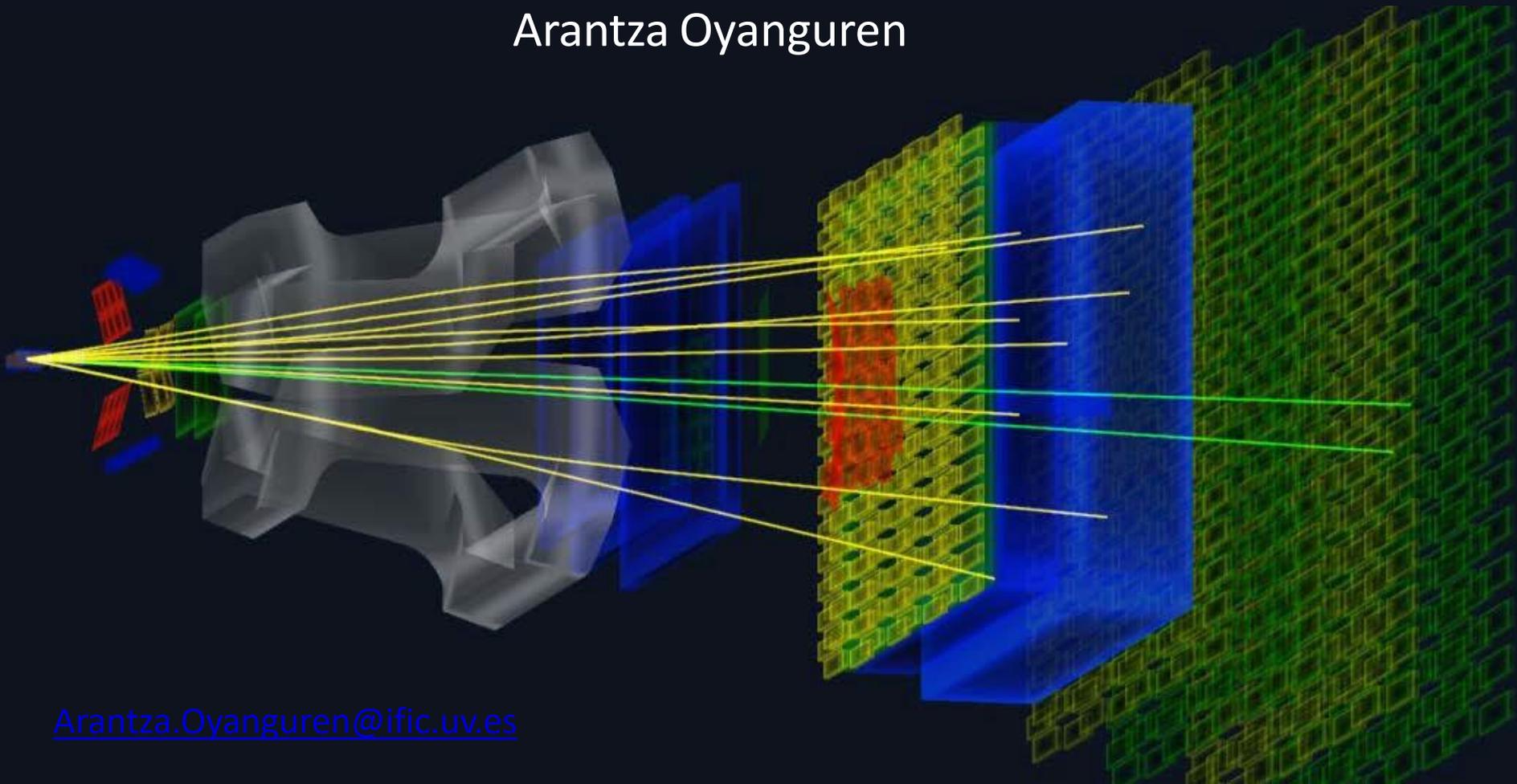
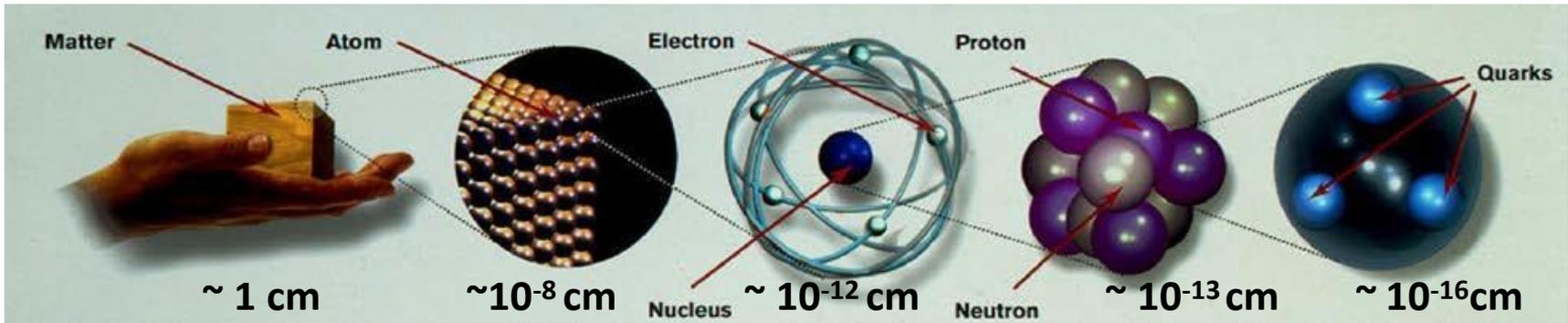


# El colisionador protón-protón LHC del CERN y el experimento LHCb

Arantza Oyanguren



Para entender de que está hecha la materia a la escala más pequeña necesitamos microscopios muy potentes



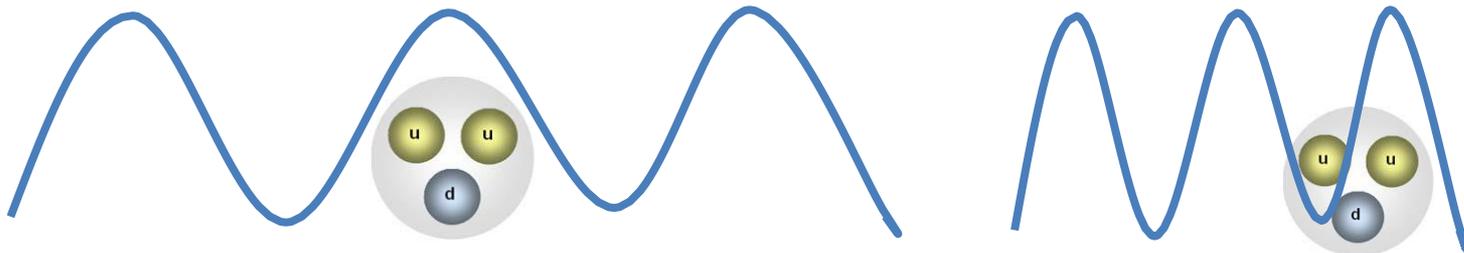
Dualidad onda-corpúsculo: *longitud de onda*  $\lambda_{\text{DEBROGLIE}}$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

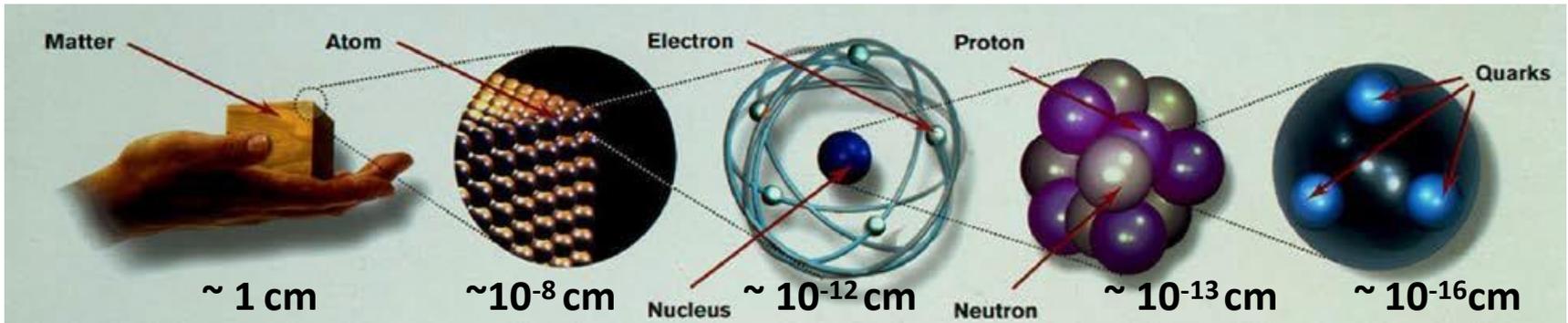
$p = mv$  Momento de la partícula

$E^2 = p^2 + m^2$  Energía relativista

→ **Cuanto más energía, menor  $\lambda$ : puedo resolver objetos más pequeños**



Para entender de que está hecha la materia a la escala más pequeña necesitamos microscopios muy potentes



Microscopio electrónico

Sincrotrones



Microscopio óptico

$$E_{\gamma} \sim \text{eV}$$



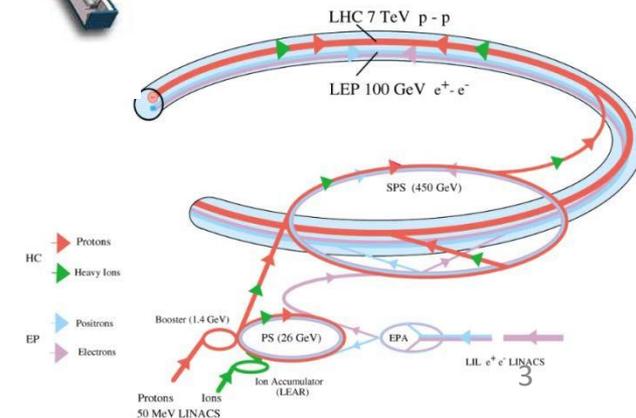
$$E_e \sim \text{keV}$$



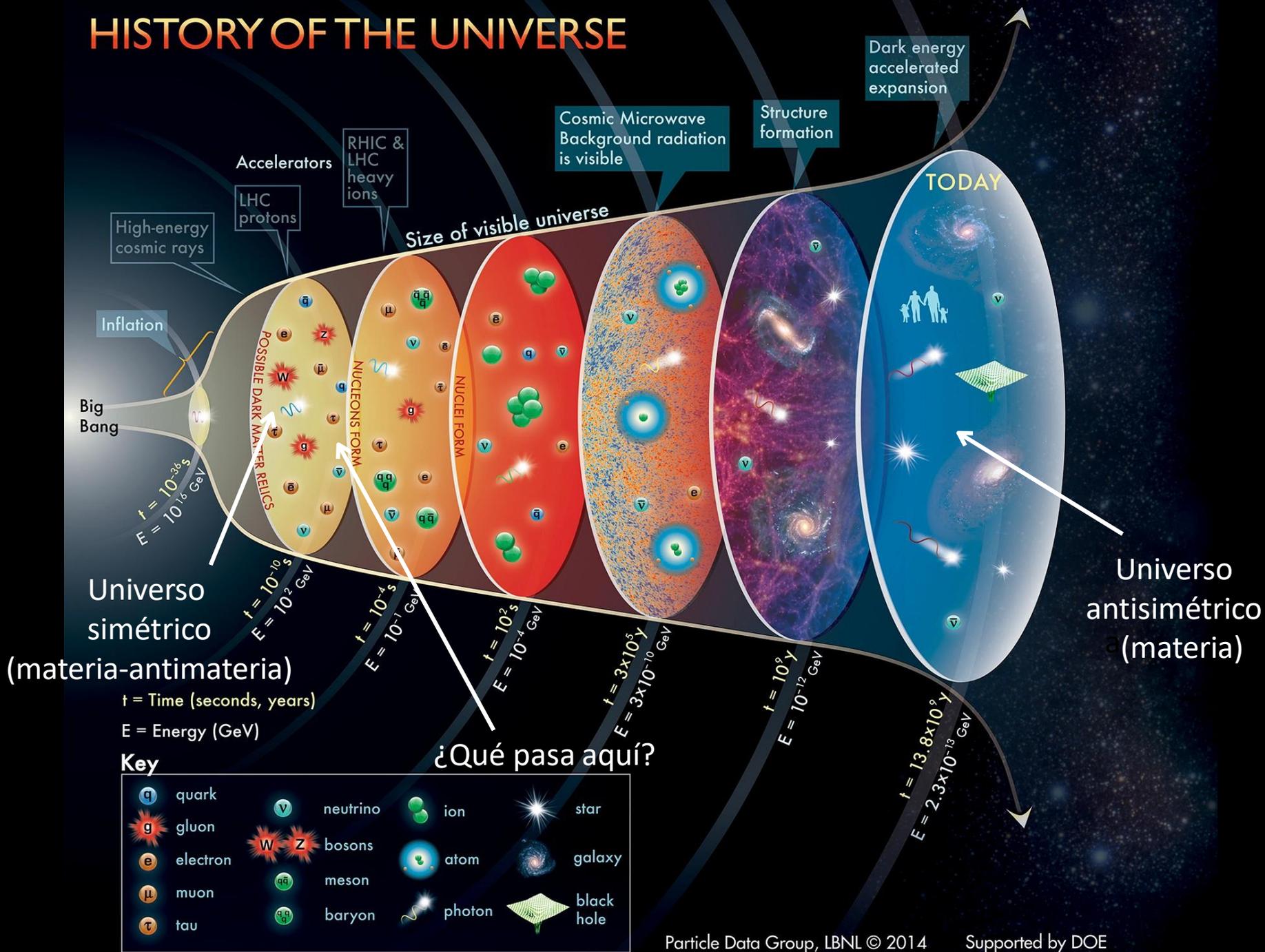
$$E_{e,\gamma} \sim \text{MeV}$$

$$E_{e,p} \sim \text{GeV} - \text{TeV}$$

Grandes aceleradores de partículas



# HISTORY OF THE UNIVERSE



# La antimateria:

Tiene la misma propiedad que la materia pero carga opuesta, por ejemplo:

