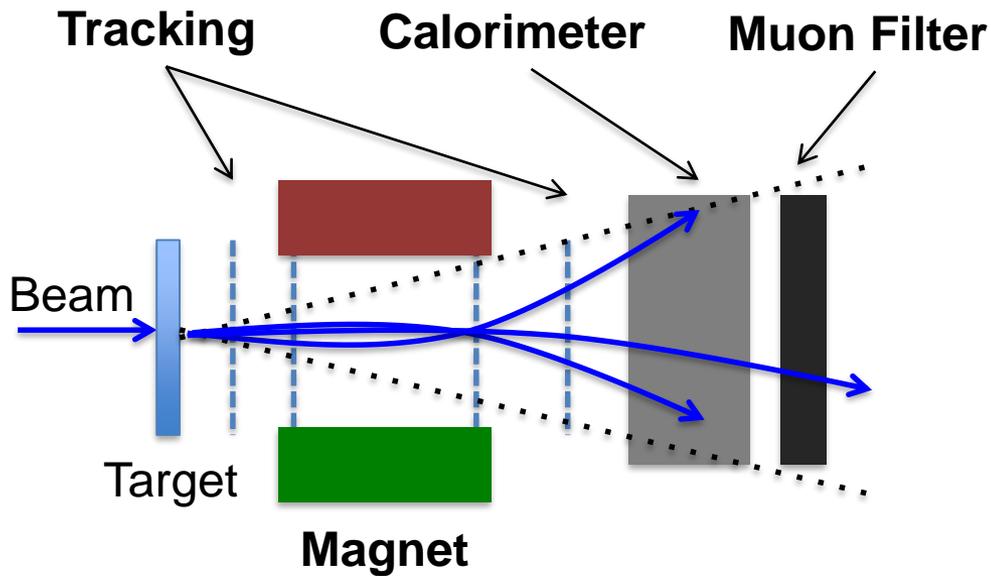
- Identificar partículas sin confusión.
- Medir con la mayor precisión posible las propiedades de las partículas.
- Determinar de forma inequívoca el proceso.

## DIFICULTADES

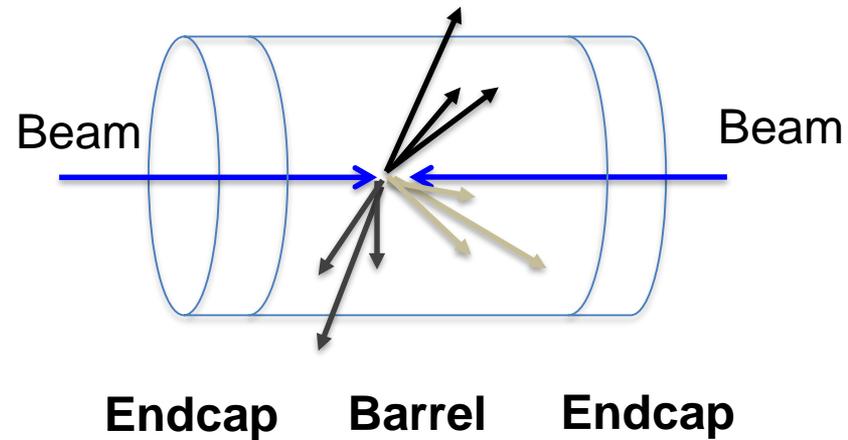
- Señales perdidas o erróneas
- Precisión limitada del detector
- Dificultad en el discernimiento de procesos
- Muchas partículas producidas
- Hay muchos procesos similares (contaminación) (Background)

# • Geometria de los Detectores •

## Fix Target Geometry



## Collider Geometry

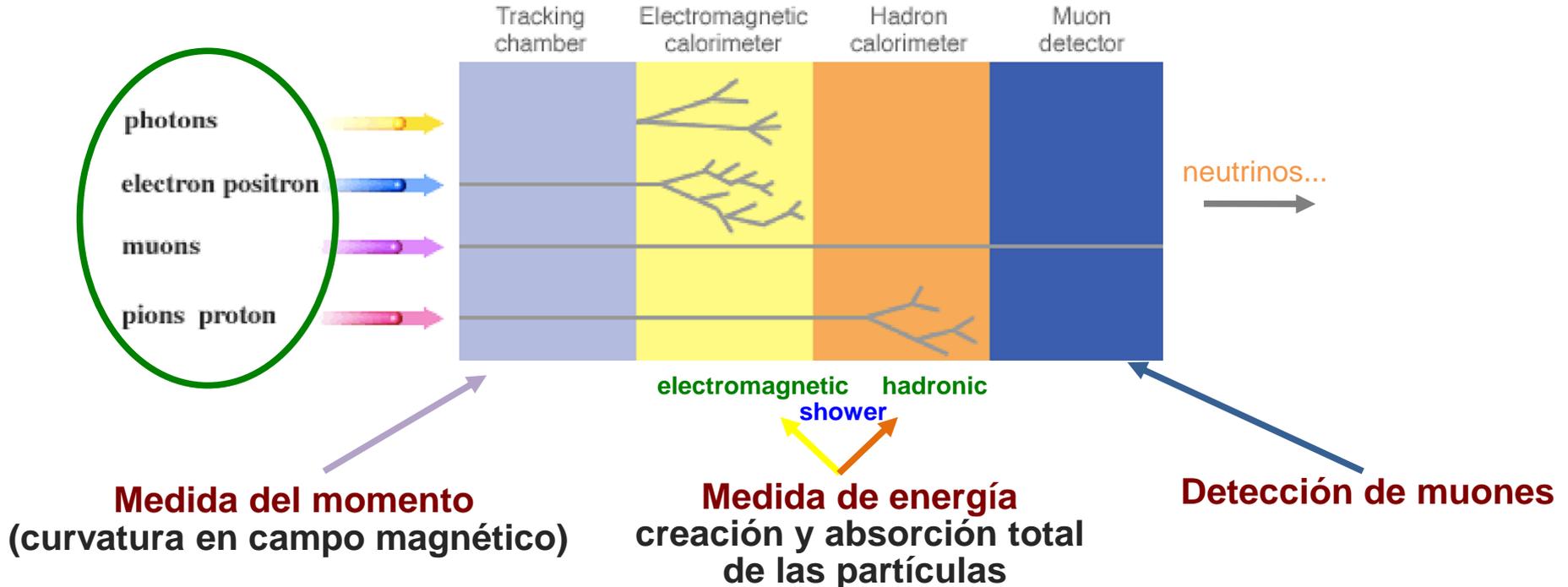


# • Interacciones en el Detector •

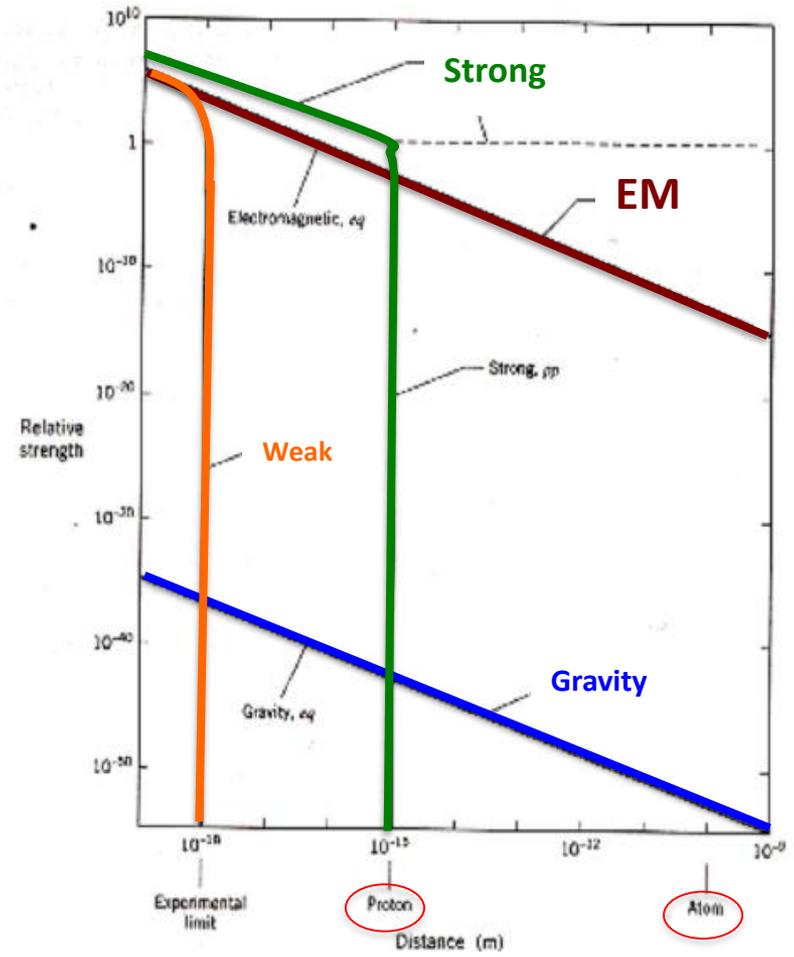
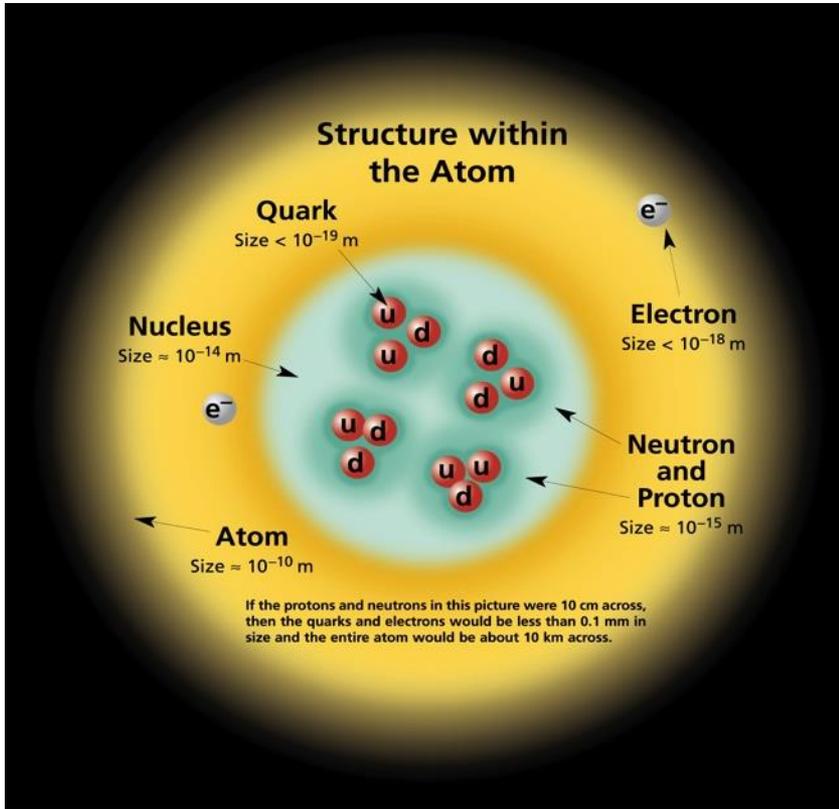
Baja densidad → Alta densidad

Alta precisión → Menor precisión

Alta granularidad → Menor granularidad



# • Interacciones •

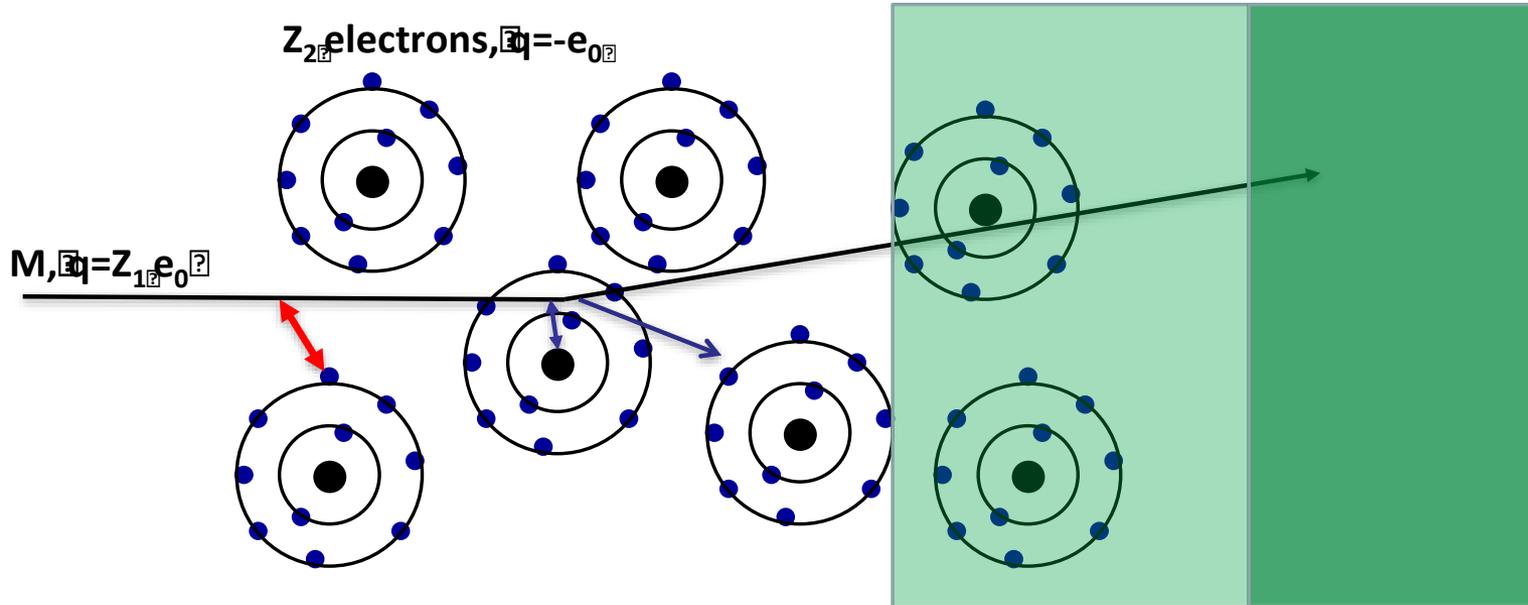


## PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
		(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:		0.8	1	25	Not applicable to quarks
		$10^{-41}$	1	60	
for two protons in nucleus		$10^{-36}$	1	Not applicable to hadrons	20

# • Interacción EM de las Partículas •

Slide: W.Riegler, CERN



Interaction with the atomic electrons. The incoming particle loses energy and the atoms are excited or ionized.

Interaction with the atomic nucleus. The particle is deflected (scattered) causing multiple scattering of the particle in the material. During this scattering a Bremsstrahlung photon can be emitted.

In case the particle's velocity is larger than the velocity of light in the medium, the resulting EM shockwave manifests itself as Cherenkov Radiation. When the particle crosses the boundary between two media, there is a probability of the order of 1% to produced and X ray photon, called Transition radiation.

11/09/2011

# • Partículas Neutras •

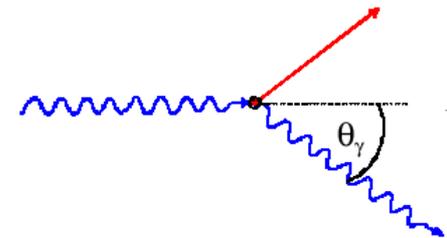
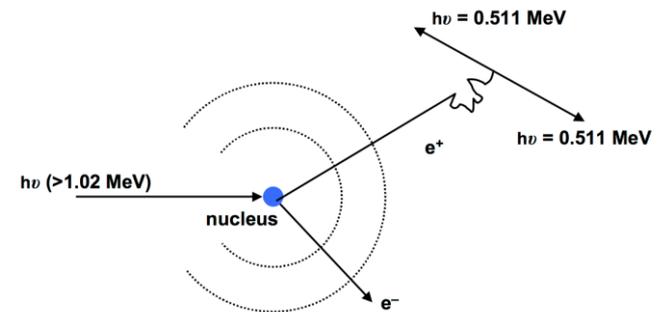
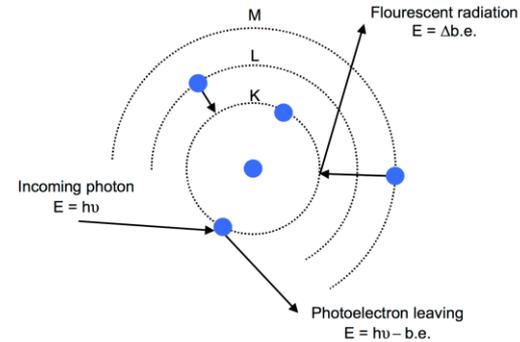
- **Efecto fotoeléctrico:** absorción de un fotón por un átomo, **expulsando un electrón**

*Se usa en varios detectores, muy importante en los detectores aplicados a la medicina*

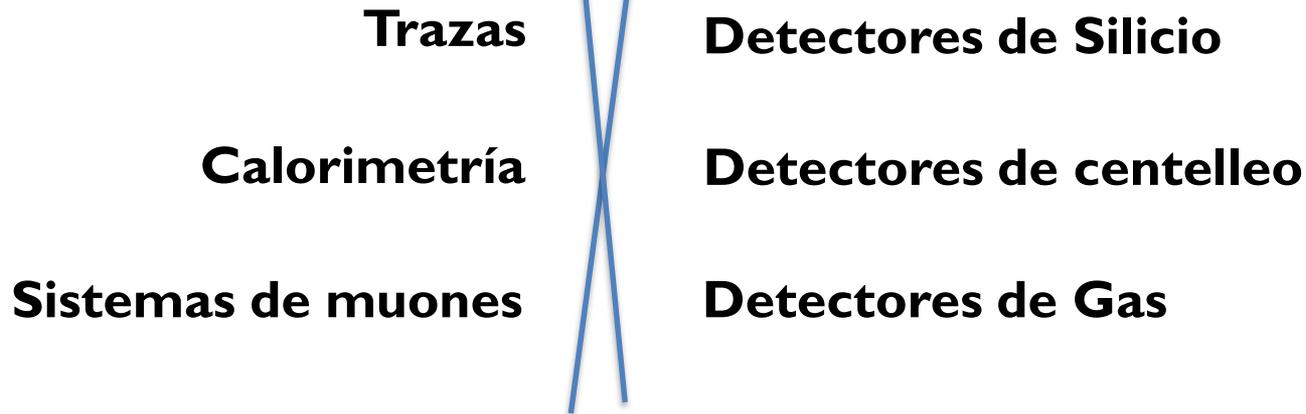
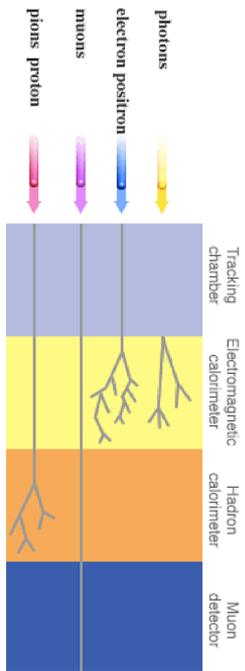
- **Producción de pares:** esencialmente bremsstrahlung; umbral a  $2 m_e = 1.022 \text{ MeV}$ . Domina a altas energías.

*El más importante en HEP, Inicia las EM showers en los calorímetros*

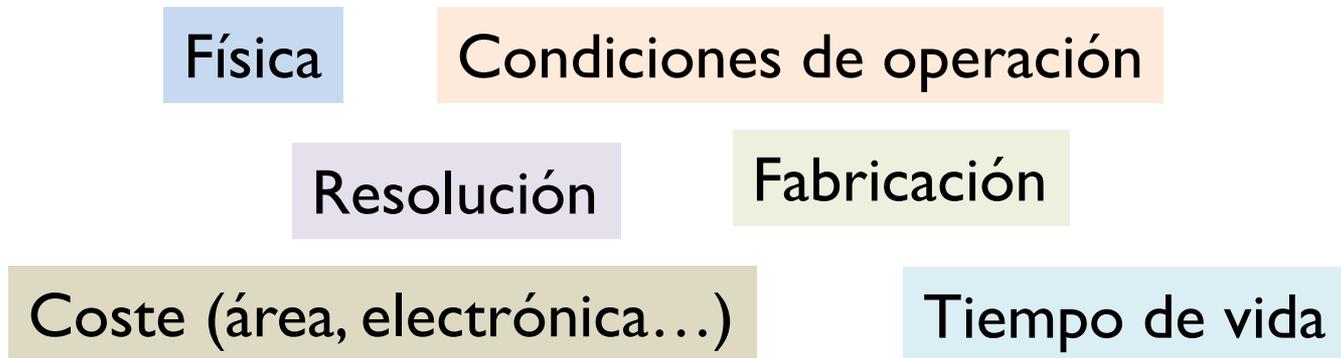
- **Scattering Compton:** dispersión de un fotón contra un electrón libre. Este proceso tiene restricciones cinemáticas bien definidas; para energías por encima de unos pocos MeV, 90% de la energía se transfiere.



# • Función vs Tecnología •

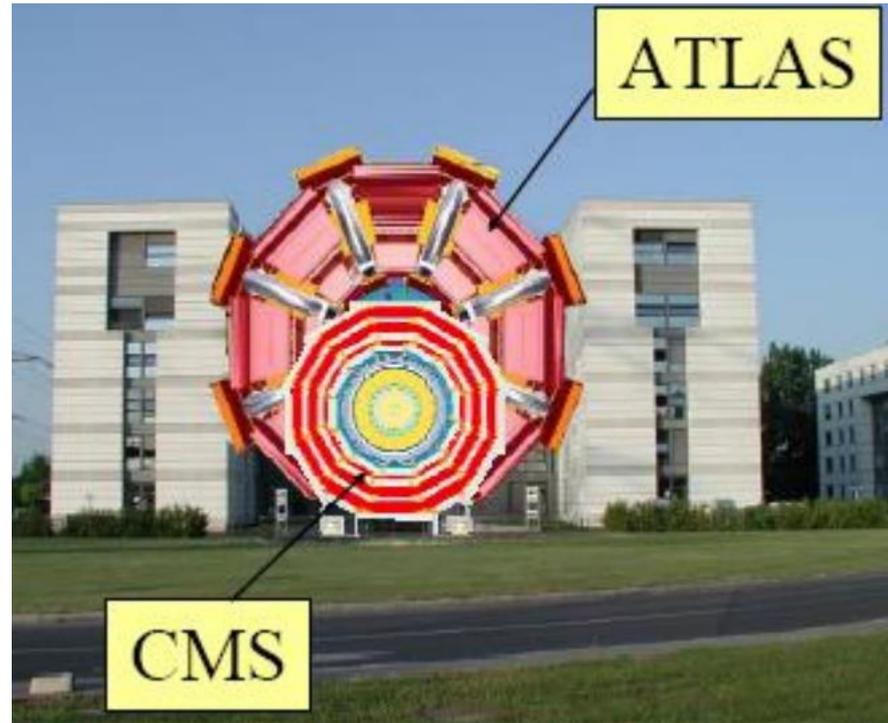
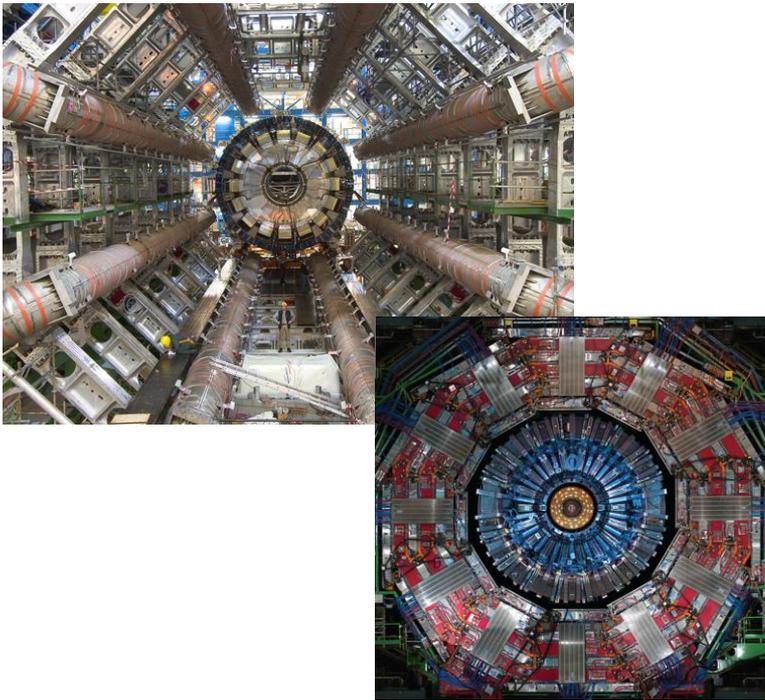


**Detector: combinación de tecnologías que registran el efecto de la interacción de las partículas con la materia**



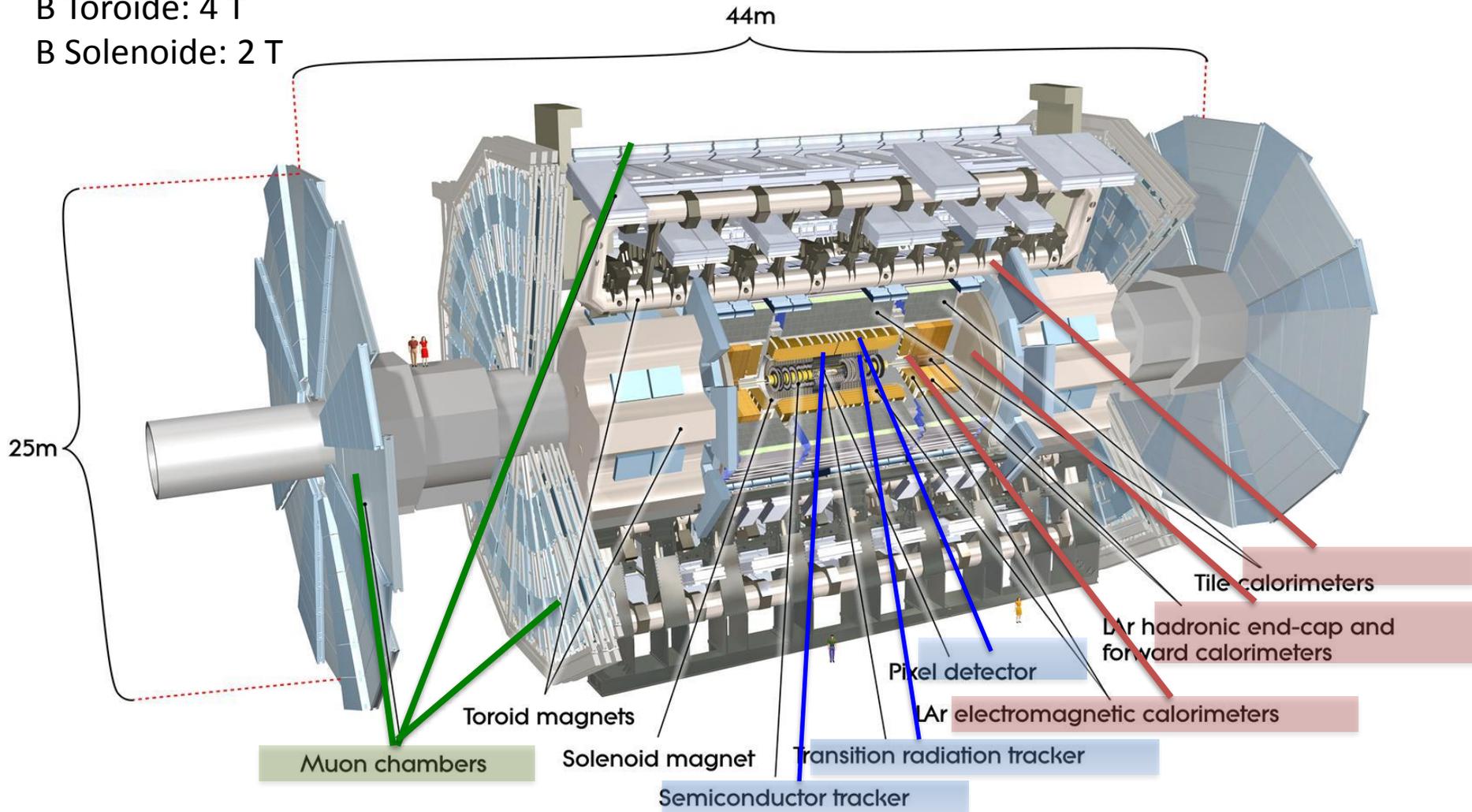
# • Detectores de Propósito General en el LHC •

- CMS: Compact Muon Solenoid
- ATLAS



# • ATLAS •

Peso: 7000 tons.  
B Toroide: 4 T  
B Solenoide: 2 T



# • CMS •

## 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  $\sim 18,000\text{A}$

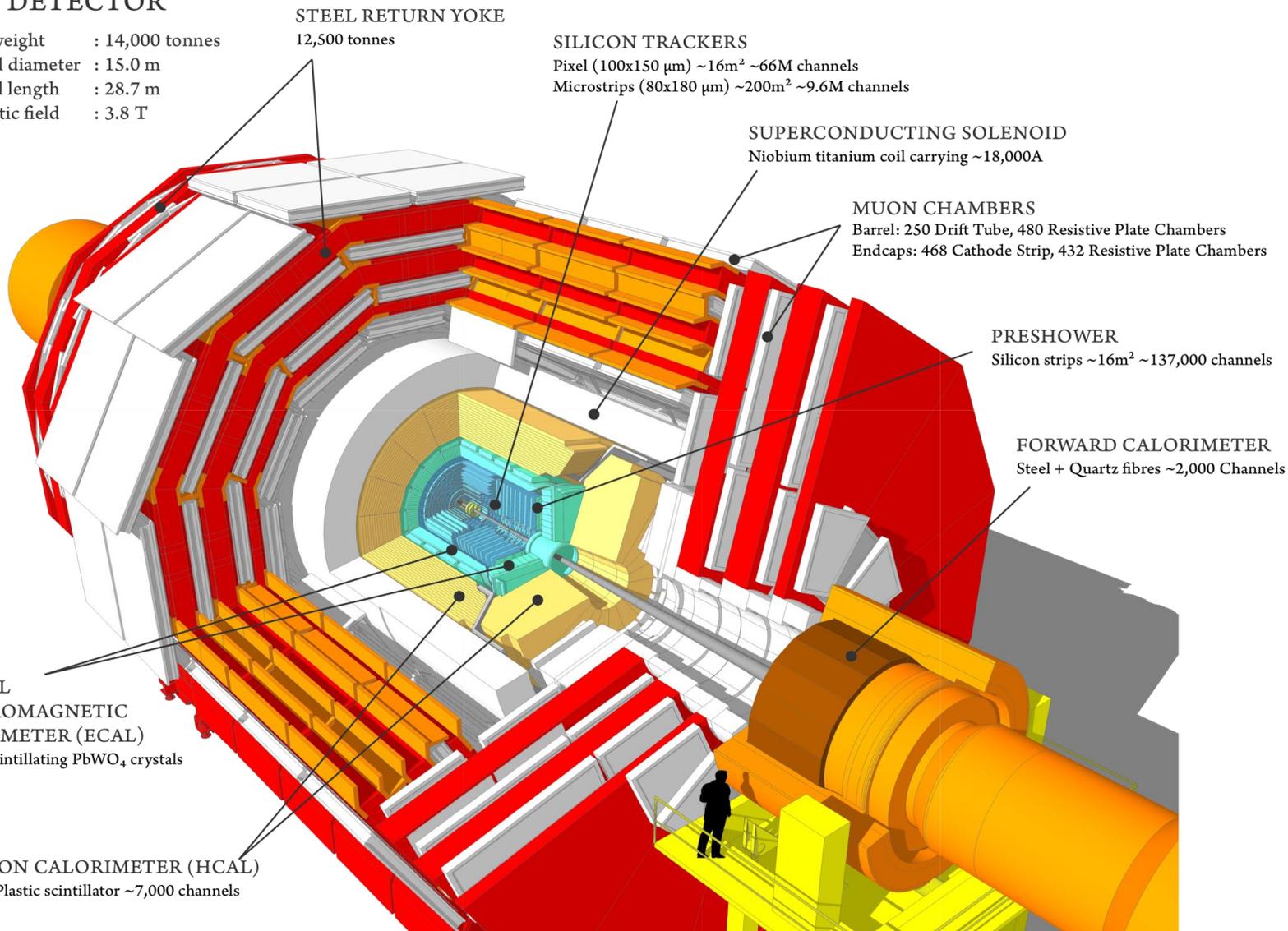
MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