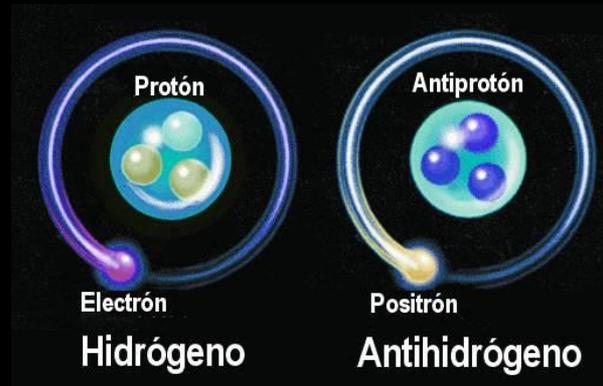
electrón [  $e^-$  ]  $Q=-1$

positrón [  $e^+$  ]  $Q=+1$

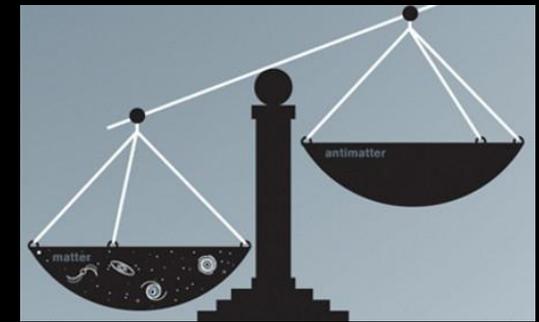
protón [  $p$  ]  $Q=+1$

antiprotón [  $\bar{p}$  ]  $Q=-1$

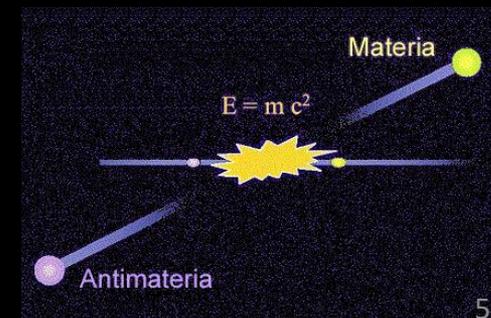
Se aniquilan al colisionar con la materia emitiendo fotones ( $\gamma$ ), es decir, luz



En el origen del universo se creó tanta **materia** como **antimateria**, ¿por qué nuestro mundo está formado principalmente de materia?



Podemos crear la antimateria en **aceleradores** para estudiarla



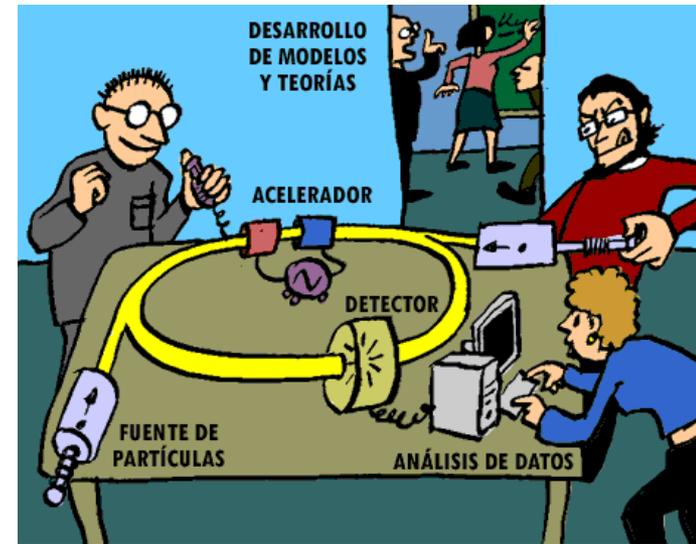
¿En qué consiste la Física de Partículas?  
¿Qué hacemos nosotros?

- Estudiamos **las partículas elementales**

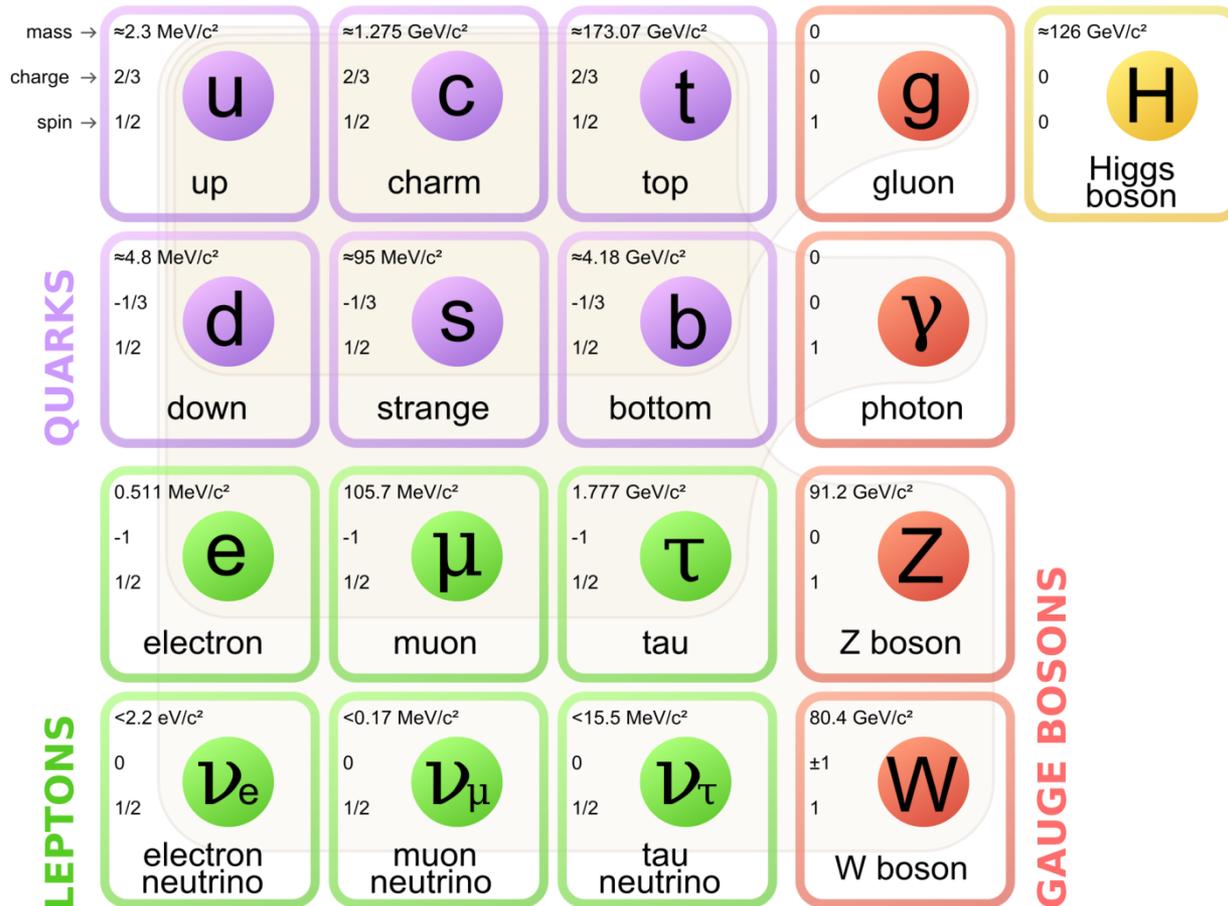
- Tanto las partículas que constituyen la **materia** como las que describen las **interacciones** (fuerzas: gravitación, electricidad y magnetismo, fuerza nuclear y fuerza débil)

- Buscamos **una teoría más fundamental** de la naturaleza

- Intentamos entender **el origen del universo** y que es lo que ha hecho que sea tal y como lo conocemos hoy



# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

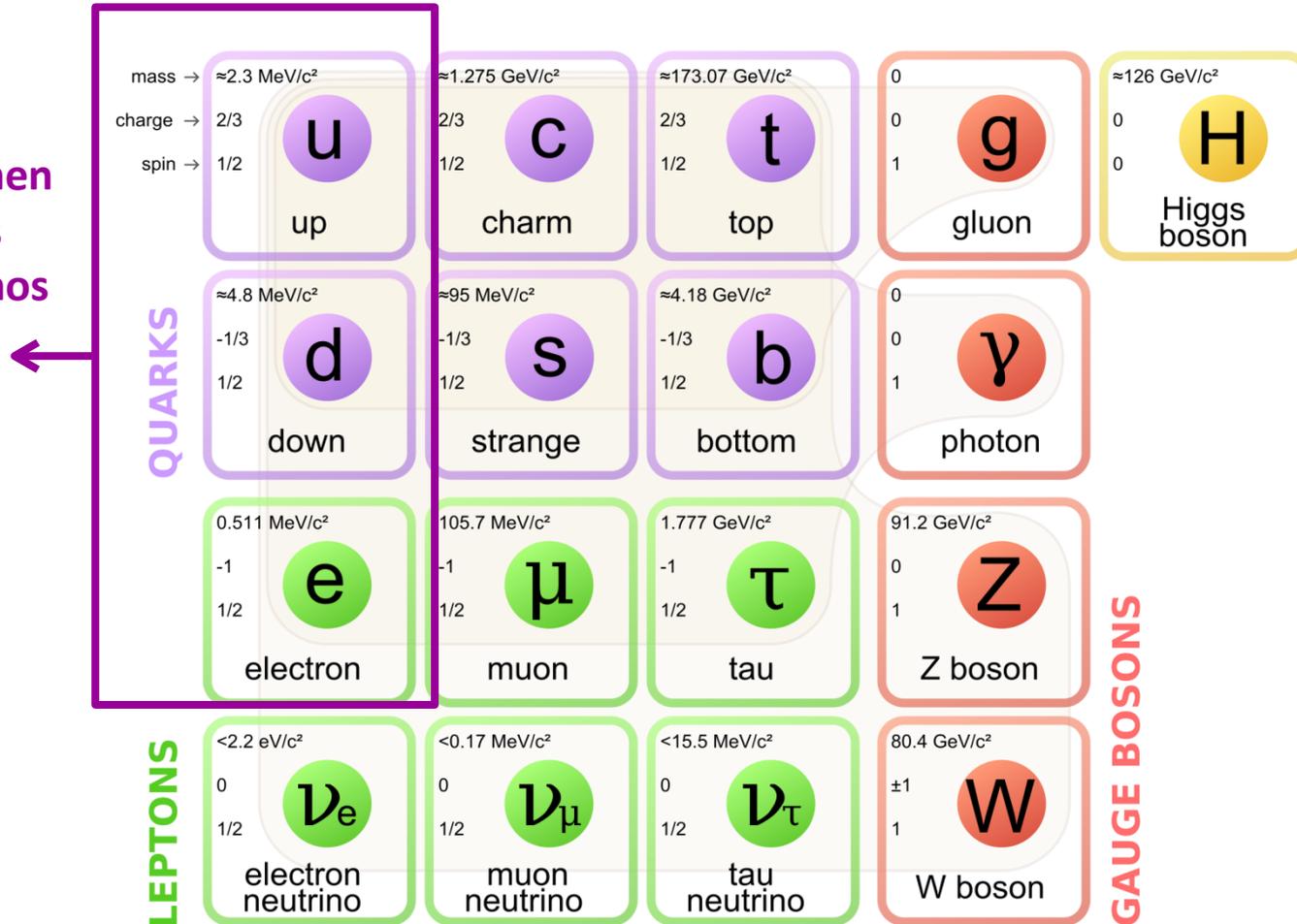


+ sus antipartículas (ej:  $e^- \leftrightarrow e^+$ )

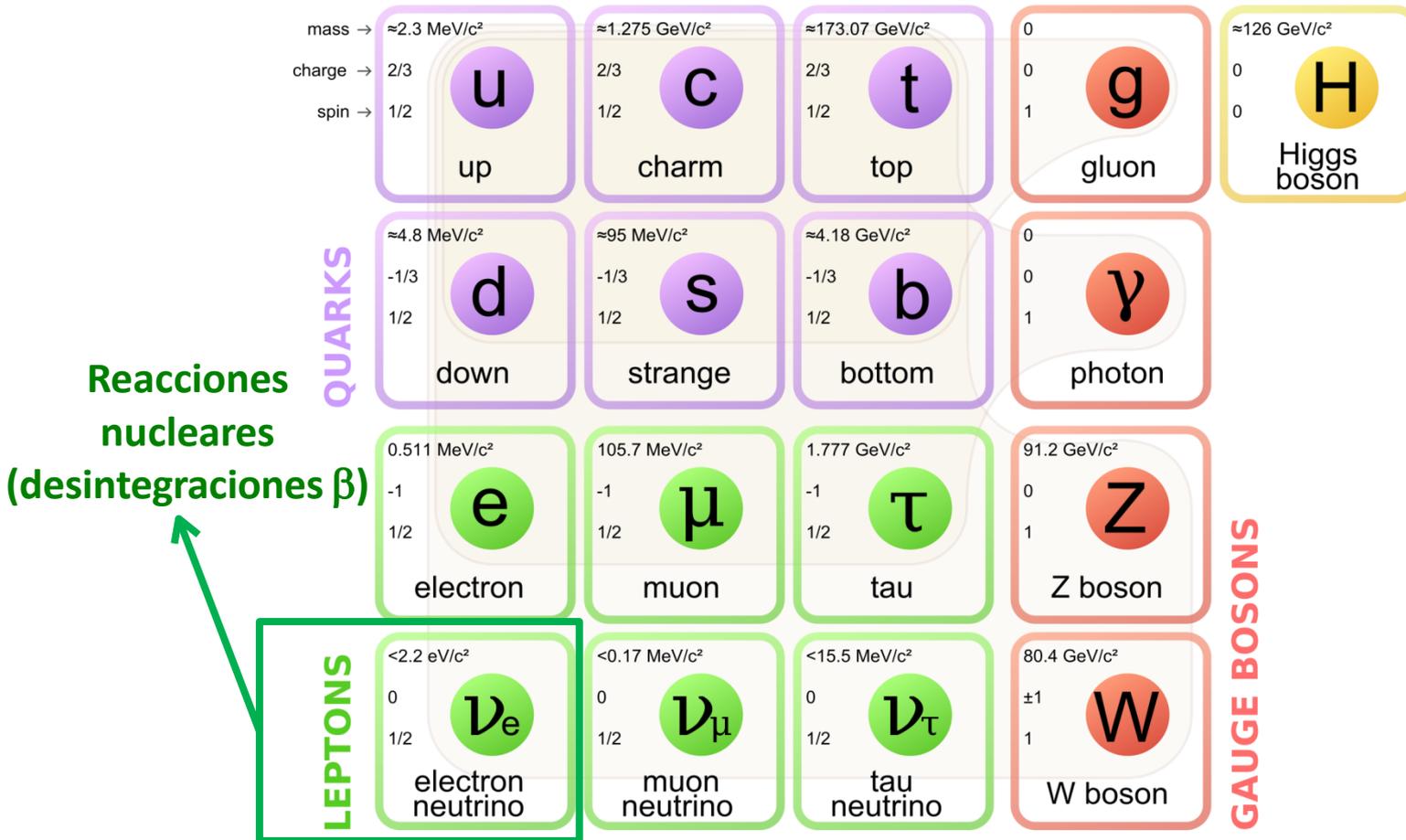
Lo explica la *Teoría Cuántica de Campos Relativista*

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

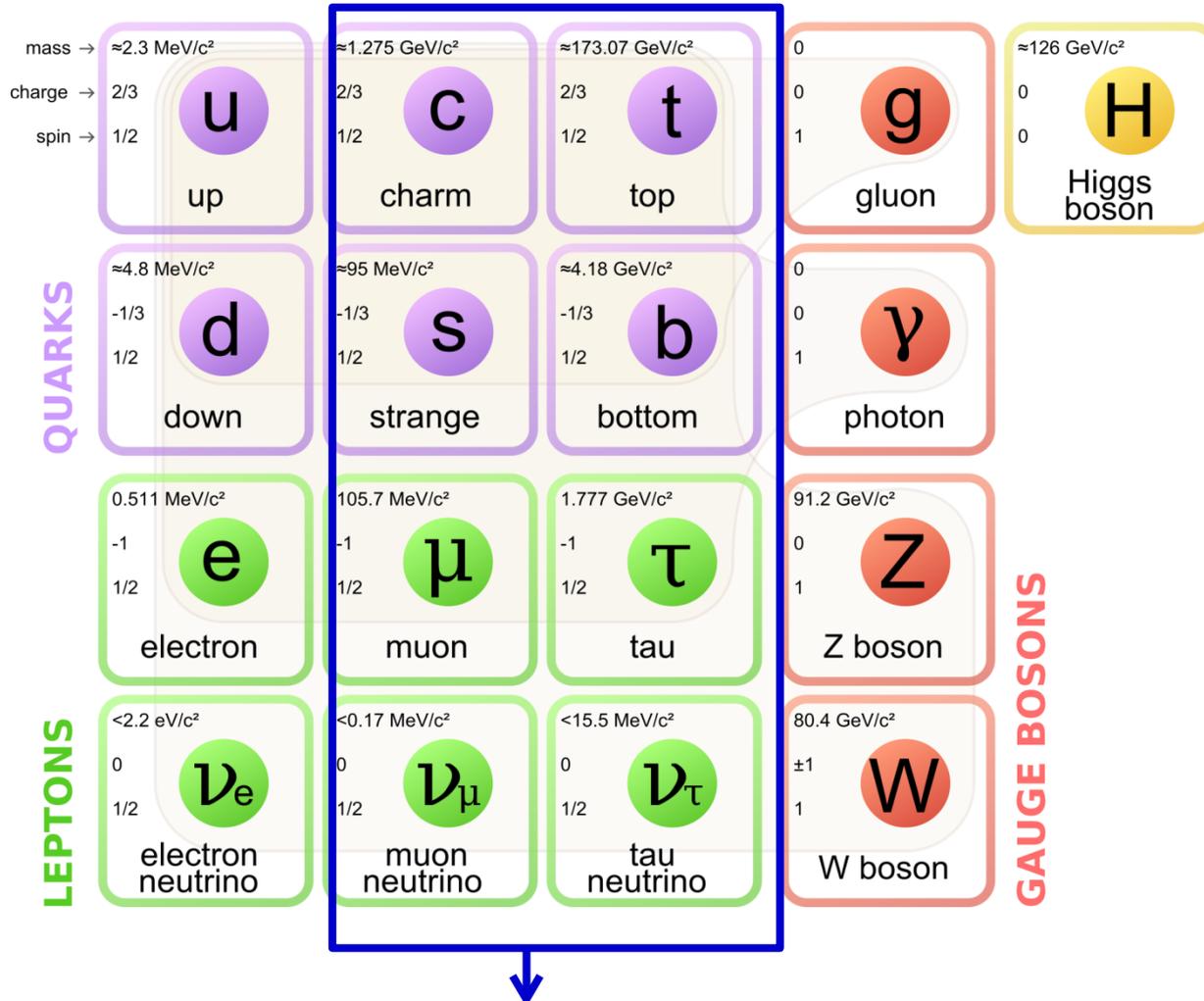
Componen  
todos  
los átomos



# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

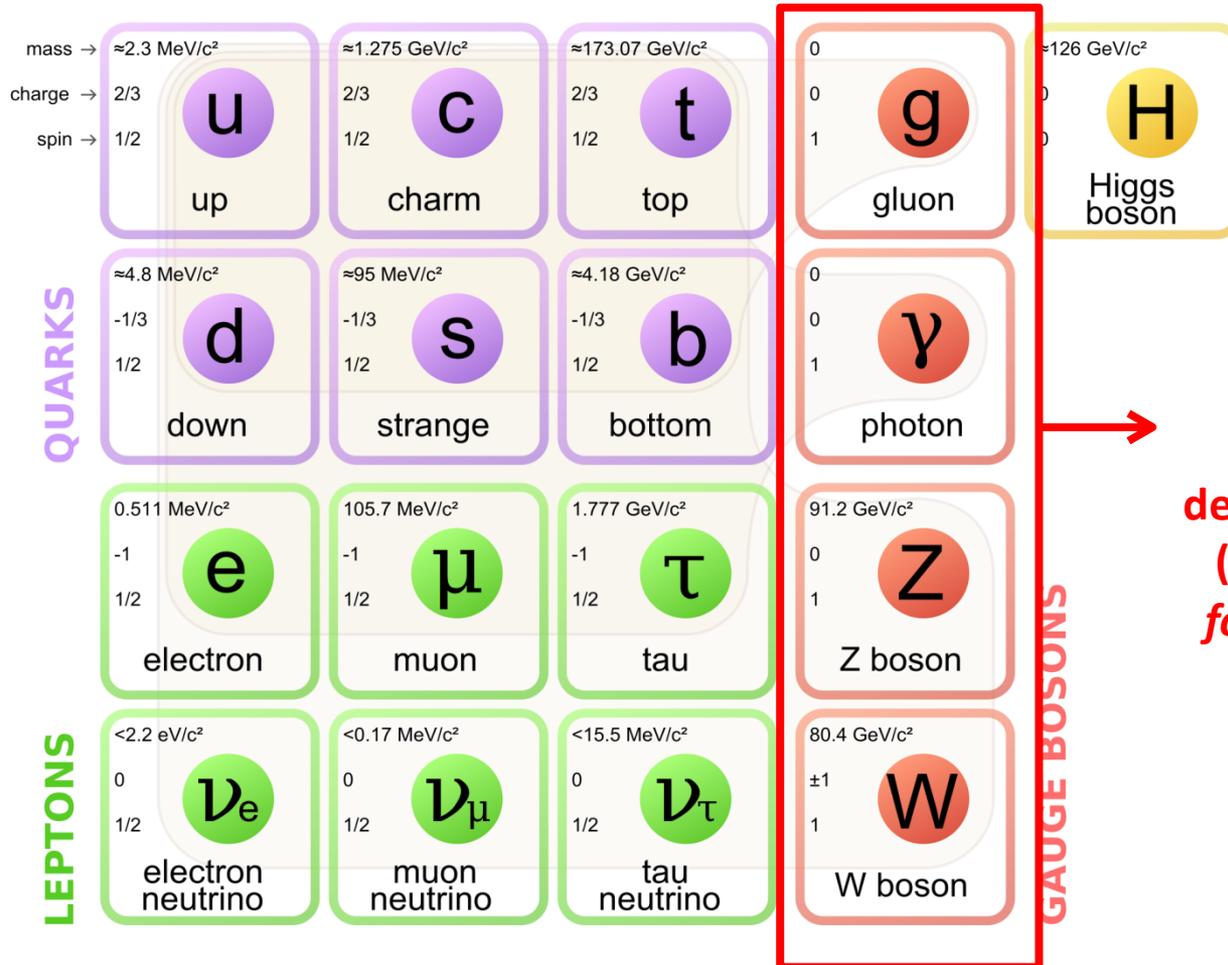


# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales



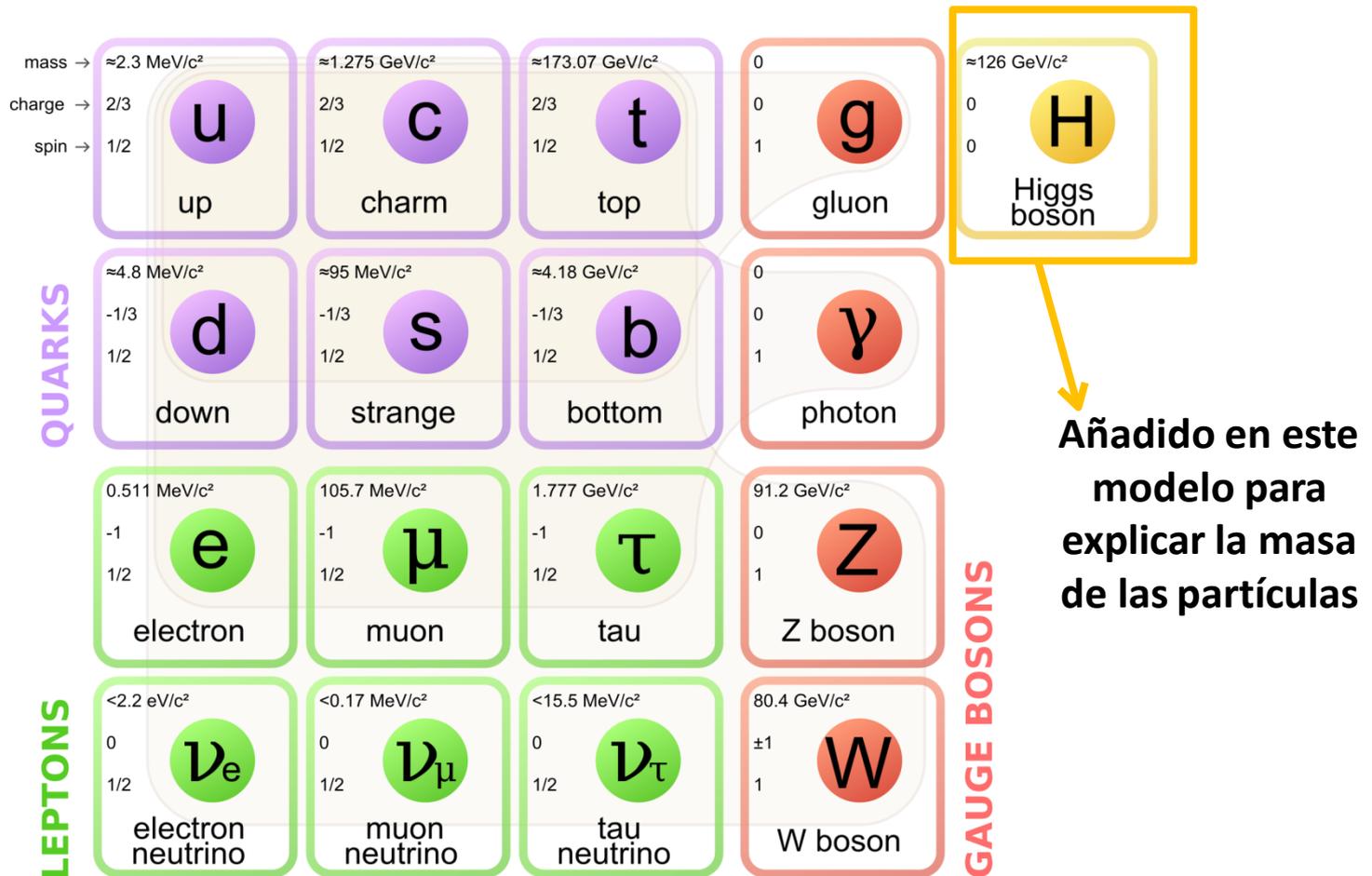
Otras dos familias de partículas de materia