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

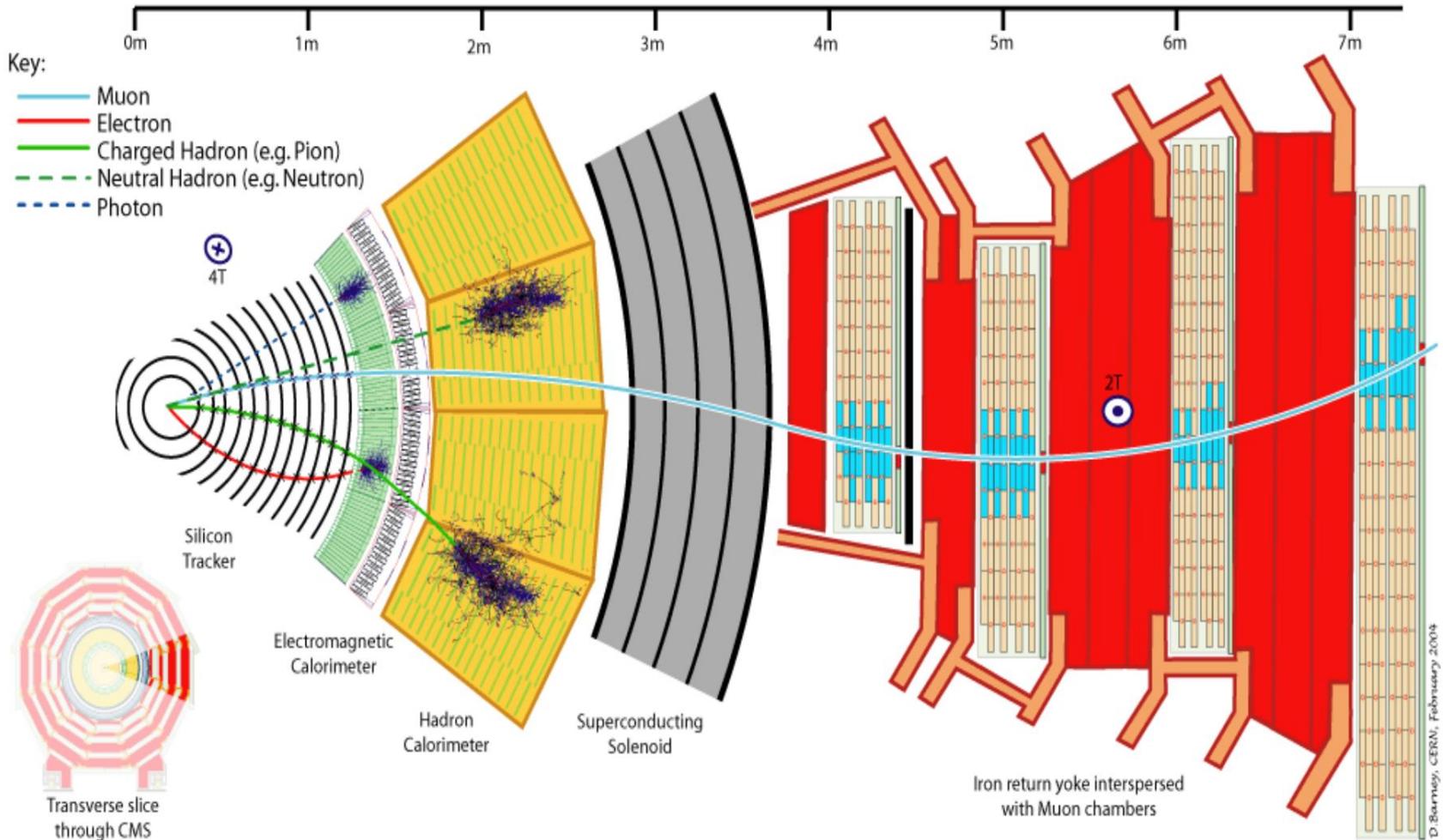
HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator  $\sim 7,000$  channels



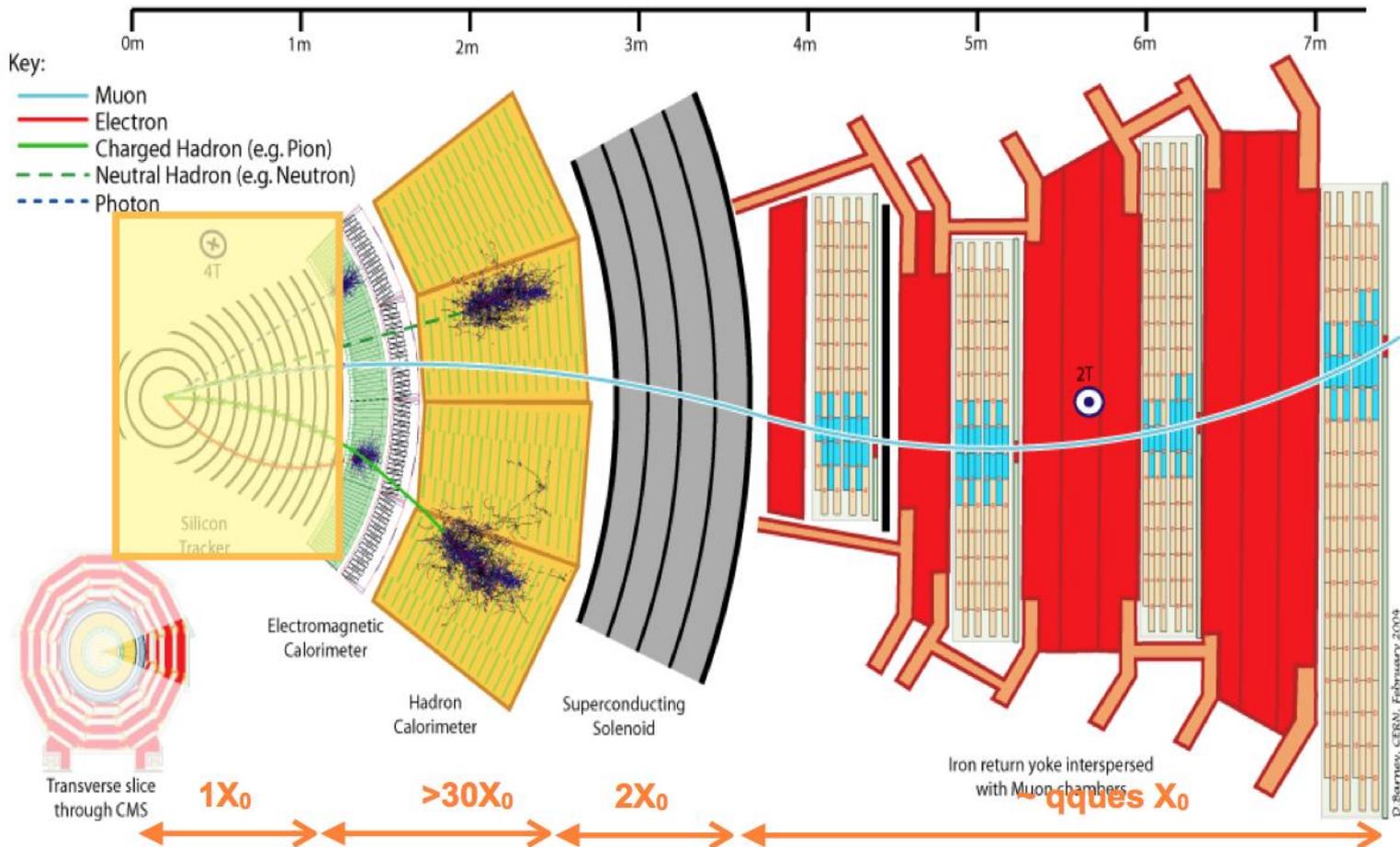
# •Tipos de detectores•

- **NO DESTRUCTIVOS:** Miden la trayectoria (o tiempo de paso) de las partículas **sin absorberlas.**
  - Tracker
  - Detectores de muones
  - *Imanes* (curvatura)
- **DESTRUCTIVOS:** Miden absorbiendo las partículas (**las partículas se pierden**)
  - **Calorímetros: EM o Hadrónico**

# •Tipos de detectores•

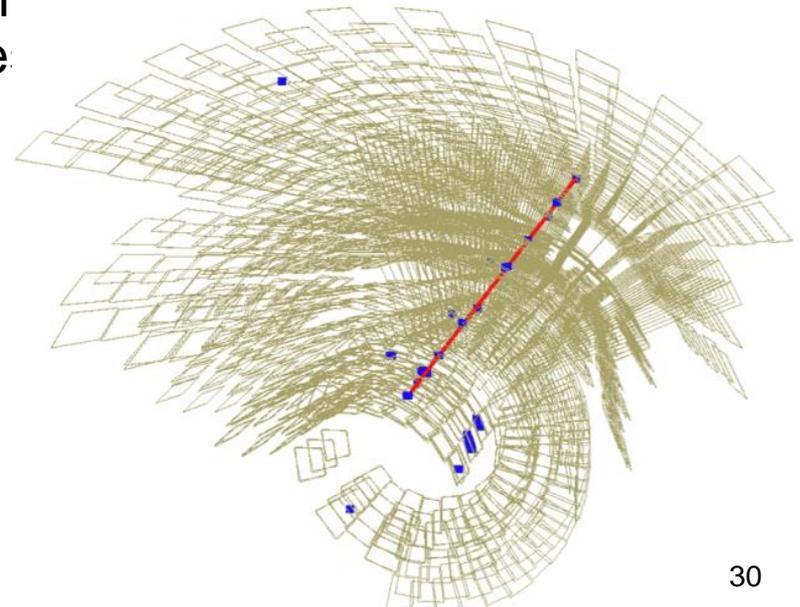


# • Detector de Trazas •



# • Detectores de Trazas •

- Miden las trayectorias de **partículas cargadas** emergentes de las colisiones
- Determinan **carga y momento** (en el campo magnético) de las partículas
- Las **trazas** se construyen a partir de varios puntos medidos en el espacio
- Rastrean señales compatibles con señales en los calorímetros o trazas en los sistemas muones
- Contribuyen a la identificación de par energía en el tracker o con detectores: **Detector compacto, en un campo magnético, que registra el mayor número de señales posible, pero ligero para minimizar las interacciones de las partículas cargadas (y neutras) antes de que lleguen a los calorímetros.**

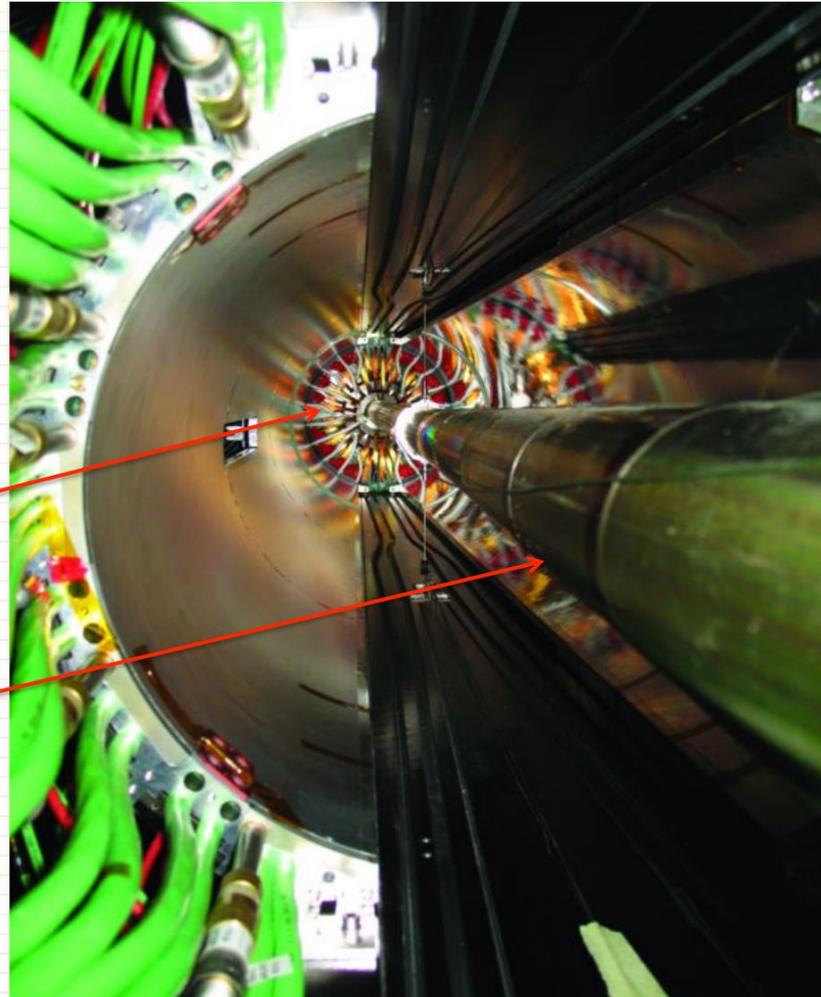


# • Detector de pixeles de silicio •

tubo del haz  
y detector  
de  
microvértice

detector de  
microvértice

tubo del haz



# • Silicon Tracker •

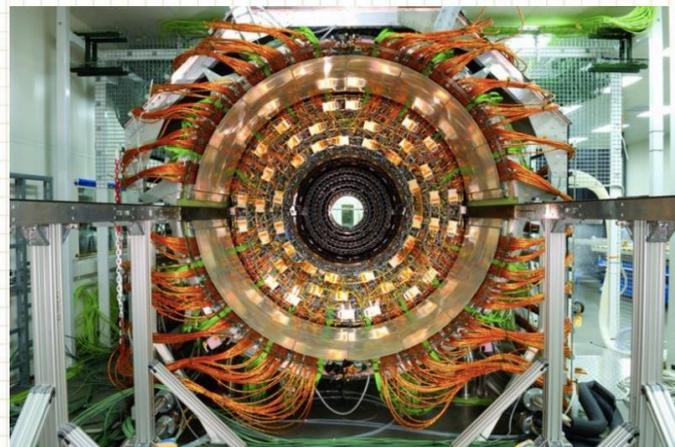
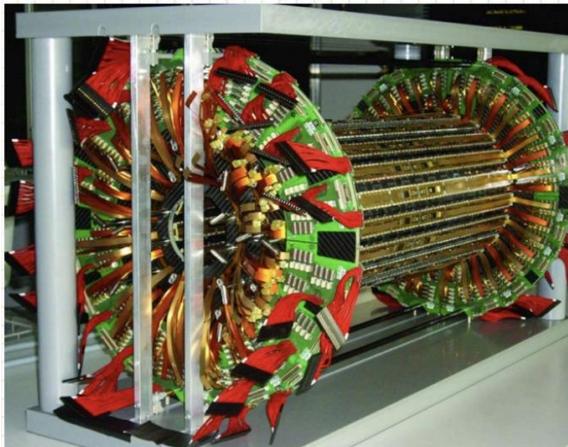
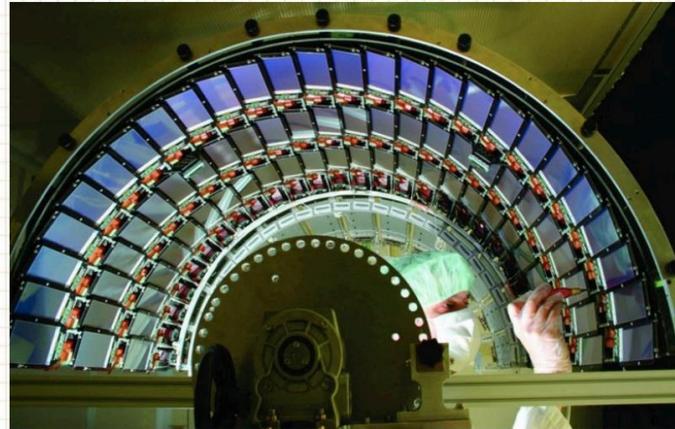
detector de  
trazas (Si)

volumen 23 m<sup>3</sup>

área activa 220 m<sup>2</sup>

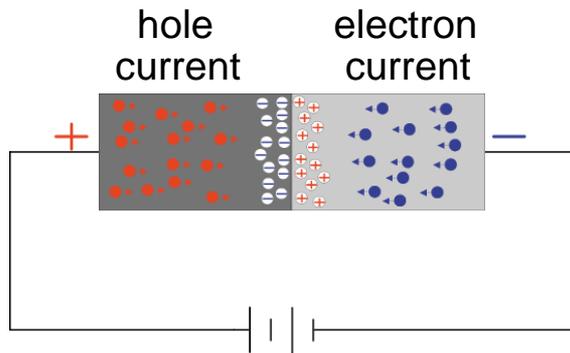
más de 60 millones de  
canales de lectura

opera a -15°C

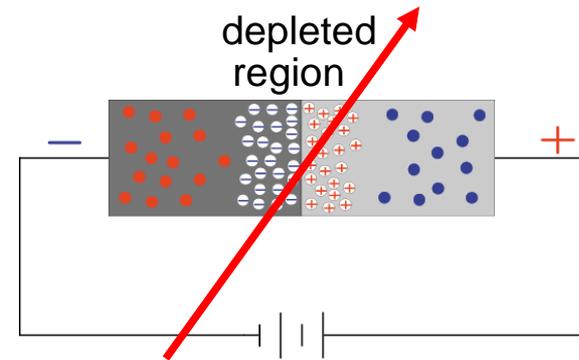


# • Semiconductores •

(~solid state or silicon detectors)