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales



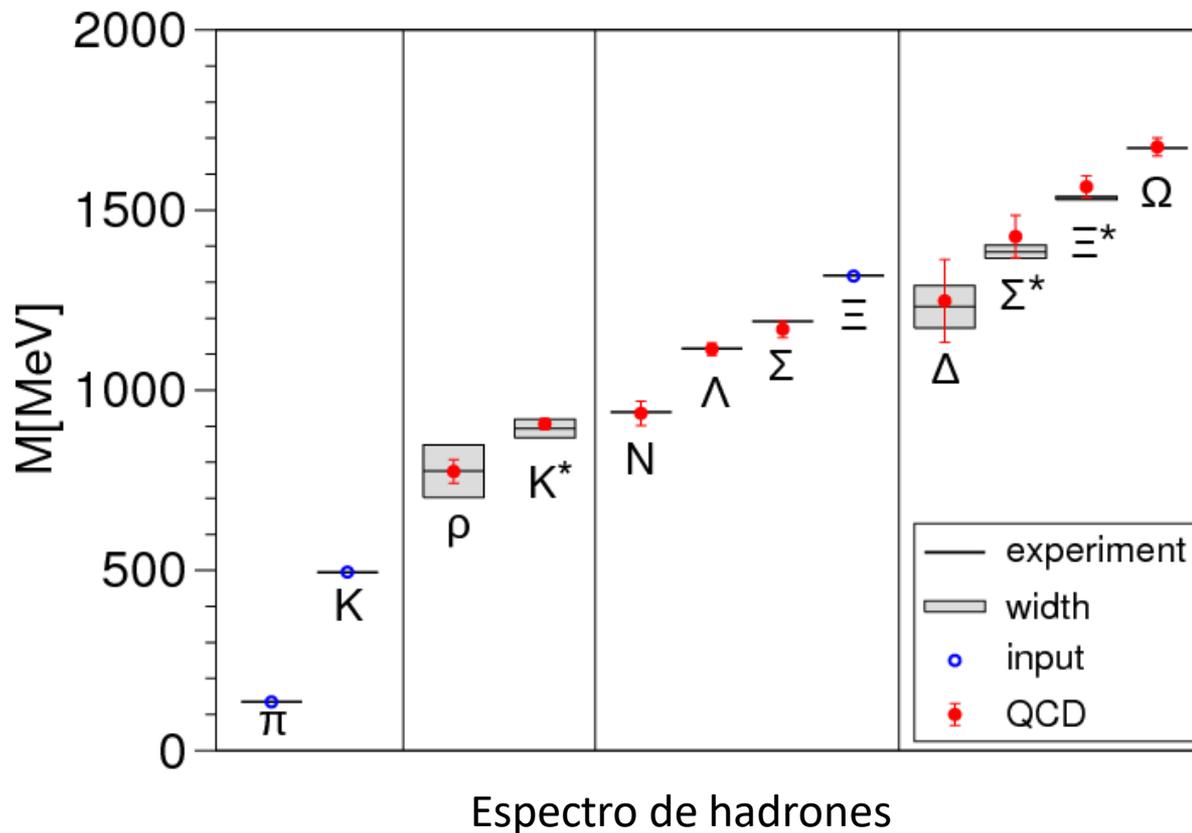
Partículas responsables de las interacciones  
 (gluón ↔ fuerte  
 fotón ↔ electro-magnética  
 Z, W ↔ débil)

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales



# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

A partir de las partículas elementales podemos construir todas las partículas de nuestro ambiente (protones, neutrones, piones...) y las que producimos en aceleradores:



# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

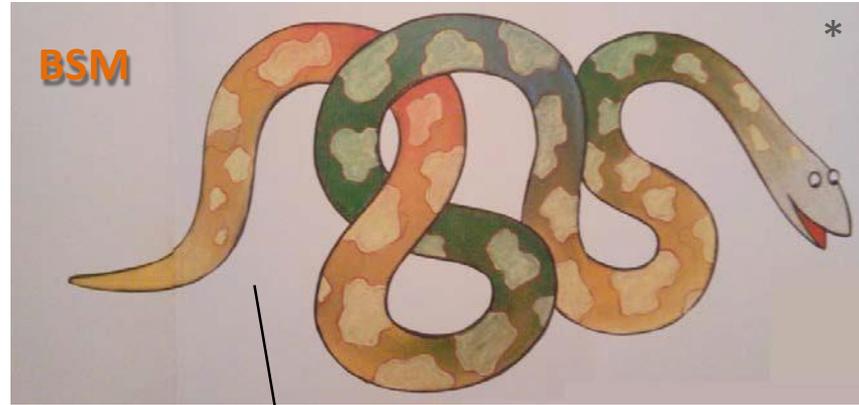
Lo que no entendemos...

- ¿Por qué hay **tantas partículas elementales**?
- ¿Son todas **las fuerzas** la misma en realidad?
- ¿El Higgs explica **el origen de la masa** completamente?
- ¿Por qué nuestro universo está formado principalmente por **materia** y no hay tanta **antimateria**?
- ¿Cómo encaja la **masa de los neutrinos**?
- ¿Qué son la **materia oscura** y la **energía oscura**?
- ¿Hay una **teoría** de la naturaleza más **fundamental** que incluya la gravedad?



¿Cómo podemos investigarlo?

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

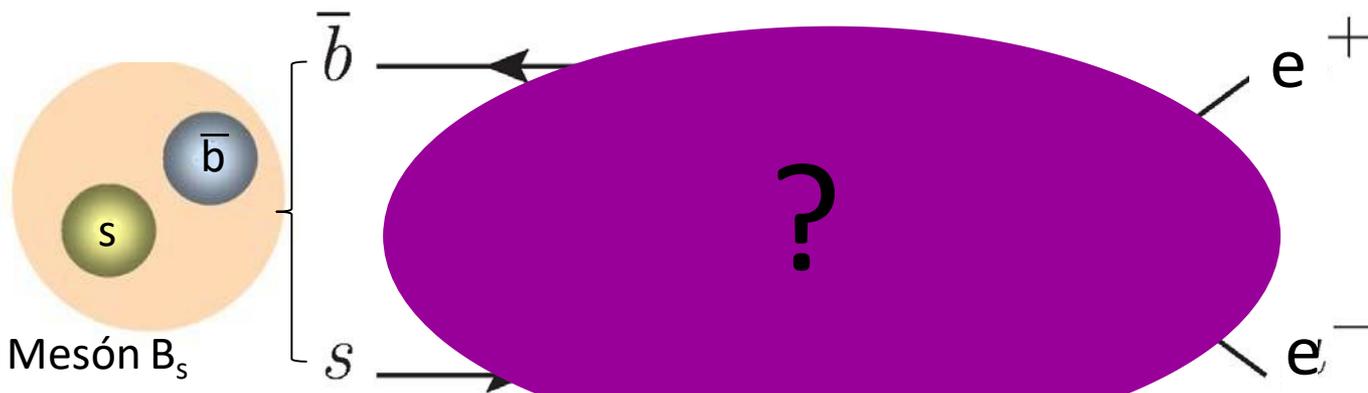


Lo que vemos

Lo que pensamos

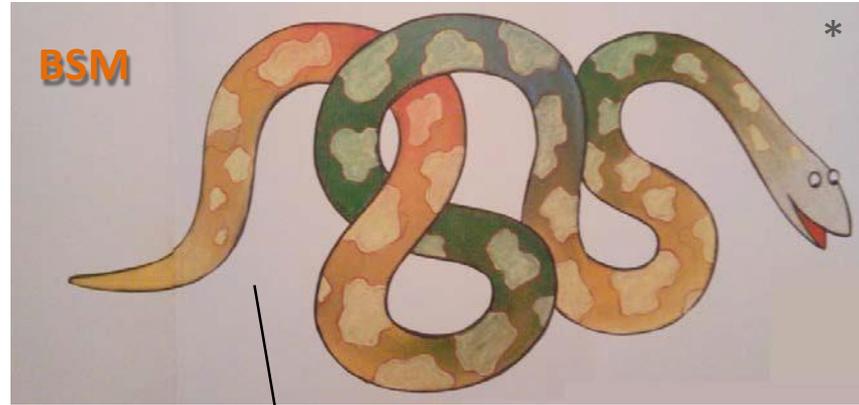
Lo que es

Se puede comprobar de forma indirecta estudiando efectos cuánticos:



Estudiando en detalle las partículas que se producen

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

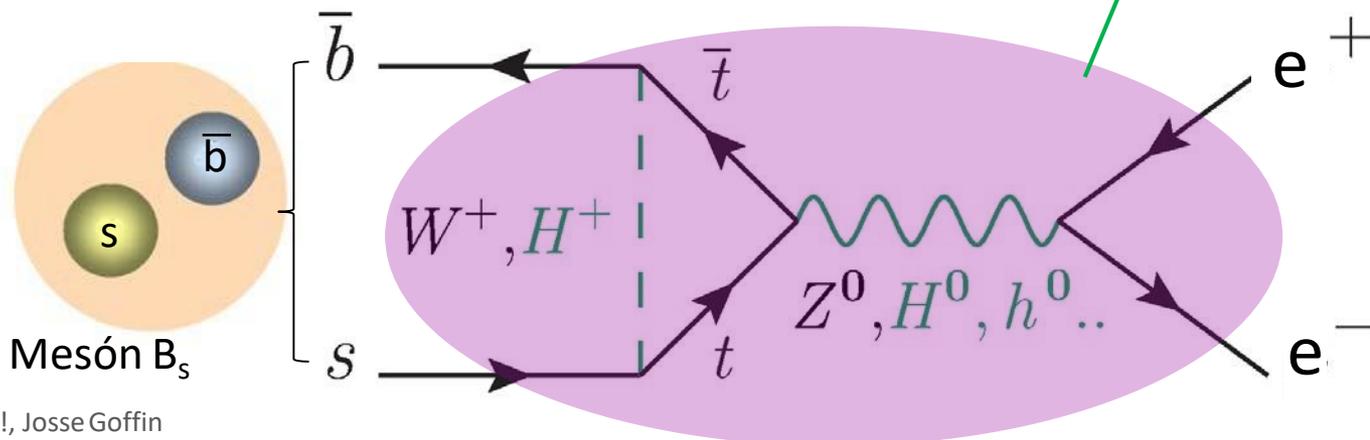


Lo que vemos

Lo que pensamos

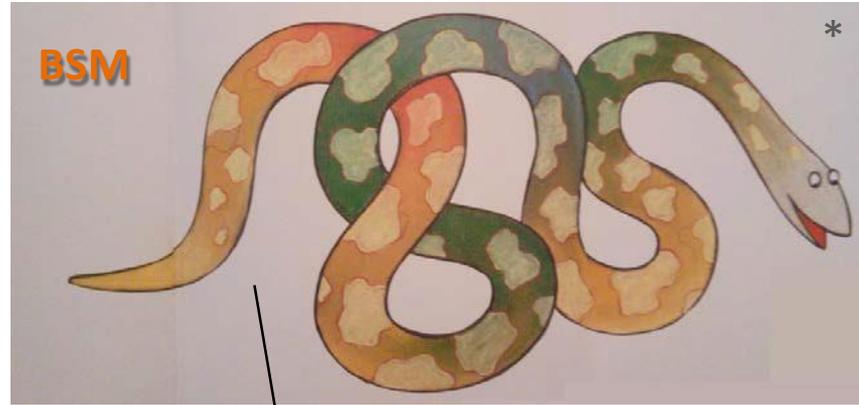
Lo que es

Se puede comprobar de forma indirecta estudiando efectos cuánticos:



Estudiando en detalle las partículas que se producen

# El Modelo Estándar de las Partículas Elementales

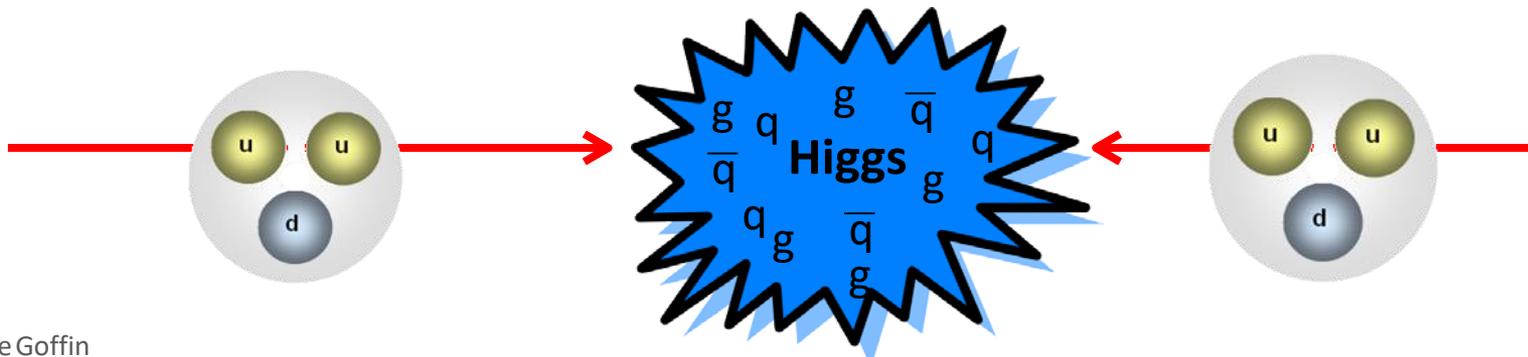
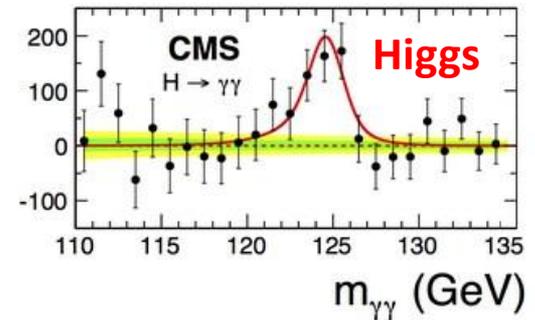