Current flow through diode if connects like this



Charged particle can create new electron/hole pairs in depletion area sufficient to create a signal



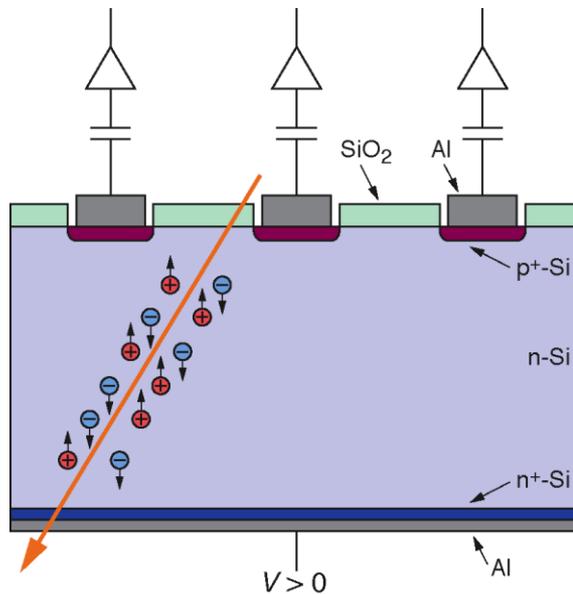
- Silicio: se crea un par e-/hueco por cada 3.6 eV cada vez que pasa una partícula

(Gas: se requieren 30 eV para ionizar una molécula de gas)

- Alta ionización primaria, no se necesita amplificación.

El grosor de un detector típico (200-300  $\mu\text{m}$ ) resulta en  $3.2 \times 10^4$  pares e-

# • Semiconductores •



Creación de pares  $e^-/h^{+}$

Deriva de las cargas a los electrodos

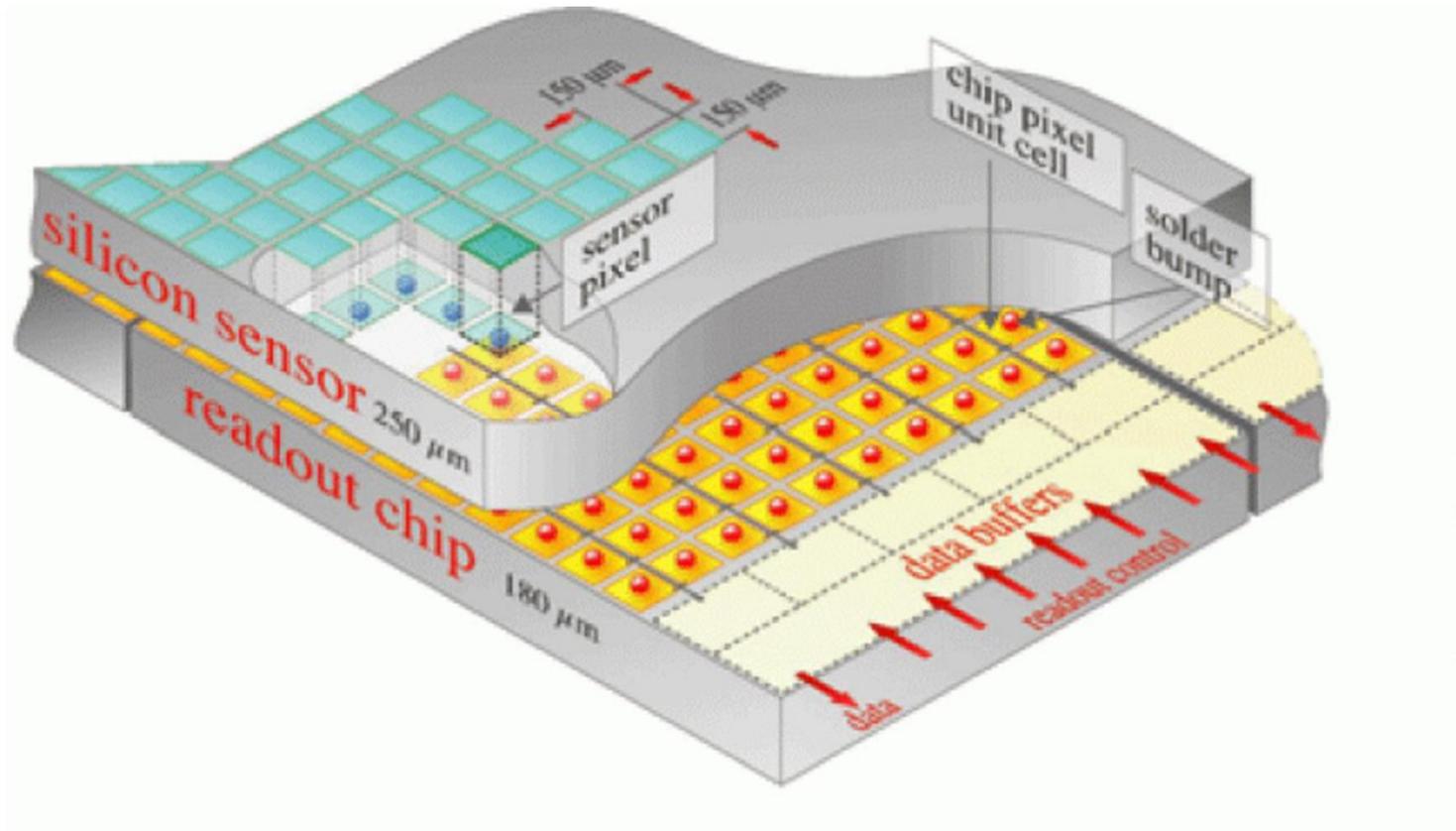
El movimiento de las cargas (corriente) crea una señal eléctrica, que se amplifica con la electrónica directamente conectada a cada pista (tarjetas ultrarrápidas).

- **Resolución espacial:**  $\sim 10\mu\text{m}$ , los mejores  $\sim 1\mu\text{m}$
- **Duración de la señal:**  $\sim 10\text{ns}$ , los mejores 1-2ns
- Alta **granularidad**
- **Finos**, se pueden colocar cerca del punto de interacción
- Resistentes a la **radiación**
- Proceso **industrial**

# • Detector de pixeles de silicio •

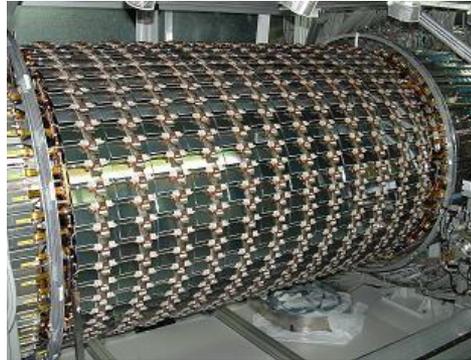
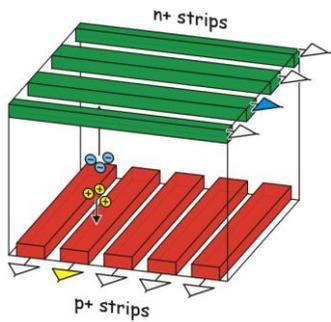
- El detector de pixeles es del tamaño de una caja de zapatos, se encuentra alrededor del haz. Contiene 65 millones de pixeles, lo cual le permite gran exactitud. Es vital para la reconstrucción de partículas de corta vida.
- Sin embargo al estar tan cercano al punto de la colisión , la cantidad partículas que lo traspasan es enorme: 10 millones de partículas/cm<sup>2</sup> s.
- Cada capa del detector se divide en pequeñísimos mosaicos, pequeños sensores de silicón, 100µm x 150µm, del orden de 2 cabellos de alto. Al ser atravezados por una partícula cargada esta le proporciona al electrón la energía suficiente para escapa del átomo de Silicio. Cada pixel colecta estas cargas en su superficie en forma de una pequeña señal electrica.
- Un chip electrónico de silicón, uno por cada mosaico es quien amplifica la señal.

# •Detector de pixeles de silicio•

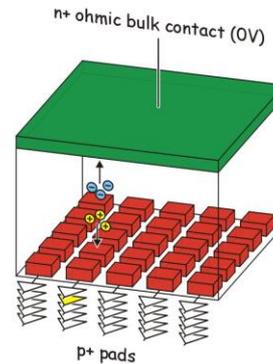


CMS silicon pixel detector

# • Silicon @ LHC •



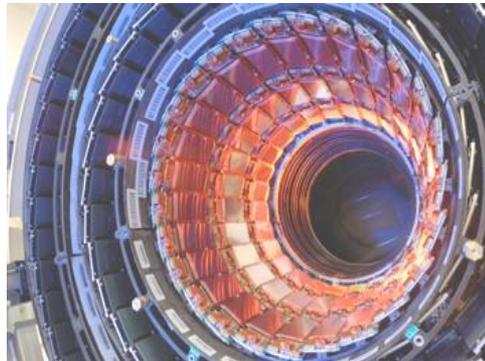
**ATLAS SCT Barrel**



**ATLAS Pixel Detector**



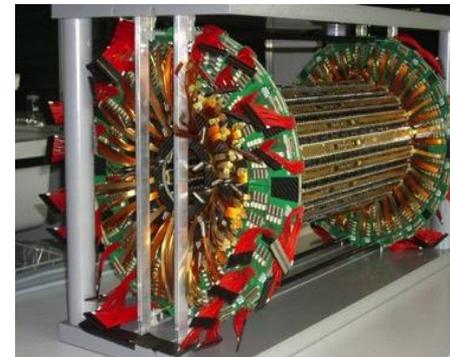
**ALICE Strip Detector**



**CMS Strip Tracker IB**



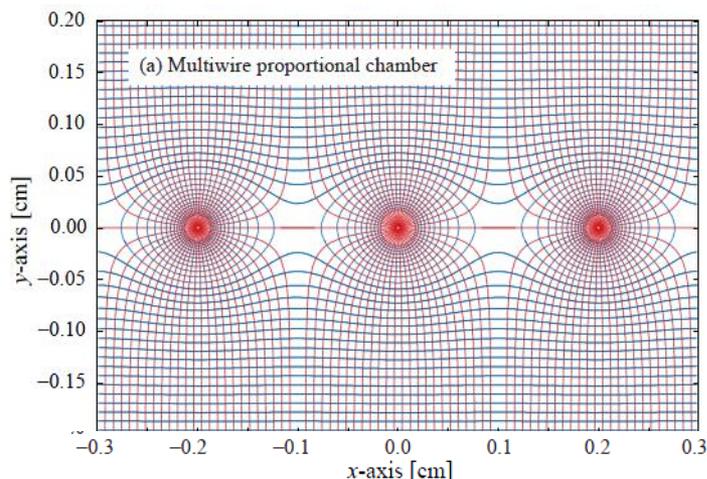
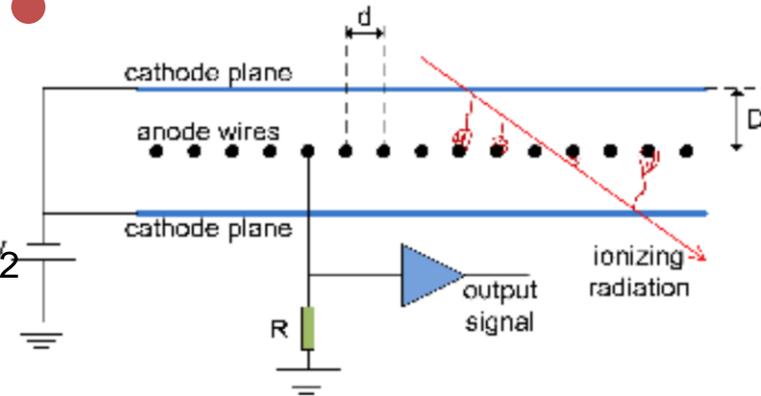
**ALICE Pixel Detector**