Lo que vemos

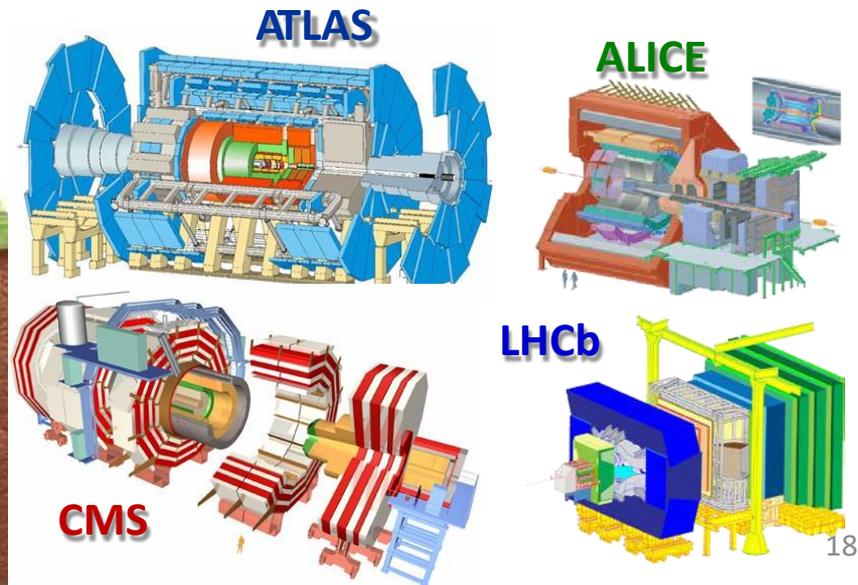
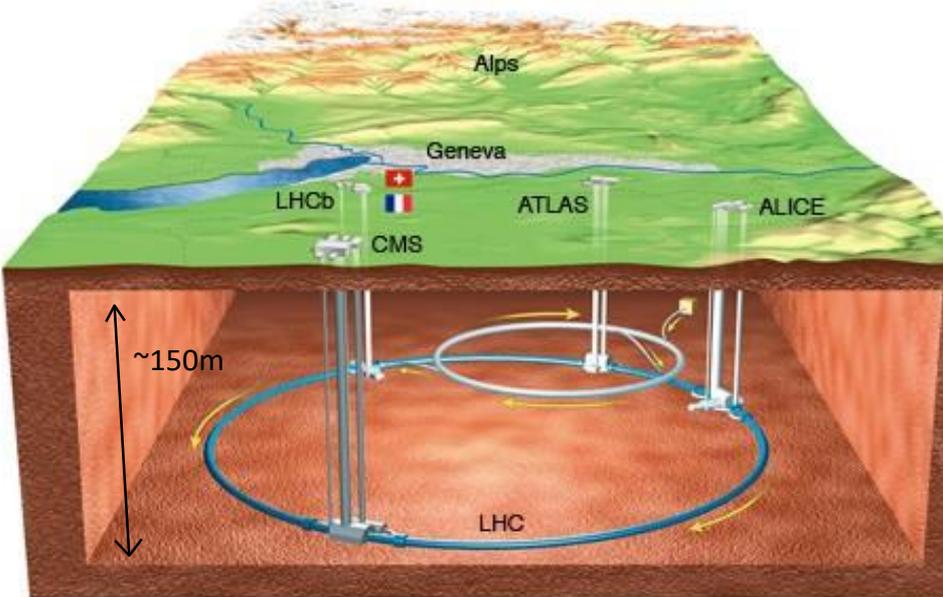
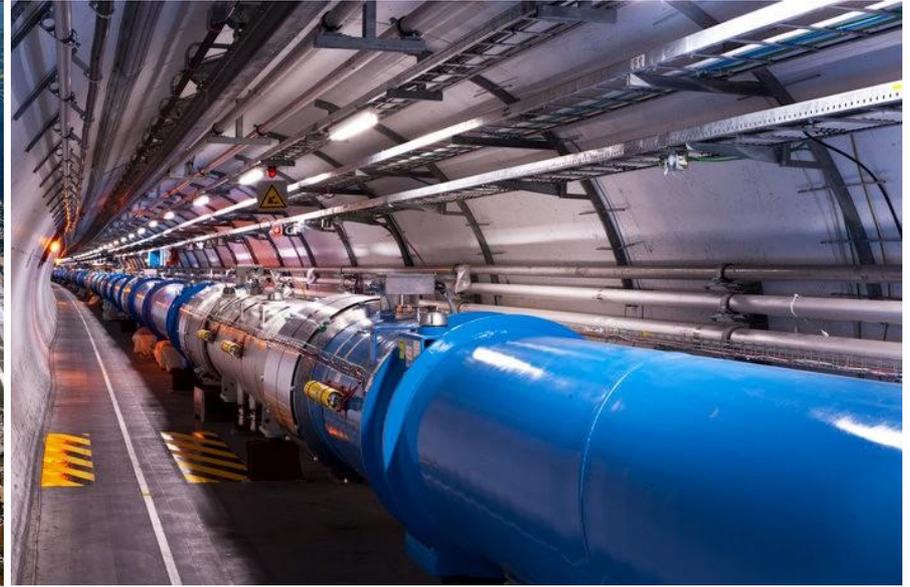
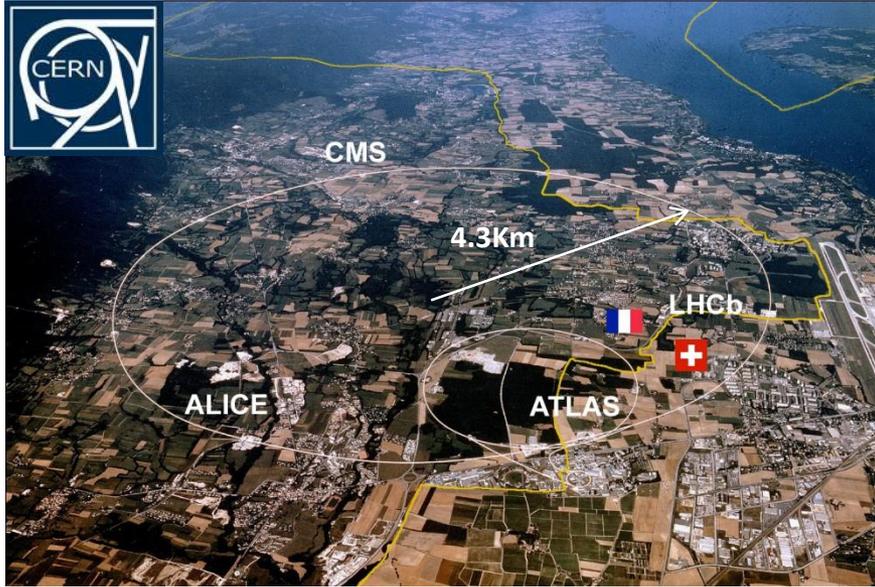
Lo qué pensamos

Lo qué es

O creando nuevas partículas a partir de colisiones de muy alta energía



# ¿Cómo y dónde lo hacemos? **El Large Hadron Collider LHC del CERN**

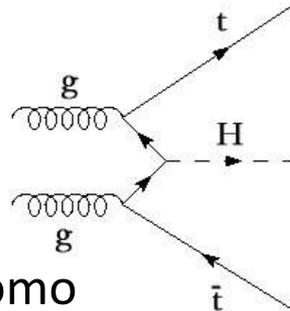


# El acelerador LHC



## El acelerador LHC:

- Dos haces de **protones acelerados a muy alta energía** mediante imanes superconductores (más fríos que el espacio exterior):
  - Energía: **3.5 TeV**, **4.0 TeV**, **7 TeV** en **2011**, **2012**, **2015+**
- Los haces tienen paquetes con **~ 100000 millones de protones**, viajando al 99.9999991% de la velocidad de la luz (~ 10000 vueltas de 27Km por segundo) en un vacío mayor que el espacio interplanetario
- Los paquetes se comprimen en el punto de colisión a **~50  $\mu\text{m}$**
- Se tiene **una colisión cada 25 ns** dónde se alcanzan temperaturas muy superiores a las del sol.
- Los **protones contienen quarks uud** (quarks de valencia) pero están compuestos principalmente por un mar de **quarks y gluones** → la mayoría de colisiones son interacciones de gluones
- Las partículas que se crean se analizan en **detectores** tan grandes como catedrales creados **con tecnologías** muy avanzadas



**Ciencia + Tecnología + Ingeniería + Colaboración internacional**

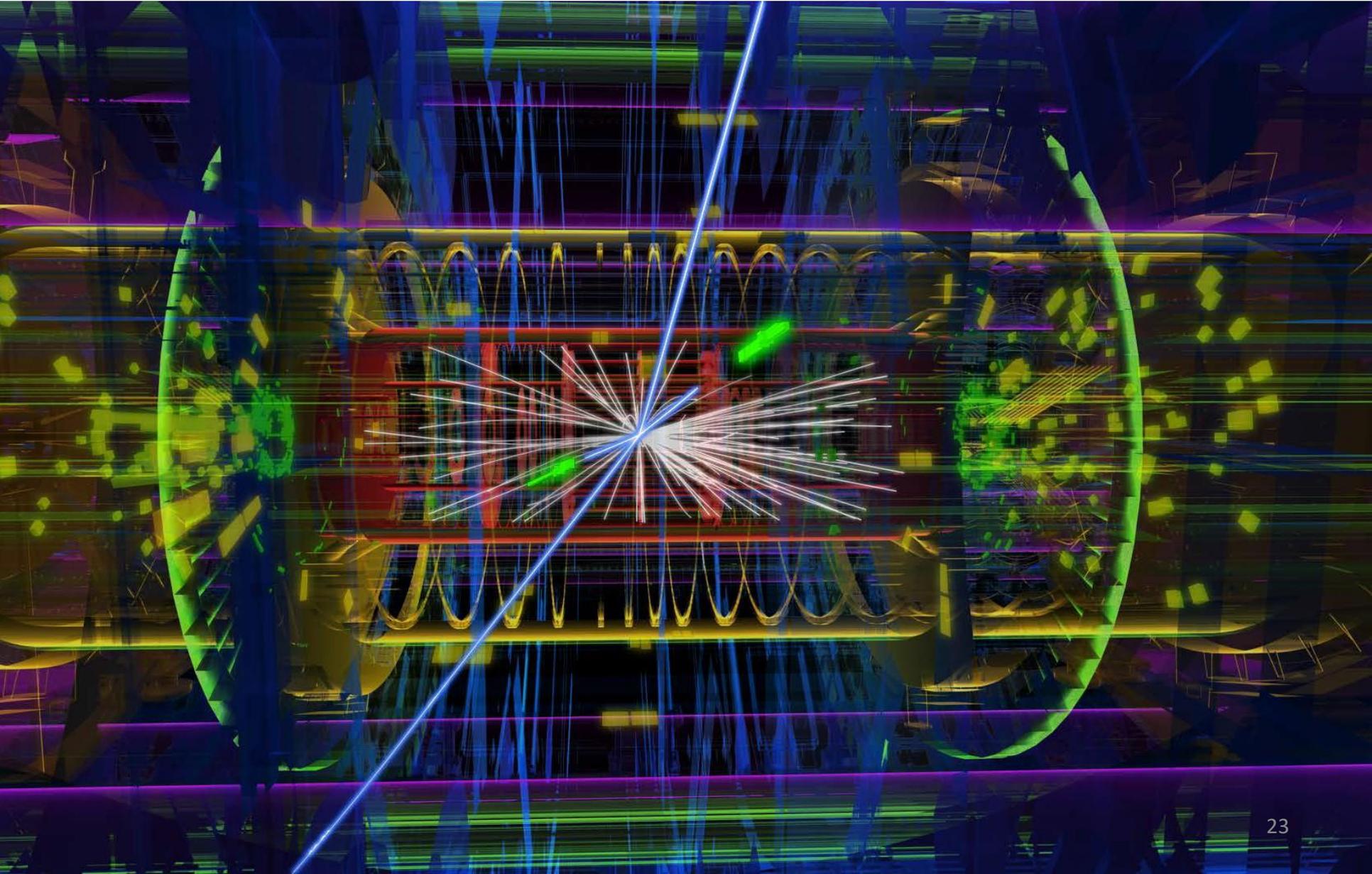
Una de las colaboraciones internacionales de LHC:  
El experimento LHCb



# La sala de control del LHC:

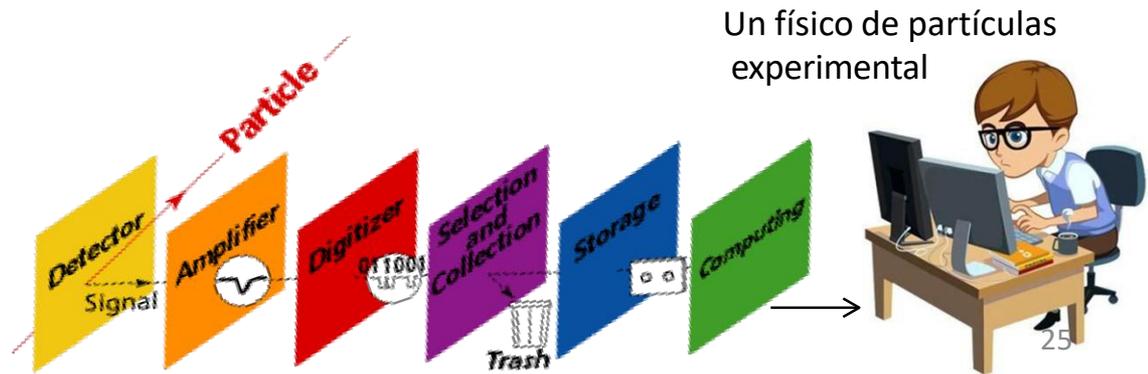
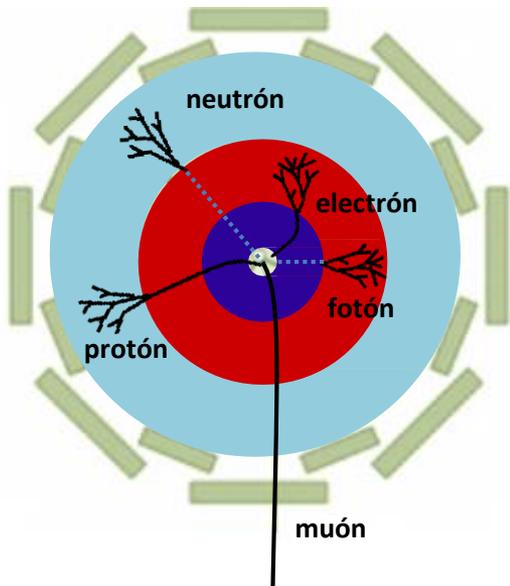
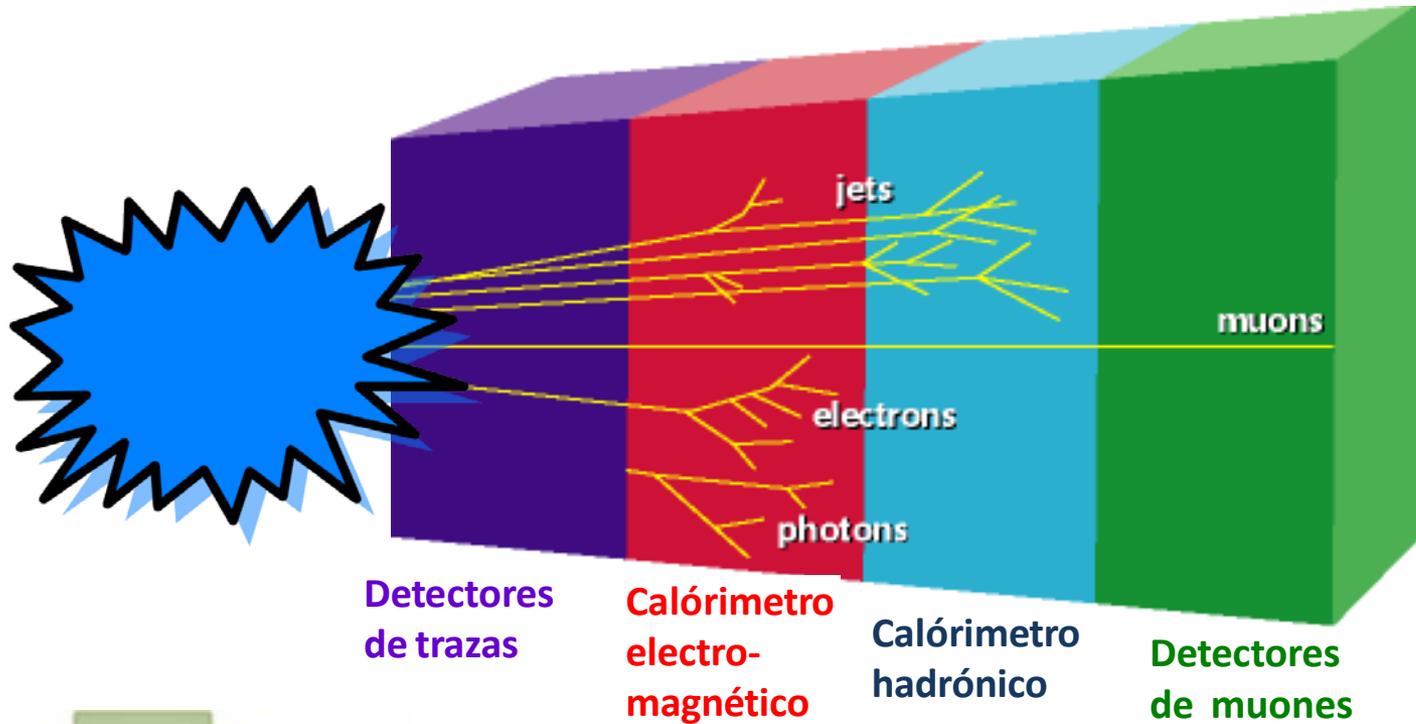


¿Cómo detectamos las partículas que se crean en las colisiones?

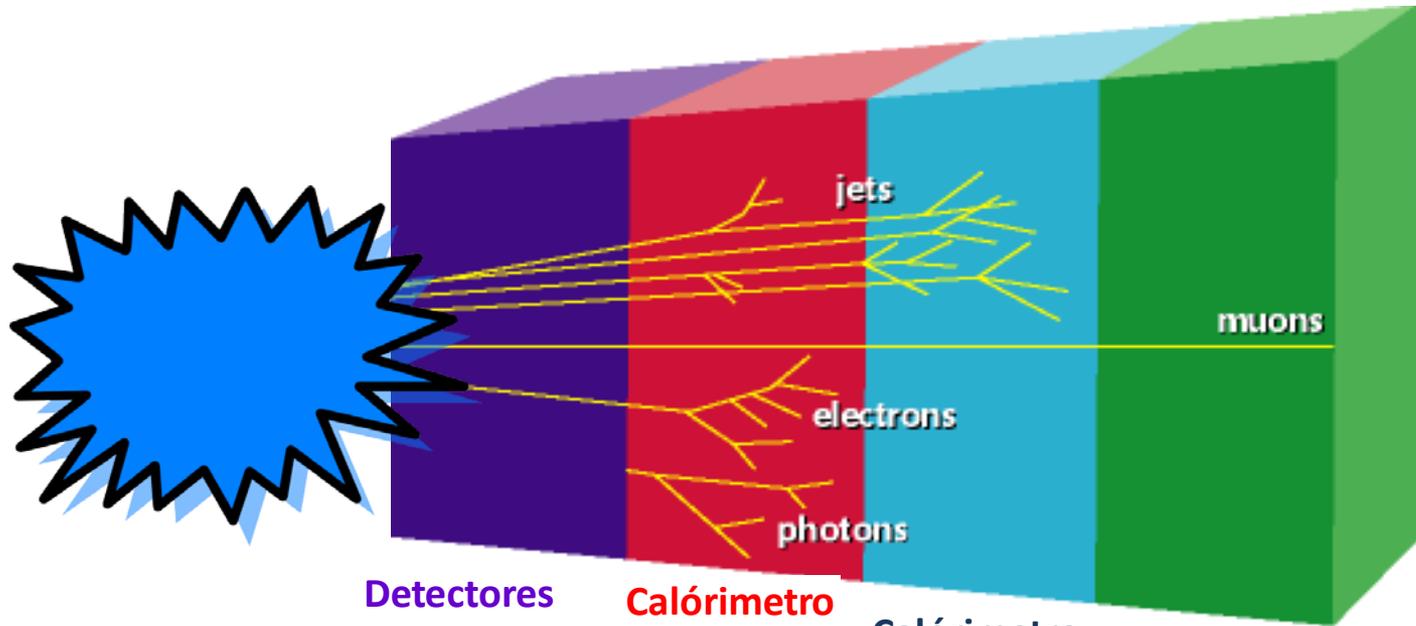




# ¿Cómo detectamos las partículas?



# ¿Cómo detectamos las partículas?



Detectores de trazas

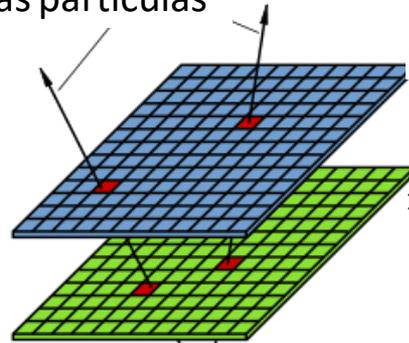
Calorímetro electro-magnético

Calorímetro hadrónico

Detectores de muones

Permiten detectar las trazas que dejan las partículas, sobre todo las que se desintegran muy rápidamente en otras partículas

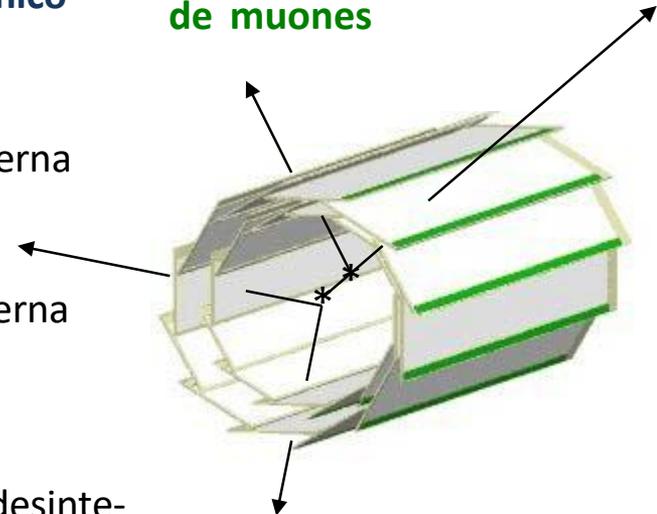
Trayectoria de las partículas



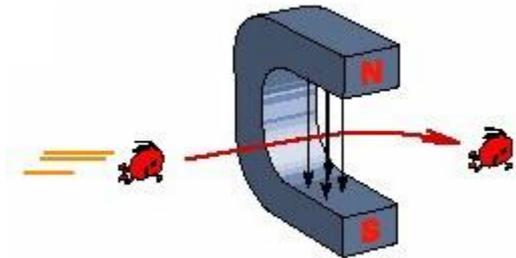
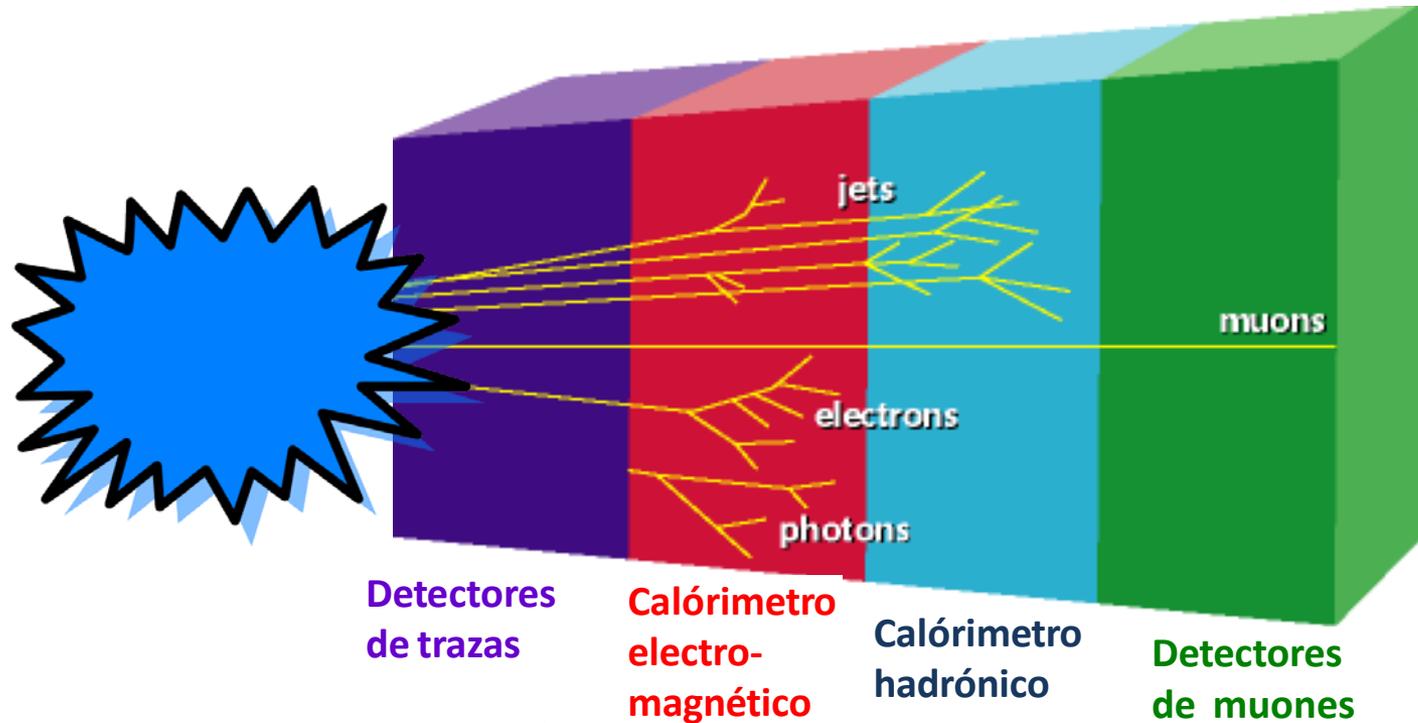
capa externa

capa interna

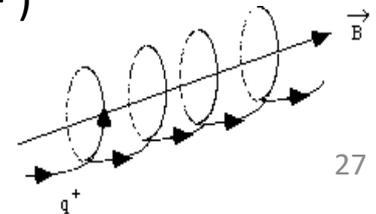
Origen o punto de desintegración de las partículas (**vértice**)



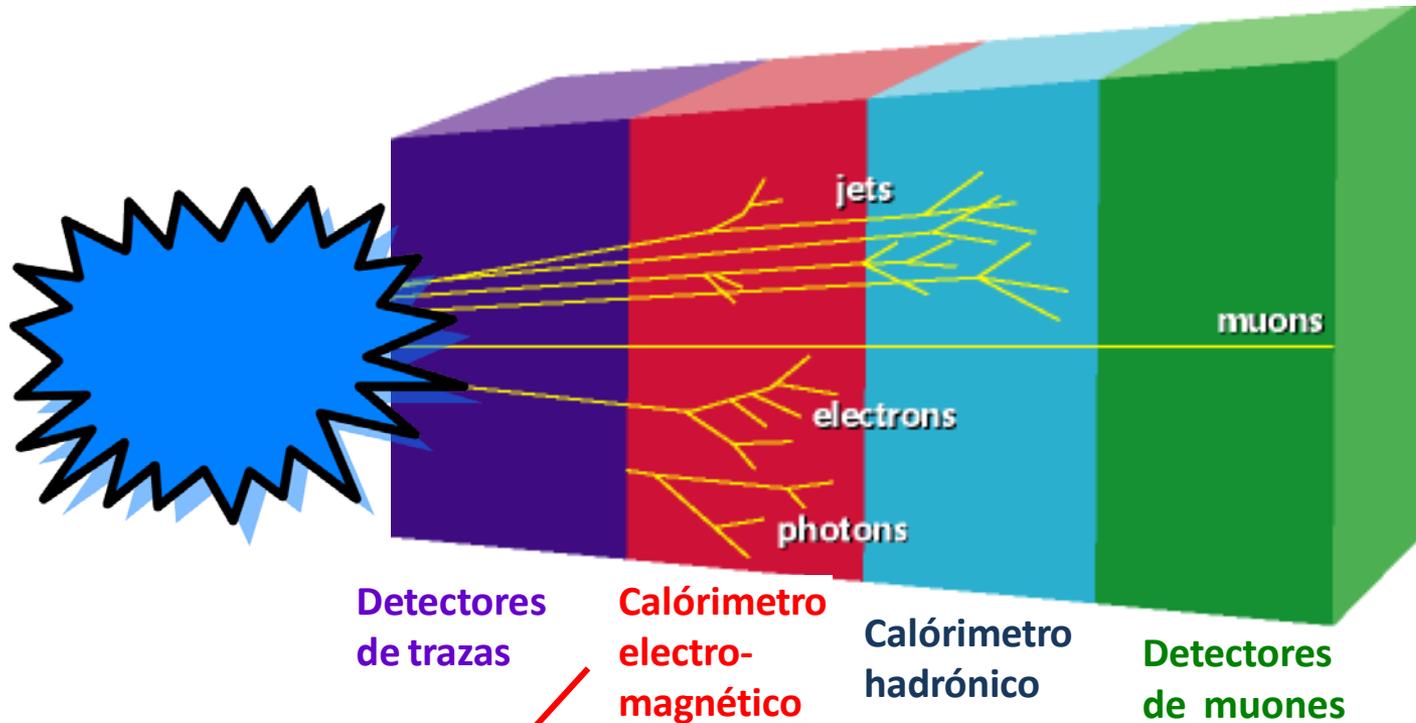
# ¿Cómo detectamos las partículas?