**CMS Pixel Detector**

# • MWPC •

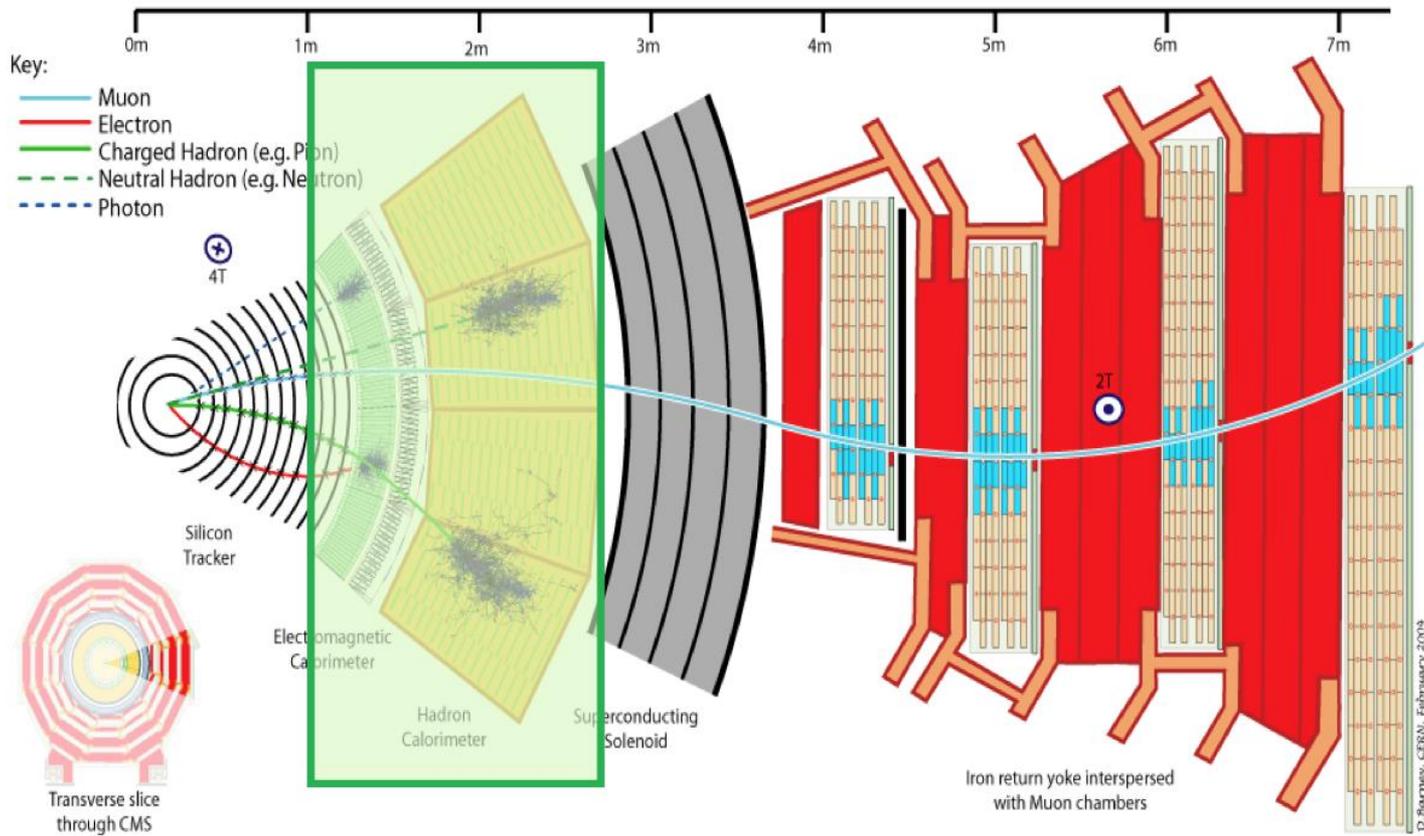
- Activos continuamente
- Eficientes en altos flujos de partículas  $\sim \text{MHz/cm}^2$
- Precisión sub-mm ( $\sim \text{distancia hilos}/\sqrt{12}$ )
- **Primer detector electrónico, permite hacer física (moderna) de alta estadística**
- **Limitaciones para el LHC: flujo de partículas, resistencia a la radiación, resolución espacial...**



*G.Charpak, Premio Nobel 1992*

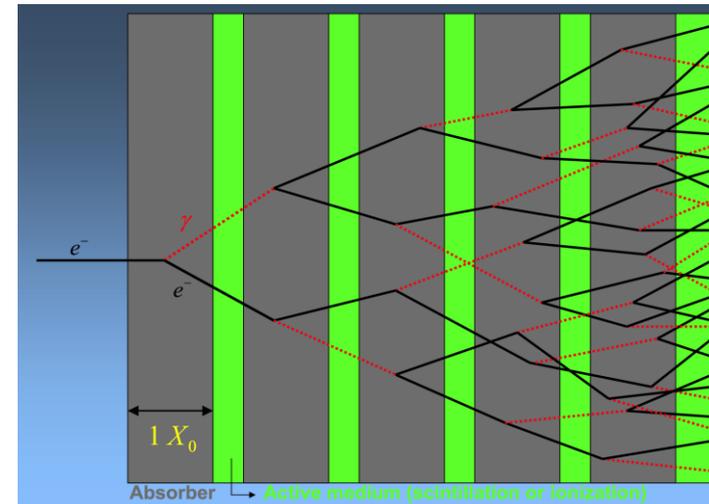


# • Calorímetros •



# • Calorímetros •

- El objetivo es medir la energía de la partícula entrante (partículas neutras o cargadas)
  - **Paran las partículas** (absorben toda su energía) en el volumen del detector excepto los muones (pesado) y neutrinos (interacción débil).
1. La(s) partícula incidente interactúa con el material calorimétrico pasivo y activo
  2. Se inicia un proceso en cascada: el desarrollo de la cascada depende del tipo de partícula y del material del detector
  3. La energía visible (calor, ionización, excitación de los átomos, luz de Cherenkov) depositada en los medios activos del calorímetro produce una señal detectable
  4. La señal final es proporcional a la energía total depositada por la partícula
  5. La calibración del calorímetro establece una relación precisa entre la 'energía visible' detectada y la energía de la partícula entrante



# • Calorímetros •

## Electromagnético

Fotones y cascadas de electrones ( $\gamma, e, \pi^0$ )

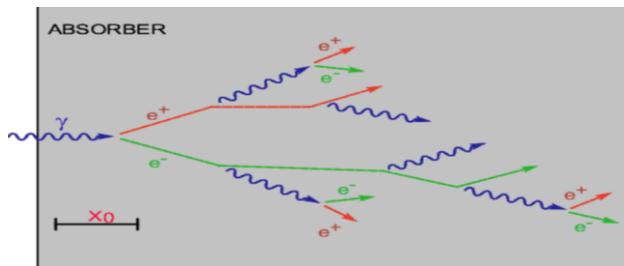
## Hadrónico

Hadrones cargados y neutros, jets ( $\pi, \rho, n$ )

### Cascada EM

La pérdida de energía resulta de diferentes mecanismos, a alta energía los procesos más importantes son:

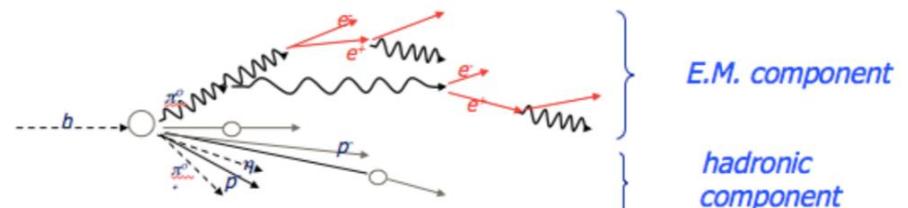
- Fotones: **Producción de Pares**
- Electrones/Positrones: **Bremsstrahlung** (radiación de frenado)



### Cascada Hadronica

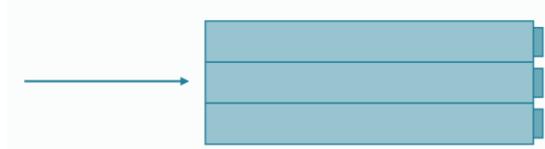
Se desarrollan como resultado de la interacción inelástica con los núcleos del medio, a través de un proceso en cascada

Una multitud de efectos se producen en el desarrollo de la cascada, los calorímetros hadrónicos son más complicados de optimizar y tienen una resolución intrínseca menor

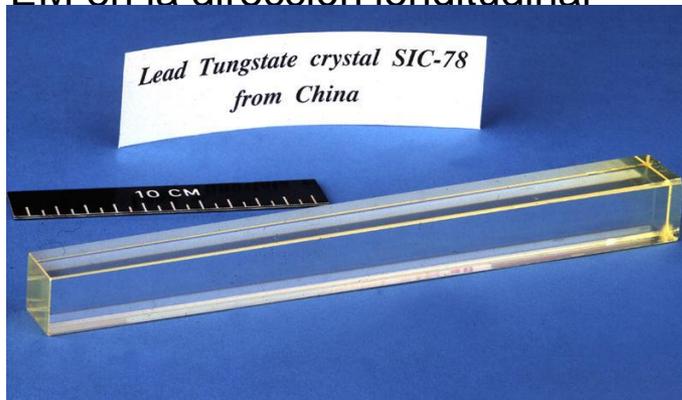


# • Calorímetros •

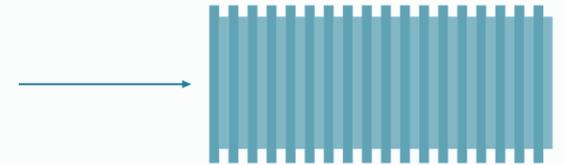
## Homogeneous EM Calorimeter (CMS)



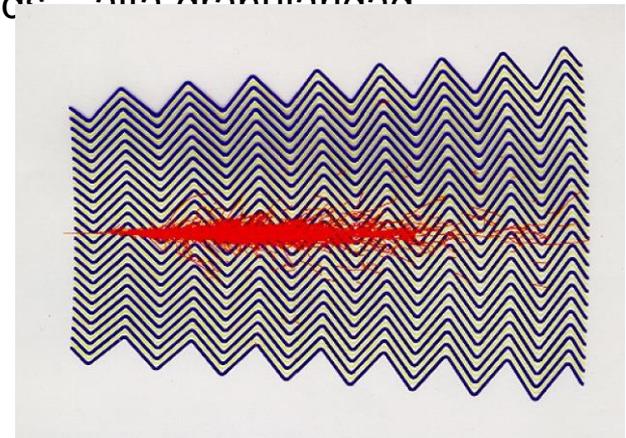
- Excelente resolución energética
  - Toda la *shower* esta contenida el detector (no se pierde en el absorber pasivo)
- Inconvenientes
  - Granularidad limitada, no dan información de la forma de la cascada EM en la dirección longitudinal



## Sampling EM Calorimeter (ATLAS)



- Absorbers: hierro, plomo... y gran variedad de detectores intercalados: detector de gas (MWPCs), centelleadores plasticos, LAr, LKr...
- ATLAS utiliza LAr con absorber de acero en forma de acordeón.
- El LAr se ioniza y la carga se recoge en pads. alta granularidad

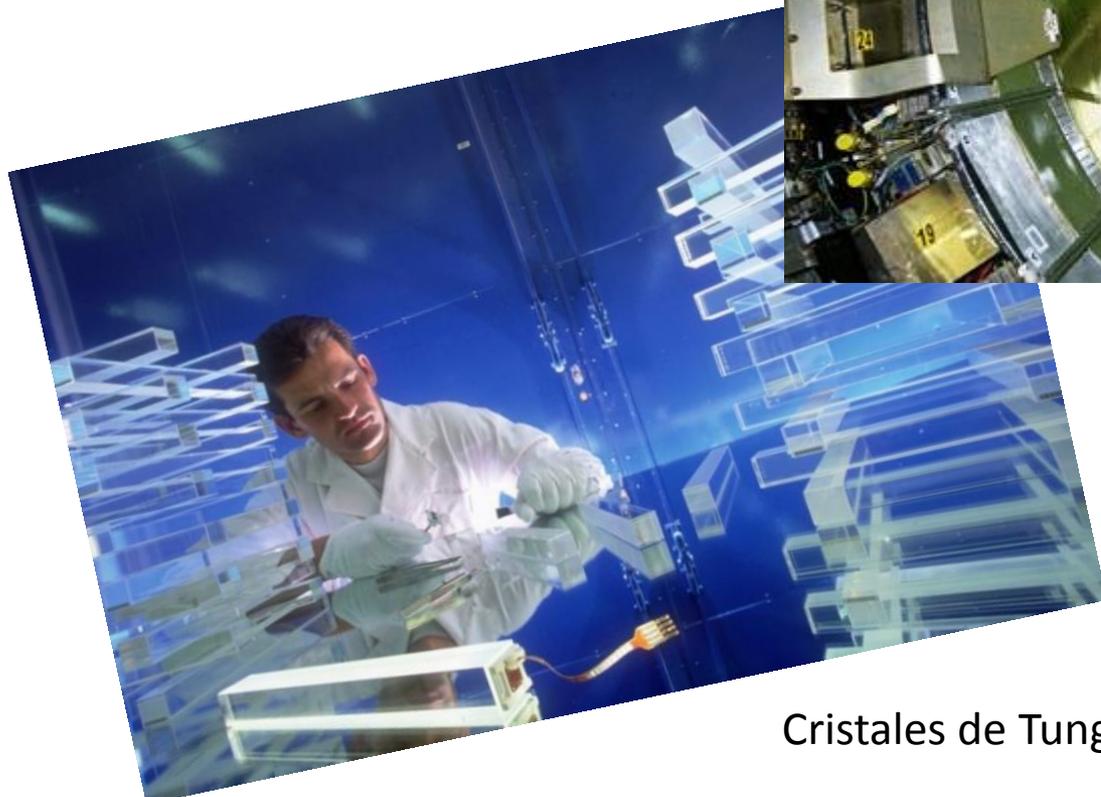


# • Calorímetro EM •

- CMS utiliza 80,000 cristales de tungsteno de Plomo ( $\text{PbWO}_4$ ) en el Calorímetro EM: un material con alta densidad que produce luz centelleadora en cascadas de fotones rápidas, compactas y bien definidas. Esto hace que el sistema sea preciso y compacto.
- Esta luz debe ser capturada por fotodetectores que la convierten a una señal eléctrica y la amplifican para salir a través de fibra óptica

# • Calorímetro Electromagnético •

CMS ECAL:



Cristales de Tungsteno de Pb para el ECAL de CMS

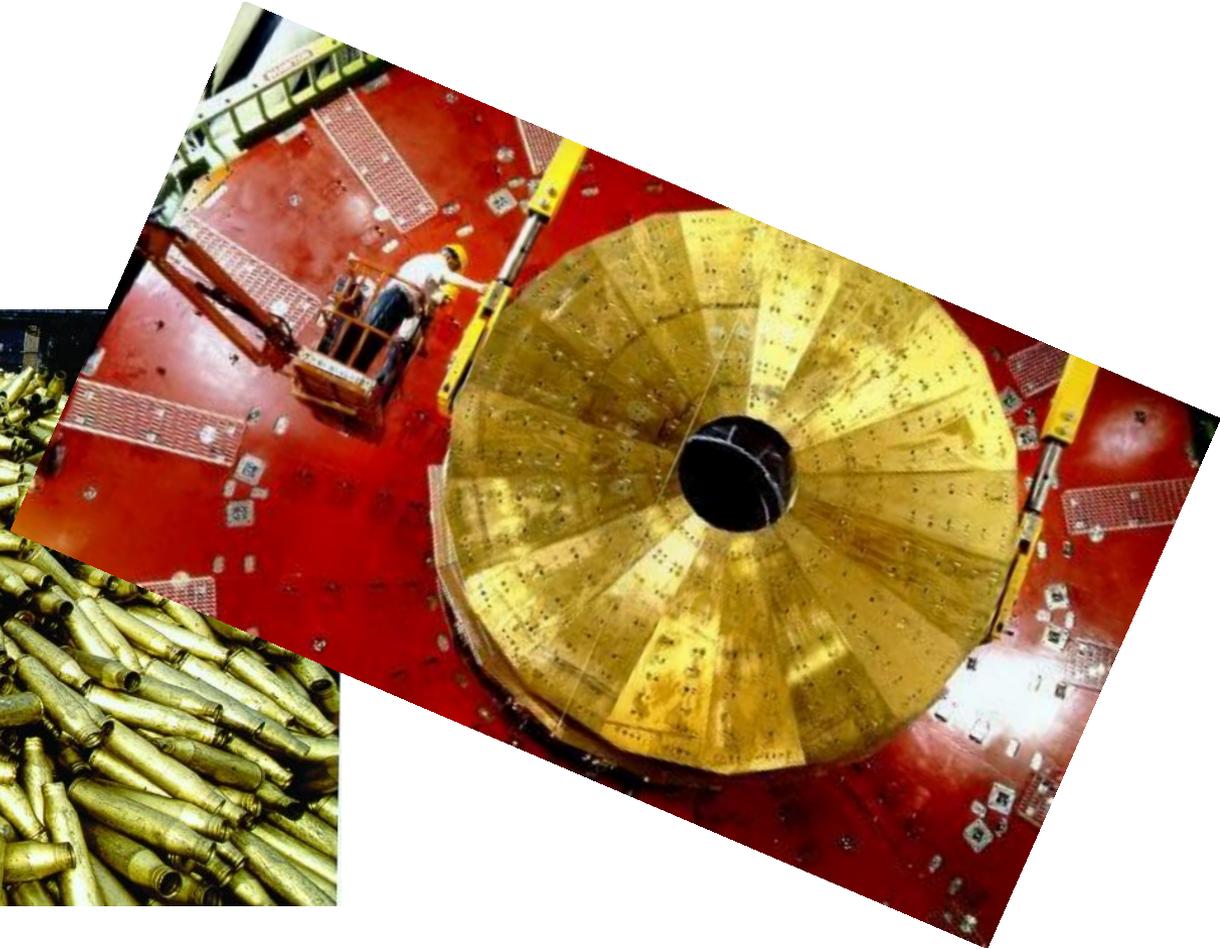
# •Calorímetro Hadrónico•

- El HCAL es un calorímetro de muestreo, esto quiere decir que encuentra la posición, energía y tiempo de llegada usando alternativamente capas de material denso de absorción y centelleadores fluorescentes que producen un pulso rápido de luz cuando las partículas lo atraviezan. Fibras ópticas recogen esta luz hasta los fotodetectores que amplifican la señal. Cuando la cantidad de luz en una región determinada es sumada sobre todas las capas se forma una “torre”, esta cantidad de luz es una medida de la energía de la partícula.