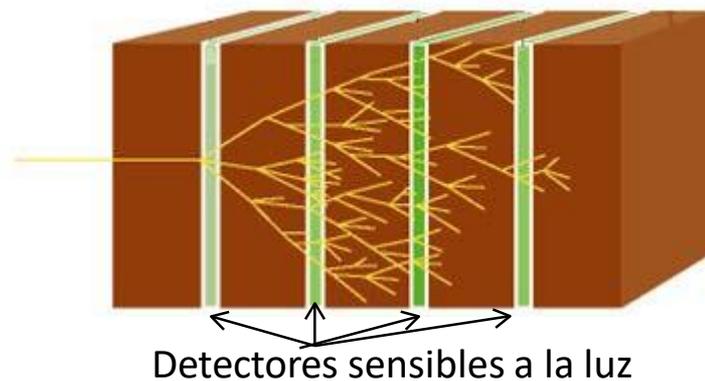
Es muy importante situar un imán que cree un campo magnético para que curve las trayectorias de las partículas con carga (diferente si son + o -)



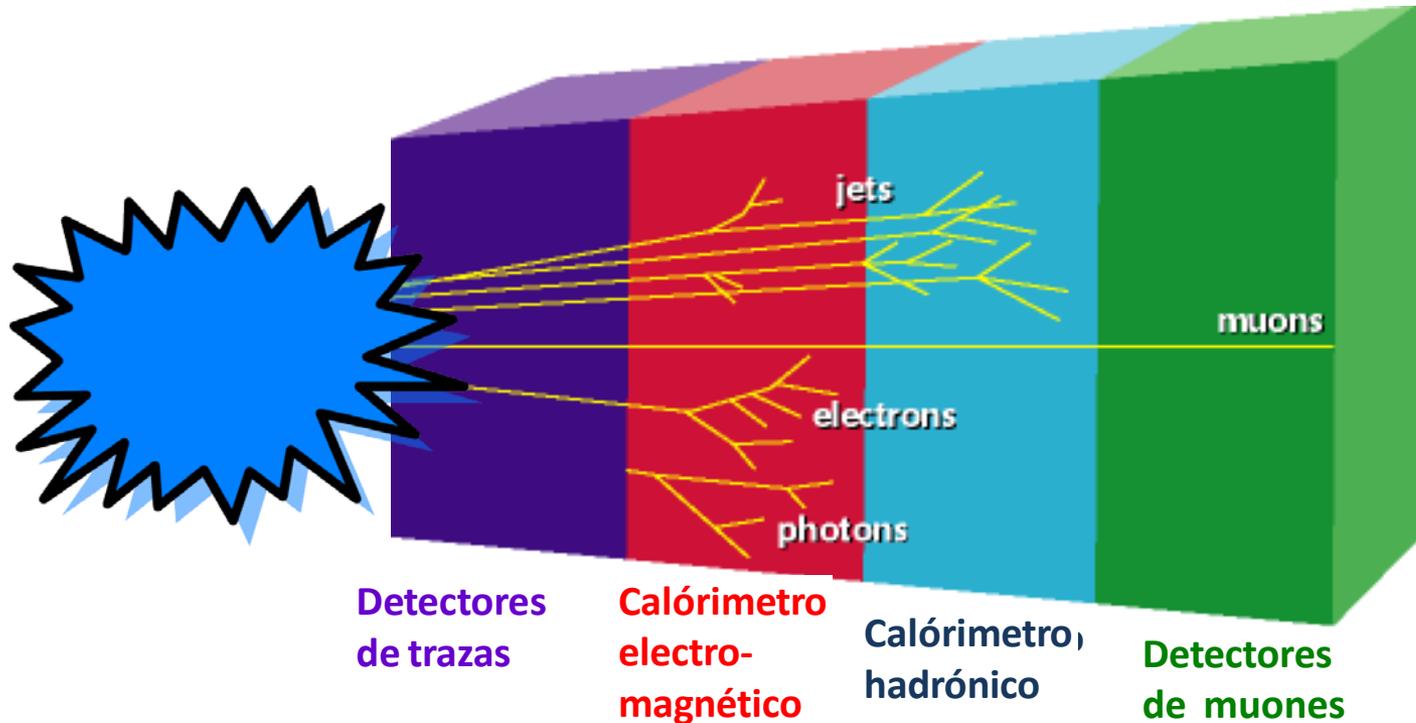
# ¿Cómo detectamos las partículas?



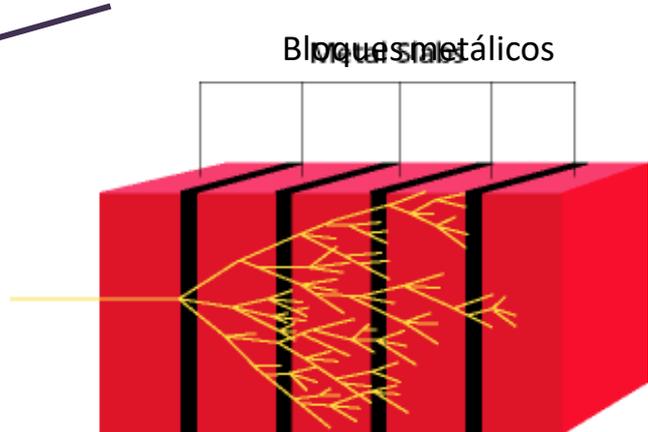
Absorben la energía de las partículas: los electrones ( $e^-$ ) y los fotones ( $\gamma$ ) chocan con el material y crean una cascada: cuanto mayor es, más energía



# ¿Cómo detectamos las partículas?

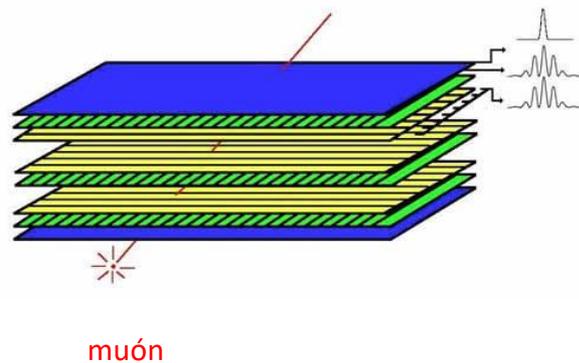
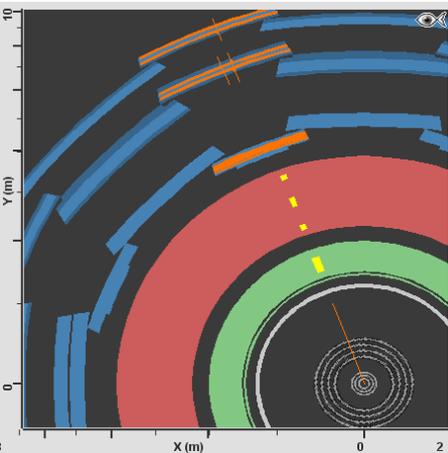
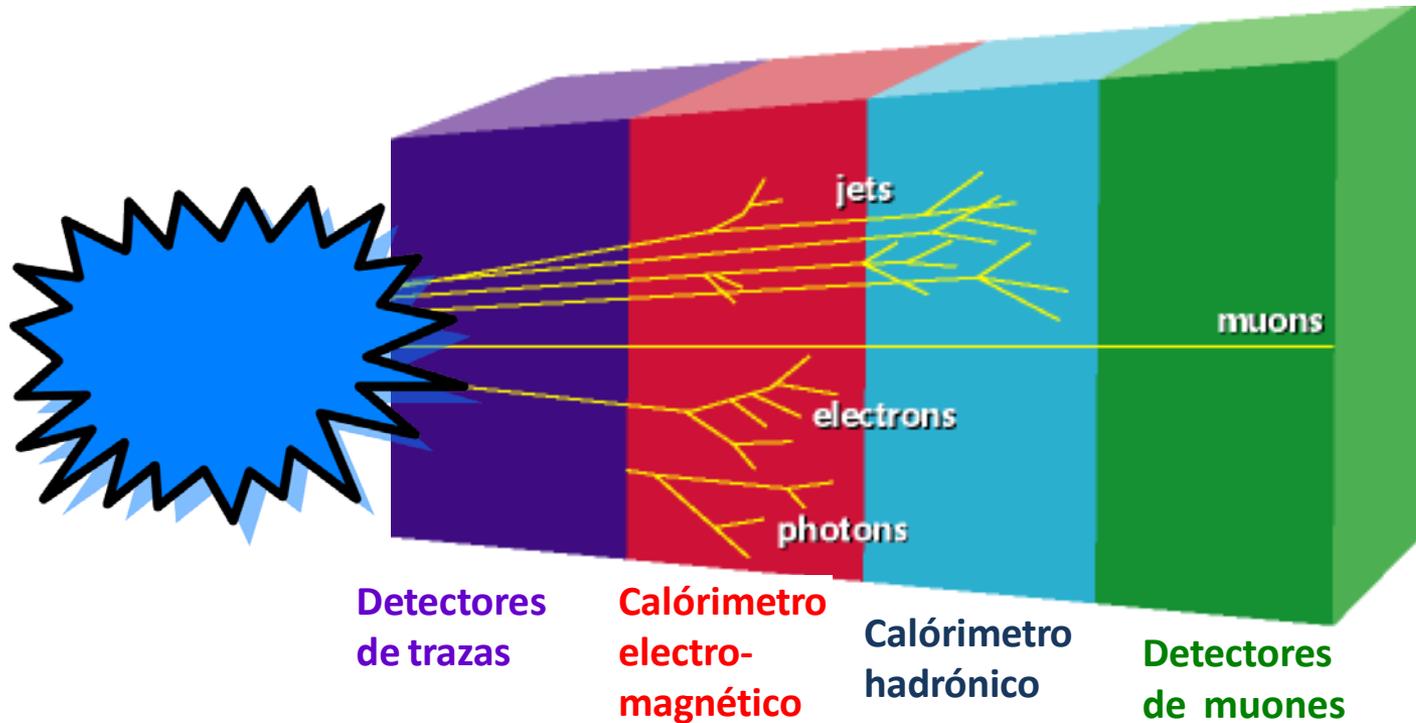


Absorben la energía de los hadrones: partículas que contienen quarks: protones, neutrones, piones ( $\pi$ ), kaones (K)