# •CMS HCAL•

- Se utilizaron más de un millón de casquillos de bronce provenientes de la Marina Rusa en la Segunda Guerra Mundial para hacer parte de sus componentes;
- Está hecho de 36 “rebanadas”, cada una con un peso comparable a 6 elefantes africanos;
- Contiene más de 400 “decodificadores ópticos”, los cuales fueron hechos por estudiantes de preparatoria en U.S.A (QuarkNet program).

# • CMS HCAL •



Casquillos de la Marina Rusa

# • Centelleadores •

- Centelleadores: materiales que producen chispas o destellos de luz cuando la radiación ionizante pasa a través. **La partícula cargada excita los átomos en el centelleador, e- vuelve a estado fundamental emitiendo un fotón.**

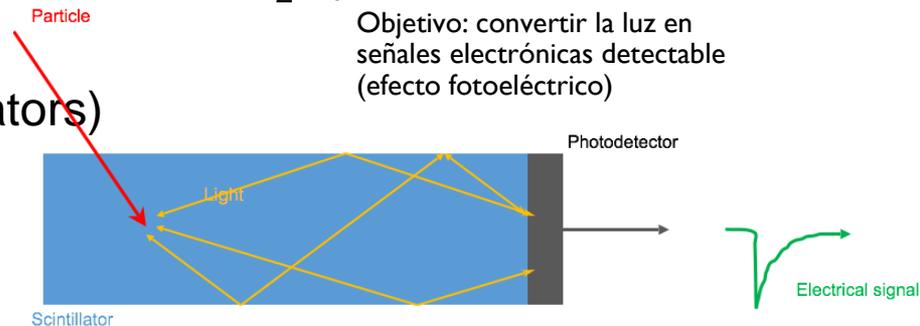
- Tipos de centelleadores

- Inorganic crystalline scintillators (NaI, CsI, BaF<sub>2</sub>...)
- Nobel Gas (Ar)
- Organic (Liquids or plastic scintillators)

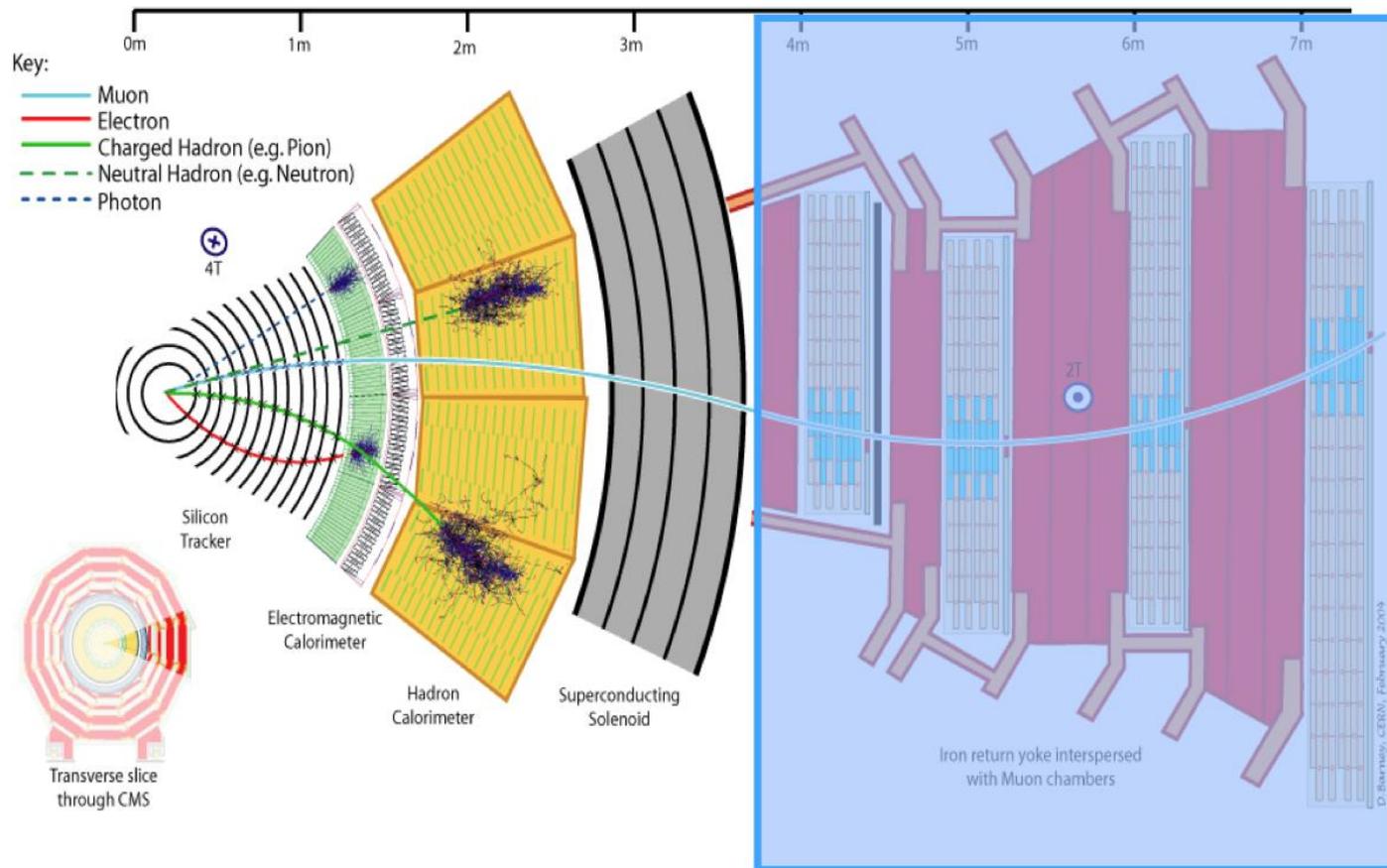
- Multitud de geometrías

- La cantidad de luz producida en el centelleador es muy pequeña. Debe ser amplificada para que pueda ser registrada.

- Usos: calorímetros, identificación, detectores de trazas

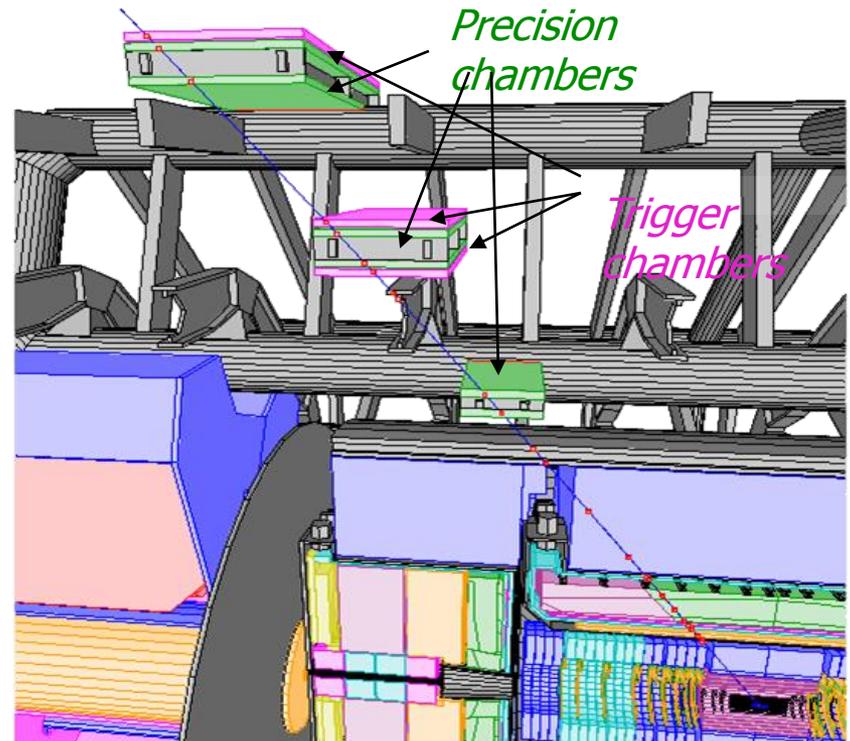


# • Detectores de muones •



# • Detección de Muones •

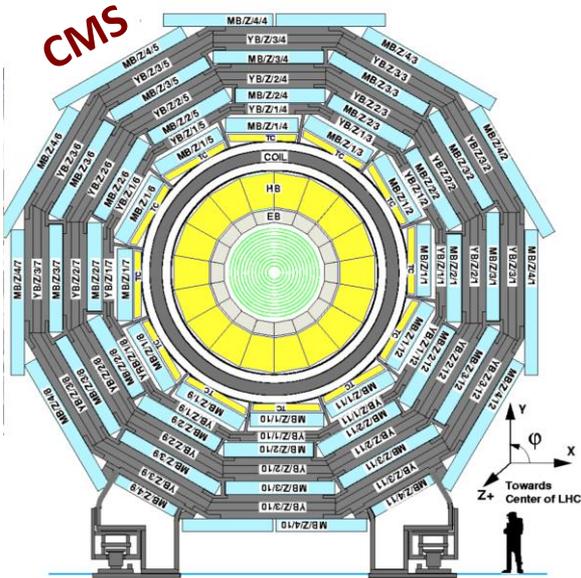
- Los muones son partículas cargadas como los electrones y positrones, pero 200 veces más pesados.
- Debido a que los **muones pueden penetrar varios metros de hierro sin interactuar**, a diferencia de la mayoría de las partículas no son paradas por los calorímetros. Por lo tanto, las cámaras para detectar muones se colocan en el borde mismo del experimento.
- Principio de detección: detectores de ionización (gas), similar a los *trackers* de precisión, pero por lo general de menor resolución espacial.
- Son **detectores rápidos y son parte del sistema de *trigger*** para seleccionar eventos.



# • **Detección de muones en CMS** •

- Como su nombre lo sugiere, detectar muones de una manera adecuada es una de las tareas más importantes de CMS.
- En total contiene 1400 cámaras de muones: 250 drift tubes (DTs) y 540 cathode strip chambers (CSCs) que determinan la posición de los muones y proveen el “trigger”, mientras 610 resistive plate chambers (RPCs) forman un trigger redundante, que decide en forma rápida si se guardan los datos o no.
- Debido a sus muchas capas y diferentes especialidades el sistema de muones es robusto y capaz de filtrar ruido de fondo.

# • Detección de Muones •



## DRIFT TUBES (DT)

Coertura central  
Tracking ( $100 \mu\text{m}$ ) y trigger

*Tecnología 'tradicional'*

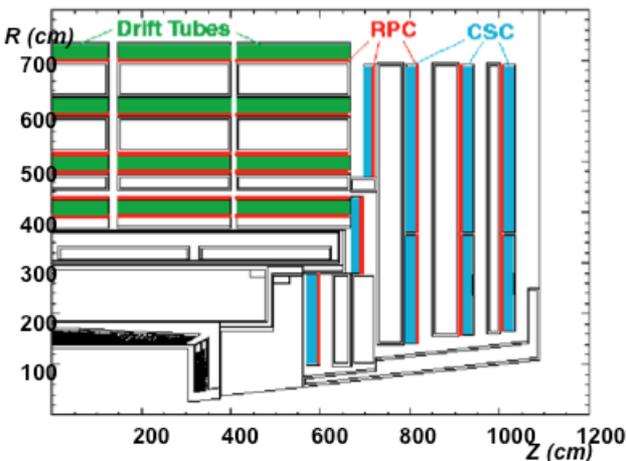
## CATHODE STRIP CHAMBERS (CSC)

Coertura hacia delante ( $6000 \text{ m}^2$ )  
Tracking ( $1 \text{ mm}$ ) y trigger  
540 detectores,  $0.5 \text{ MCanales}$

*Diseñados para operación en campo magnético intenso y fondo de radiación.*

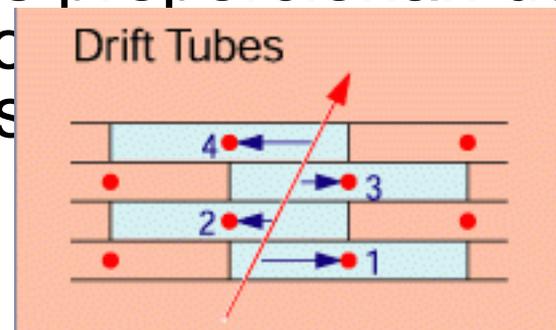
## RESISTIVE PLATE CHAMBERS (RPC)

Coertura central y hacia delante  
Trigger redundante ( $3 \text{ ns}$ )  
612 detectores



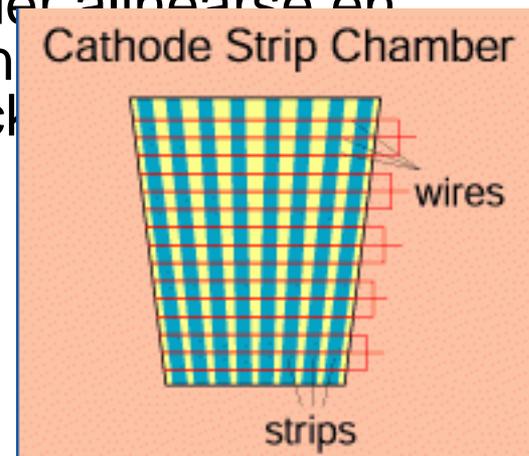
# • CMS DT's •

- El sistema de Tubos de Deriva (DT) sirve para medir la posición de los muones. Cada tubo de 4 cm de ancho contiene un alambre dentro de un volúmen de gas. Cuando un muon lo atravieza desprende electrones del gas que por atracción EM terminan en el alambre cargado positivamente.
- Registrando donde pega el electrón con el alambre así como calculando la distancia original del muón (Al multiplicar la velocidad del electron por el tiempo que le toma llegar) los DTs proporcionan dos coordenadas de posición.



# • CMS CSC's •

- Las cámaras de tiras catódicas (CSC) consisten en un arreglo de alambres positivamente cargados (ánodo) cruzados por tiras de cobre negativamente cargadas (cátodo) dentro de un volumen gaseoso.
- Cuando los muones lo atraviezan, desprenden electrones de los átomos del gas, que transitan hacia los alambres del ánodo creando una avalancha. Los iones positivos, por el contrario se mueven hacia el cátodo de cobre, también induciendo un pulso de carga en las tiras en un ángulo recto a la dirección de los alambres.
- Puesto que tiras y alambres son perpendiculares se tienen dos coordenadas posicionales para el muon que las atravieza. Y consta de 6 capas para una identificación más certera y poder alinearse en coincidencia con el track del muon.

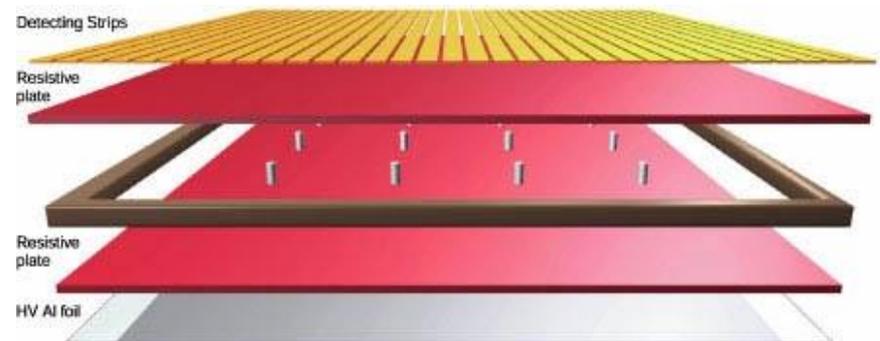


# • CMS RPC's •

- Las cámaras de placas resistivas (RPC) son detectores rápidos de gas que proveen un trigger de muones paralelamente al de los DTs y CSCs.
- Las RPCs consisten de dos placas paralelas, un ánodo (carga +) y un cátodo (carga -), ambos hechos de un material plástico de alta resistividad separados por un volumen de gas.
- Cuando un muon atravieza la cámara, los electrons del los átomos del gas son

despedidos. Estos electrones a su vez pegan a otros átomos creando una avalancha de electrones. Los electrones son recogidos por una tira metalica externa después de un tiempo de espera preciso. El patrón de los hits en las tiras nos da una idea del momento del muon.

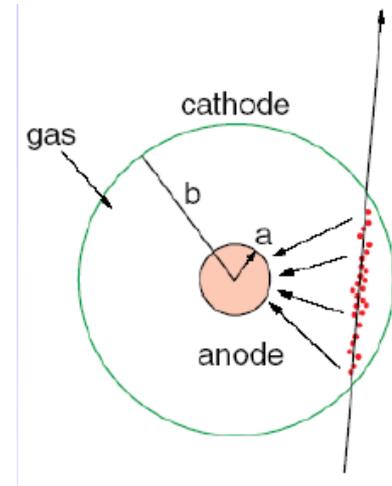
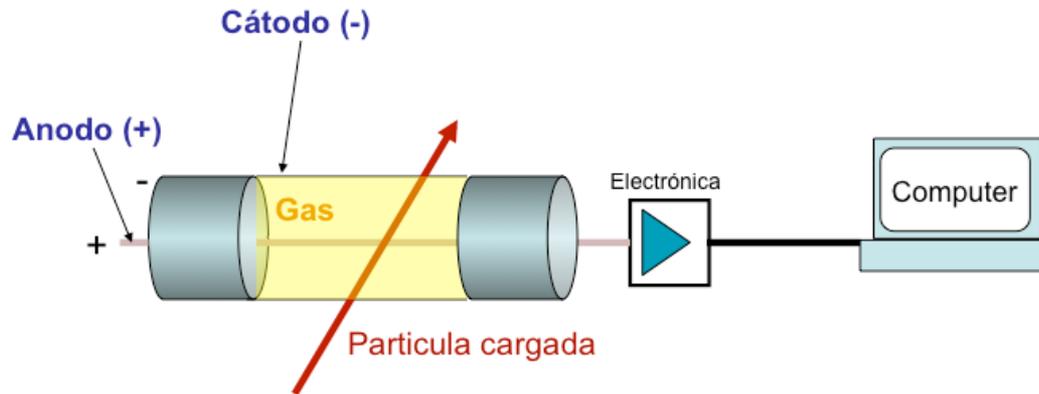
Las RPCs combinan una



# • CMS RPC's •



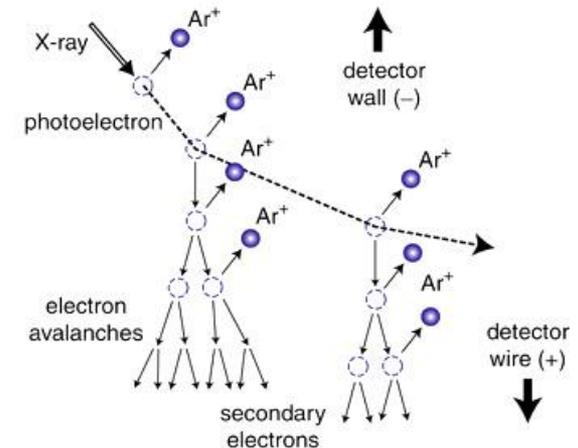
# • Detectores de Gas •



Una partícula cargada atravesando gas pierde energía cuando interacciona con los átomos de gas. Este proceso resulta en:

- **Excitación:** la partícula transfiere una cantidad determinada de energía al átomo de gas
- **Ionización:** la partícula libera un electrón del átomo de gas, y deja un ion cargado positivamente

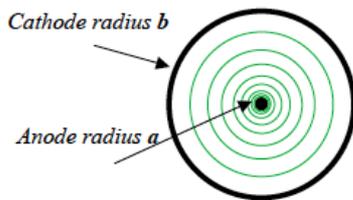
Los electrones primarios tienen suficiente energía cinética para ionizar otros átomos del gas.



# • Amplificación •

- La distancia media entre interacciones primarias es  $\sim 200\text{-}300 \mu\text{m}$ , y una interacción primaria produce solo unas pocas interacciones secundarias
- 100 pares no son fáciles de detectar, ya que el ruido típico de un amplificador de señal es  $\sim 1000 e^-$

## • THIN ANODE WIRE

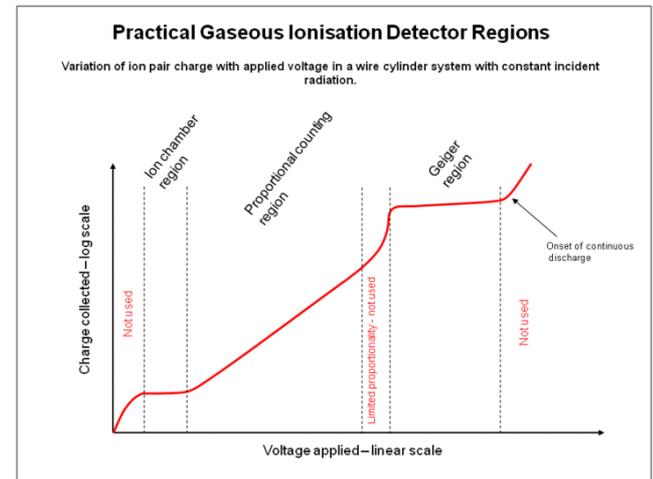
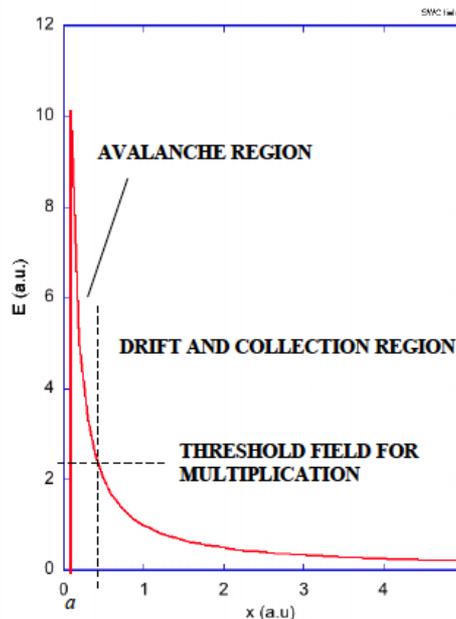


ELECTRIC FIELD AND POTENTIAL:

$$E(r) = \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2}$$

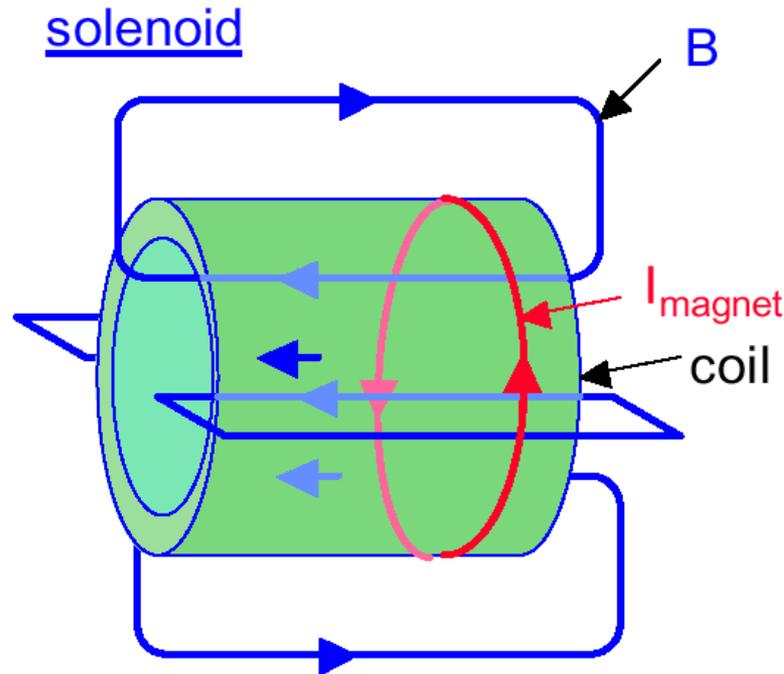
$$V(r) = \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{a}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(b/a)} \quad \text{capacitance per unit length}$$

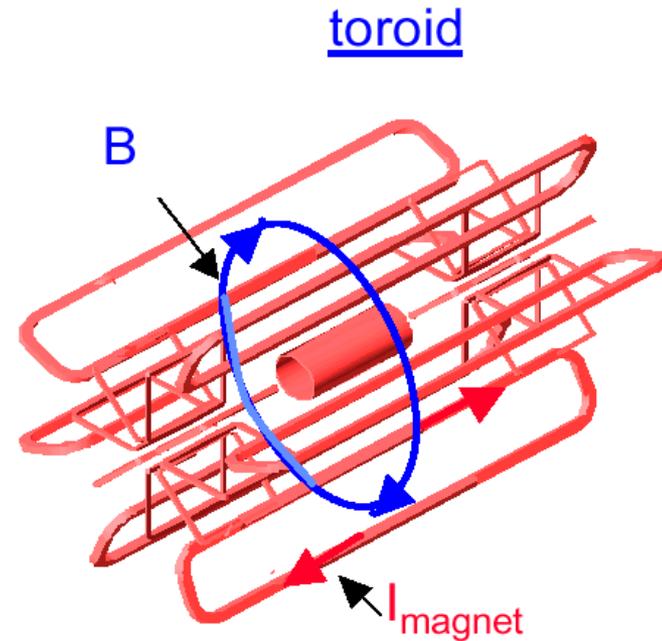


# • Campos magnéticos •

(Sirven para determinar carga y momento)



- + Large homogenous field inside coil
- Weak opposite field in return yoke
- Size limited (cost)
- Rel. high material budget



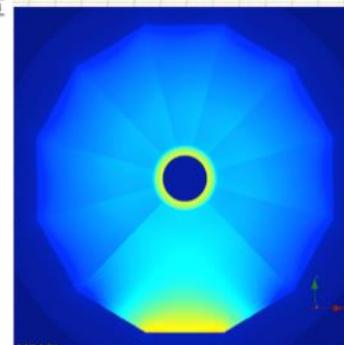
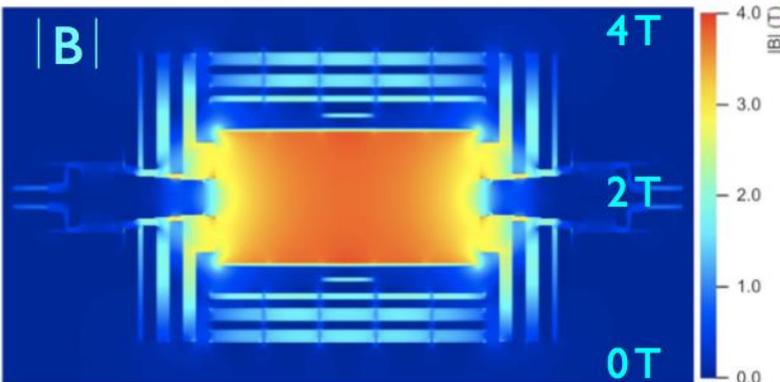
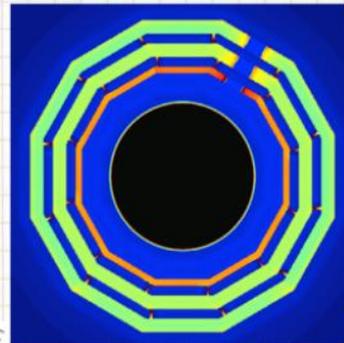
- + Field always perpendicular to p
- + Rel. large fields over large volume
- + No return yoke needed
- + Rel. low material budget
- Non-uniform field
- Complex structure

# solenoide superconductor

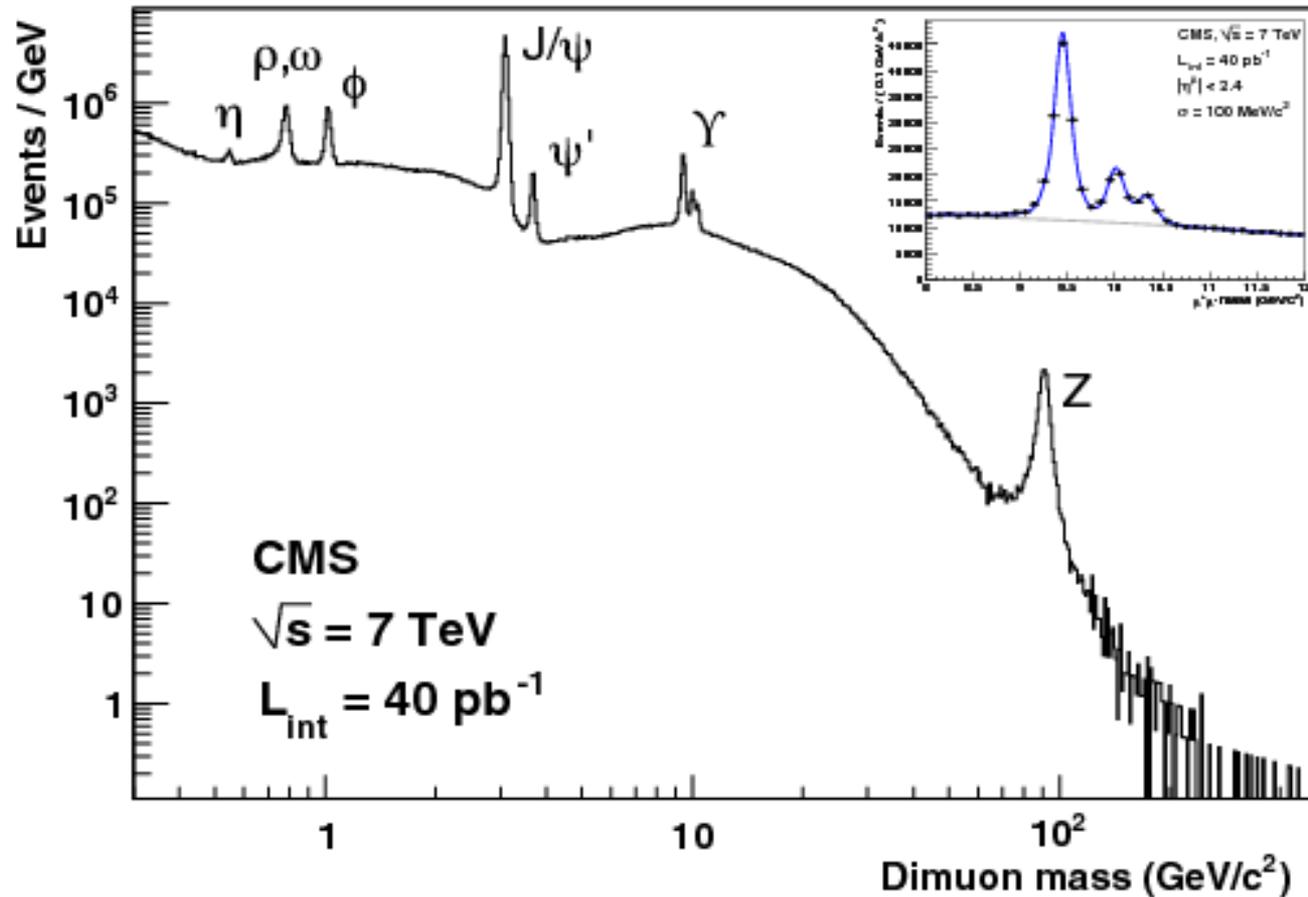
Imán de 5 módulos (longitud 2.5 m), cada uno es un cilindro de Aluminio con 4 capas de conductor, de 109 vueltas cada una. Refrigerado por Helio Líquido.