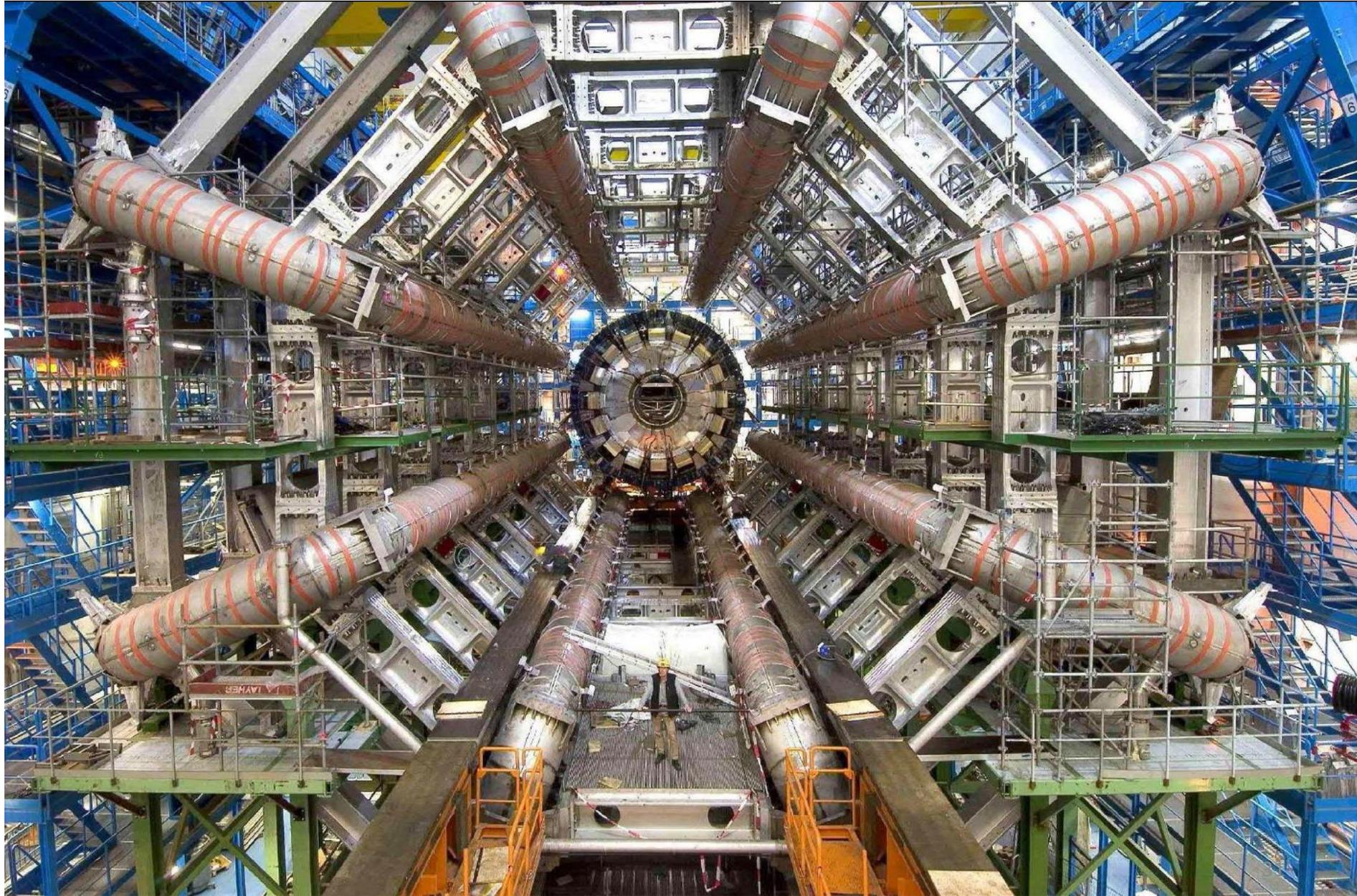
Cascada de partículas

# ¿Cómo detectamos las partículas?



Los muones no interaccionan casi con la materia y atraviesan todo el detector

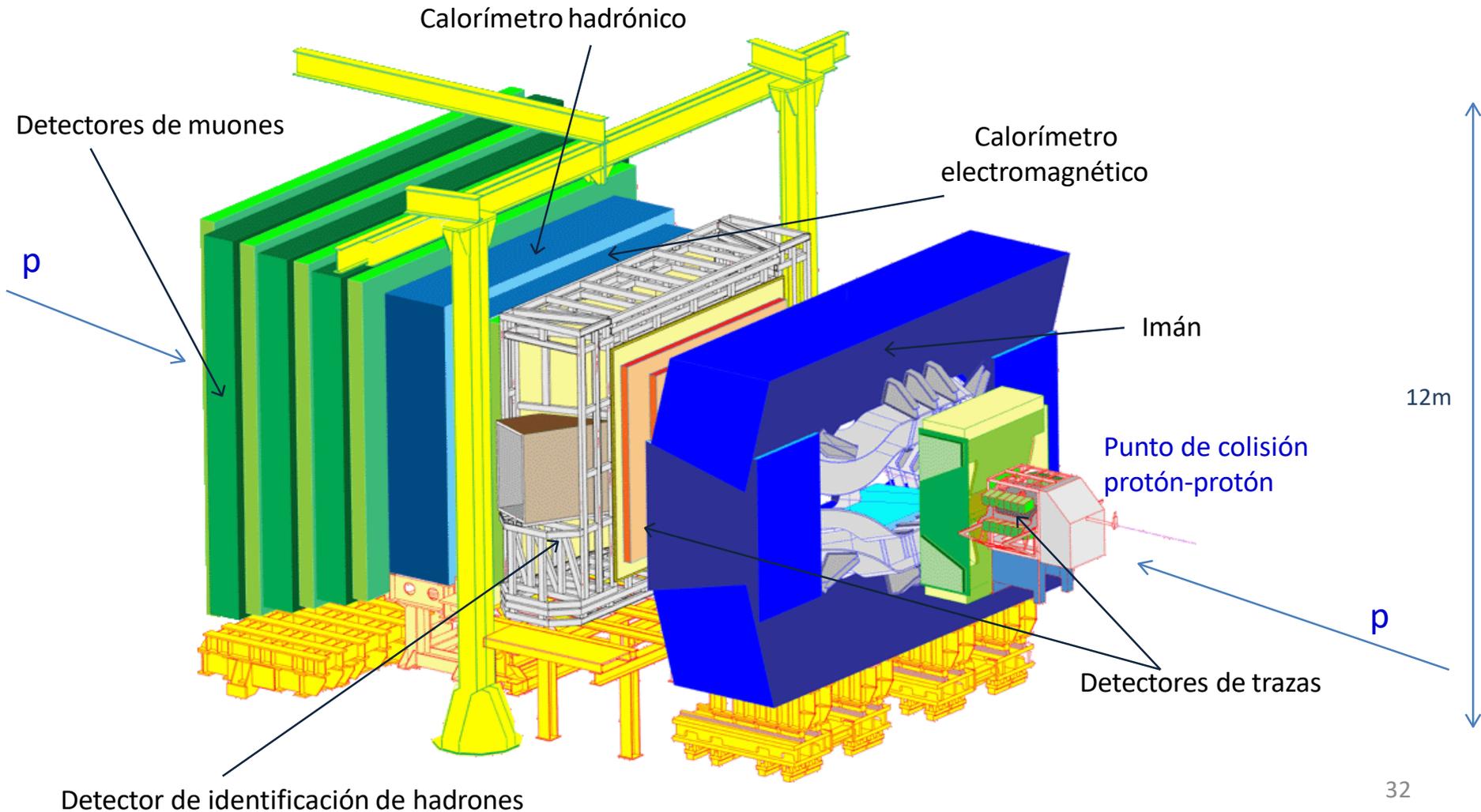
# El detector ATLAS



# Un detector especial: el detector LHCb

Dedicado al estudio de las partículas compuestas por quarks *b* (*bello*) y *c* (*encantado*)

Están partículas salen disparadas hacia delante y hacia atrás: **detector de un solo "brazo"**

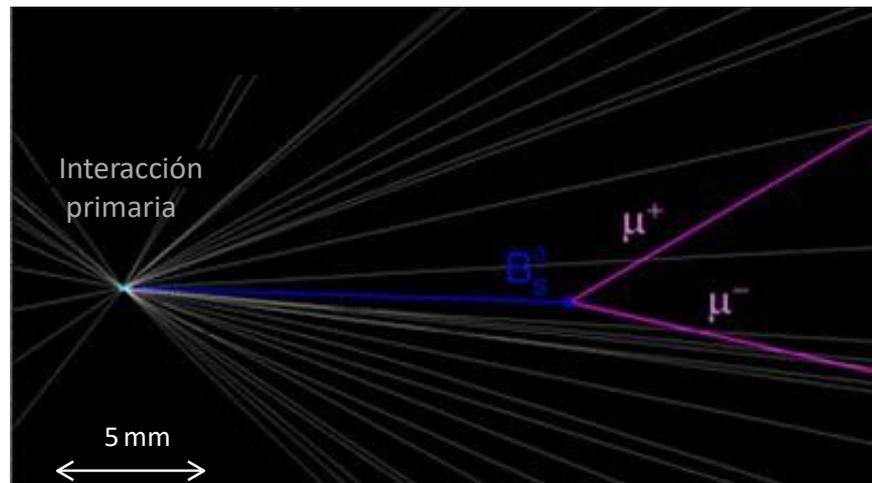


# Un detector especial: el detector LHCb

Las partículas con quarks *b* (*bello*) y con quarks *c* (*encantado*) son inestables y se desintegran rápidamente, pero antes recorren unos centímetros en el detector

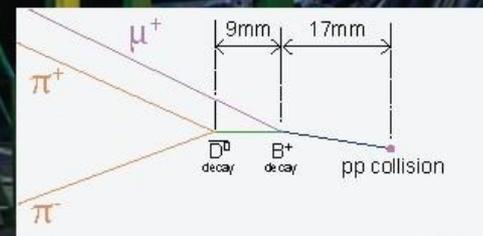
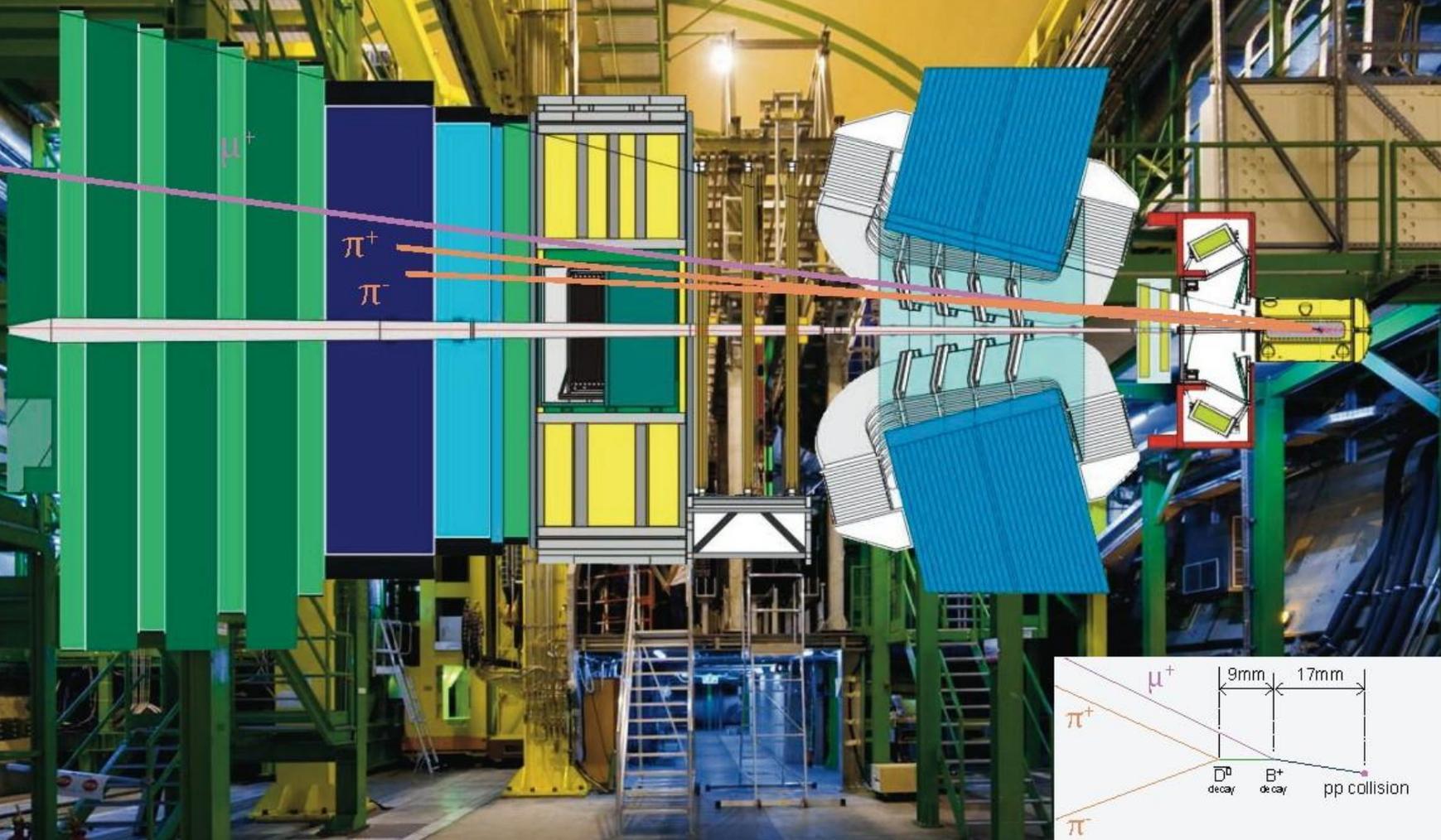


El detector LHCb está diseñado para poder detectar este tipo de partículas



Son muy especiales porque *mutan* de partícula a antipartícula y nos pueden ayudar a entender por qué el Universo está hecho solo de **materia** y no de **antimateria**

# El detector LHCb

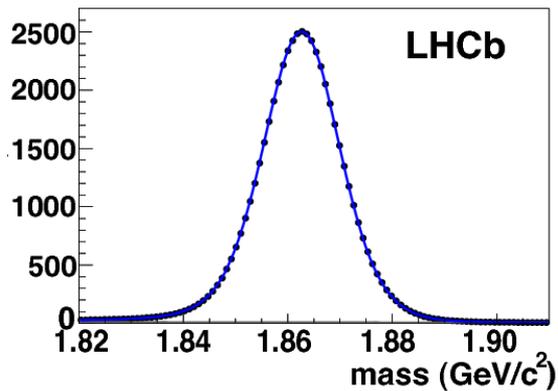


# Un detector especial: el detector LHCb

Permite medir con gran precisión propiedades de las partículas como:

- La masa de las partículas a partir de los productos de su desintegración:

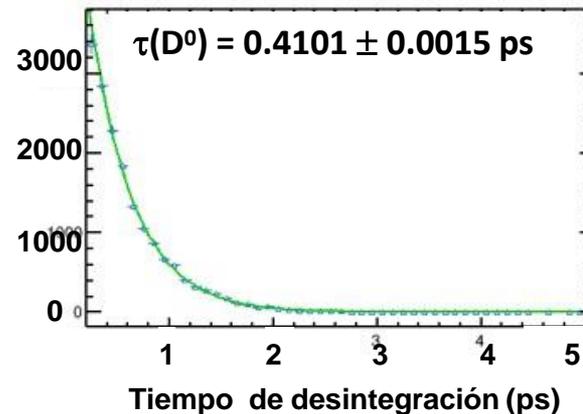
Masa del  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$



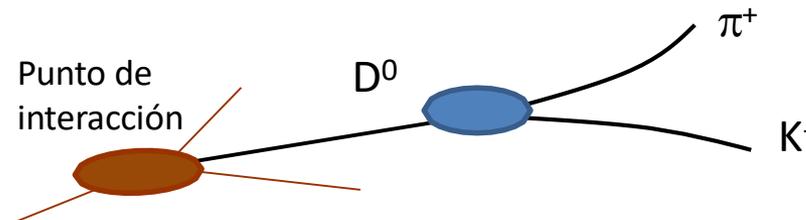
$m(D^0) = 1.86484 \pm 0.00007 \text{ GeV}$

- El tiempo que tarda en desintegrarse una partícula a partir de la distancia entre los vértices:

Desintegración exponencial del  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$



$N \cdot e^{-t/\tau}$



## En resumen:

- Conocemos muy bien de que está hecha la materia: cuáles son las **partículas fundamentales** y como **interaccionan**.
- Pero sabemos muy bien lo que no sabemos y que hay mucho por conocer: nuestro modelo de las partículas elementales **no está completo** ni explica todo lo que observamos.
- Tenemos unas herramientas muy potentes para investigarlo: los **aceleradores** y **detectores** de partículas.
- Implican un **desarrollo tecnológico** enorme que se usa en muchos ámbitos fuera de la física de partículas.
- El experimento **LHCb** es especial para entender el origen de la diferencia entre la cantidad de **materia** y **antimateria** en el Universo.
- El LHC está colisionando sus haces de protones con la mayor energía nunca alcanzada, lo que abre una **nueva y excitante era** para **la física de partículas**.