- Intensidad de la corriente = 19500 A.
- Campo magnético = 3.8 T.
- Energía almacenada = 2.3 GJ  $\approx$  0.5 Ton de TNT.

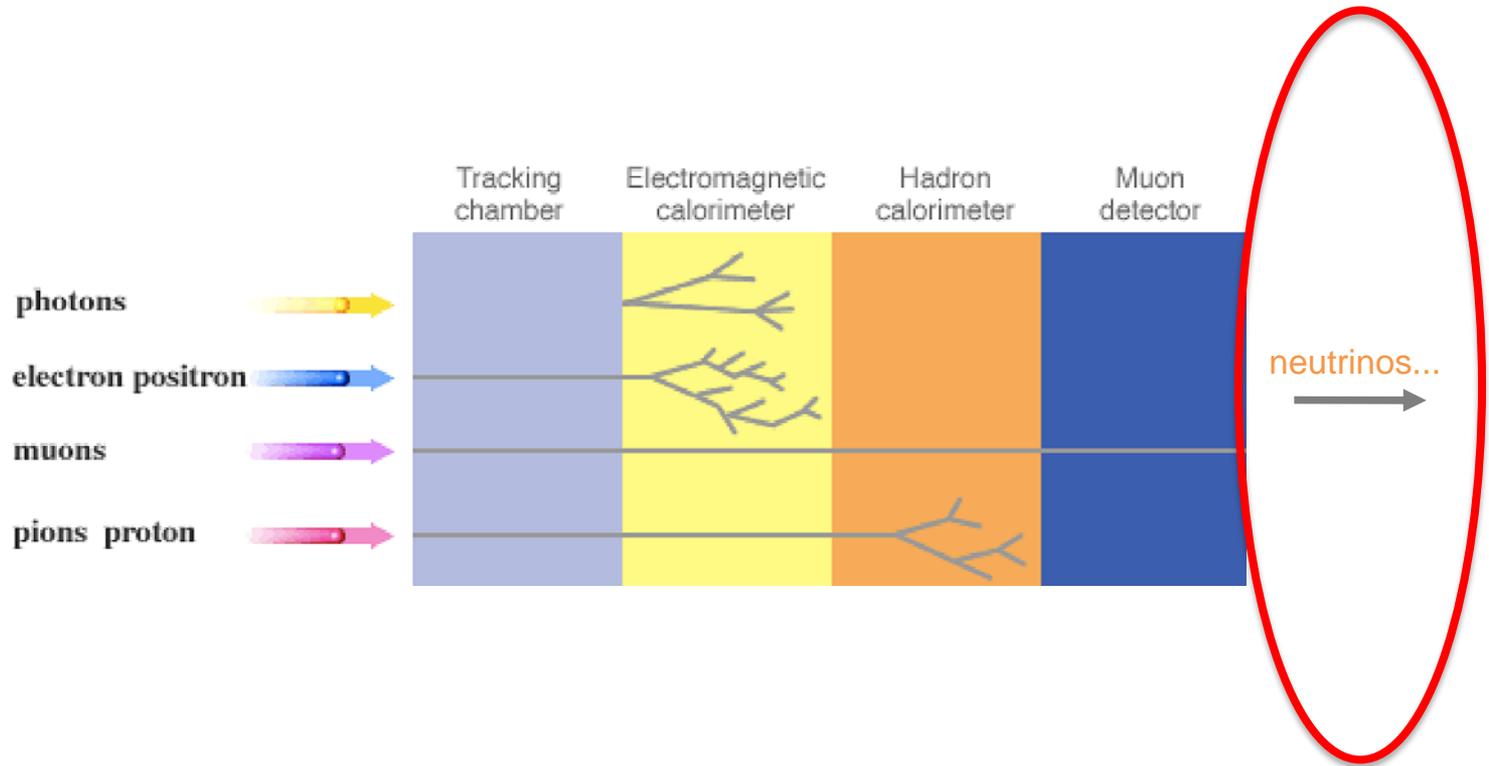
precisión del modelo de  $B < 0.1\%$  en la región del tracker, 10% en el hierro, confirmada por el análisis de muones cósmicos.



- Y al final esto es lo que vemos: •



# • ... y los neutrinos? •

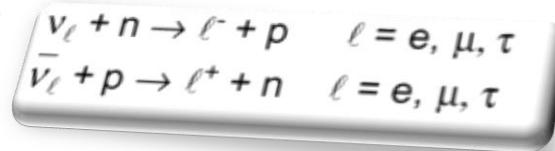


# • Neutrinos •

- **Neutrinos interactúan ligeramente**

- Para detectarlas, necesitamos primero una partícula cargada:

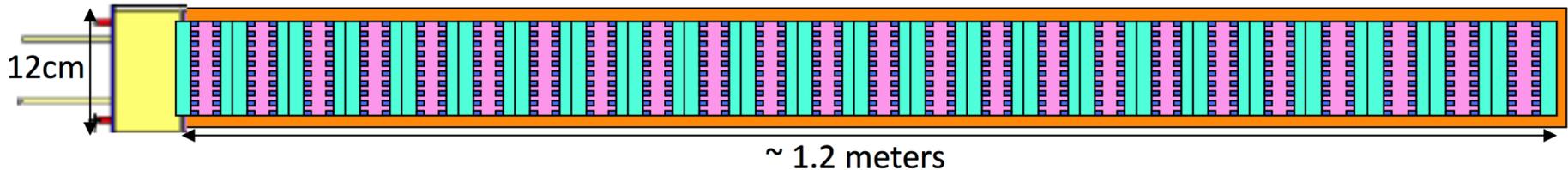
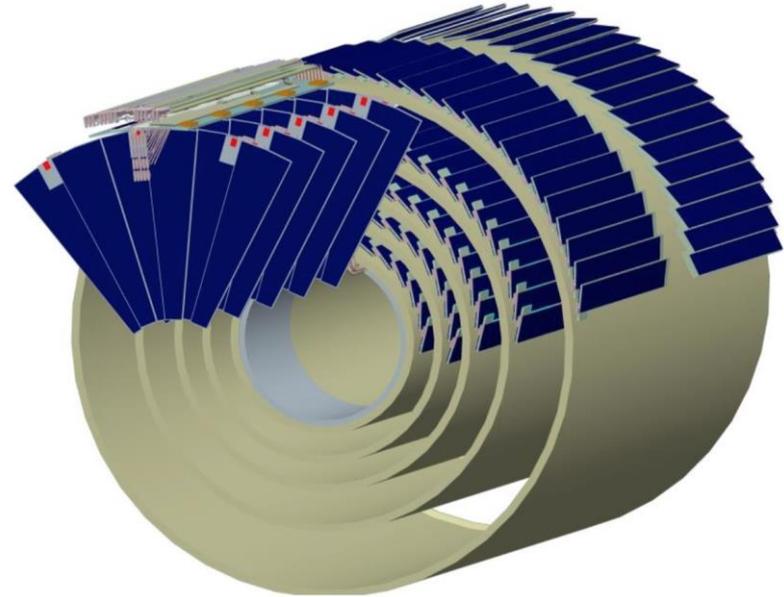
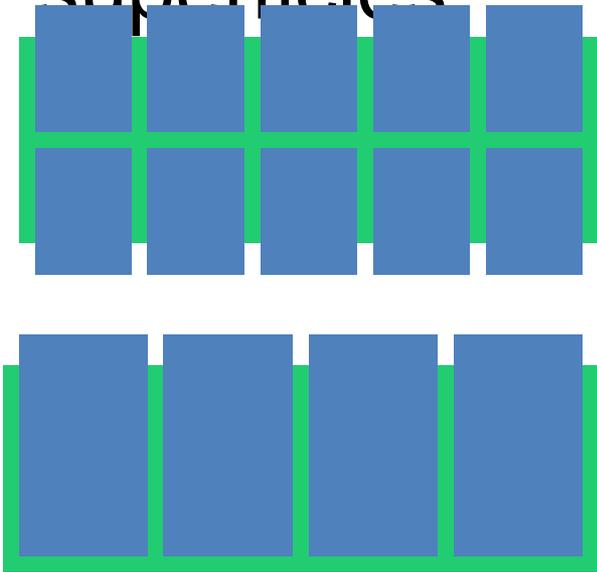
Reacciones posibles:



- Cross-section  $\nu_e + n \rightarrow e^- + p$  es del orden  $10^{-43} \text{ cm}^2$ 
  - Eficiencia de detección  $\varepsilon_{\text{det}} = \sigma \times N^{\text{surf}} = \sigma \rho N_A d / A$
  - 1m hierro:  $\varepsilon_{\text{det}} \sim 5 \times 10^{-17}$
- La detección de Neutrinos requiere detectores enormes y muy pesados (kT) y flujos muy elevados de neutrinos
- **En experimentos como los del LHC, detectores herméticos pueden detectar neutrinos indirectamente: se suma toda la energía visible y el momento, y se atribuye *missing energy and momentum* a los neutrinos**

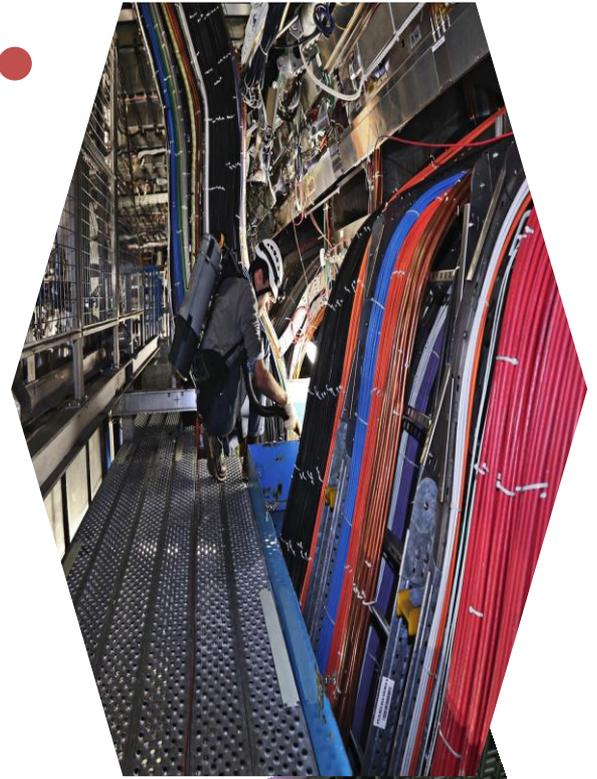
# • Sistemas •

- Cómo cubrir eficazmente grandes superficies



# • Sistemas •

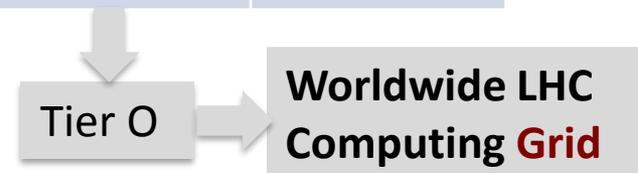
- **Sensor**
- **Electrónica de lectura**
- **Interconexión**
- **Soportes mecánicos**
- **Sistemas térmicos, refrigeración de la electrónica y detectores**
- **Distribución de potencia, señales...**
- **Servicios: cables, tubos, fibras...**
- **Sensores auxiliares: alineamiento.**
- **Cómputo y almacenamiento de datos.**



# • Datos y Filtros •

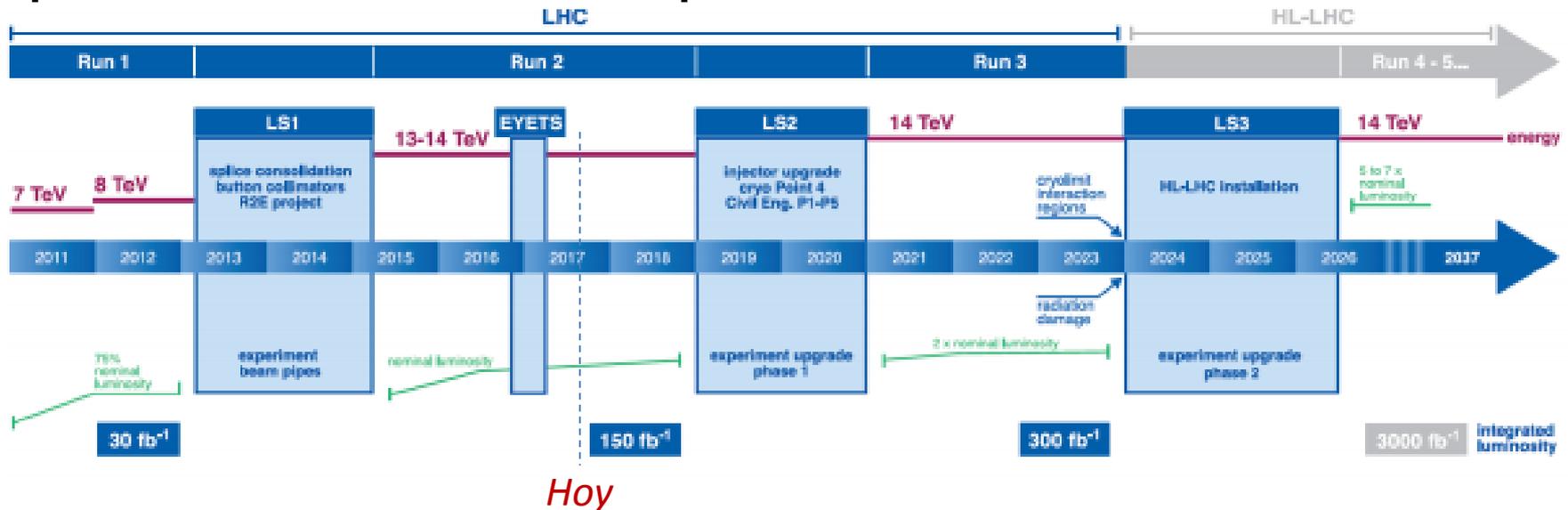
- Si todos los datos generados se registrasen, se necesitarían 100,000 CDs / S
- Equivalen 50 000 millones de llamadas de teléfono realizadas al mismo tiempo
- Primera selección de datos con un sistema de filtrado (*trigger*) en 3 niveles:

Trigger	Método	Entrada eventos/s	Salida eventos/s	Factor de reducción
Nivel 1	HW ( $\mu$ , Calo)	40 000 $10^3$	100 $10^3$	400
Nivel 2	SW (RoI, ID)	100 $10^3$	3 $10^3$	30
Nivel 3	SW	3 $10^3$	0.2 $10^3$	15



# • Futuro •

El descubrimiento del bosón de Higgs es el inicio de un importante programa de trabajo para medir las propiedades de esta partícula con la mayor precisión posible, probar la validez del Modelo Estándar, buscar nueva físicas en la frontera energética. **La prioridad del CERN es la explotación del LHC a su máximo potencial.**



- Reemplazar los elementos del detector inoperables o dañados
- Actualizar los detectores y la electrónica para hacer frente a las nuevas condiciones (más partículas, más radiación, más precisión, etc)

# • Diverse R&D •

## Driven by Study Projects

- **LCD**  
  - The Linear Collider Detector focuses on physics and detector studies for a future e+e- collider at the TeV-scale
- **FCC** 
  - The Future Circular Collider Study explores different designs of circular colliders (100 TeV) for the post-LHC era
- **Neutrino Platform**
  - Fundamental research in neutrino physics at particle accelerators worldwide

# • Campos de Aplicación •



# • Créditos •

- **Mar Capeans, Introducción a los Detectores de Partículas (2017)**
- **Pablo García Abia Curso de detectores (2014)**
- **Javier Santaolla, Detectores (2015):**
- **Isabelle Wingerter-Seez, CERN Summer Students Program: Instrumentation and Detectors for High Energy Physics (2017)**
- **CERN & CMS web page.**