

# Aceleradores y detectores de partículas

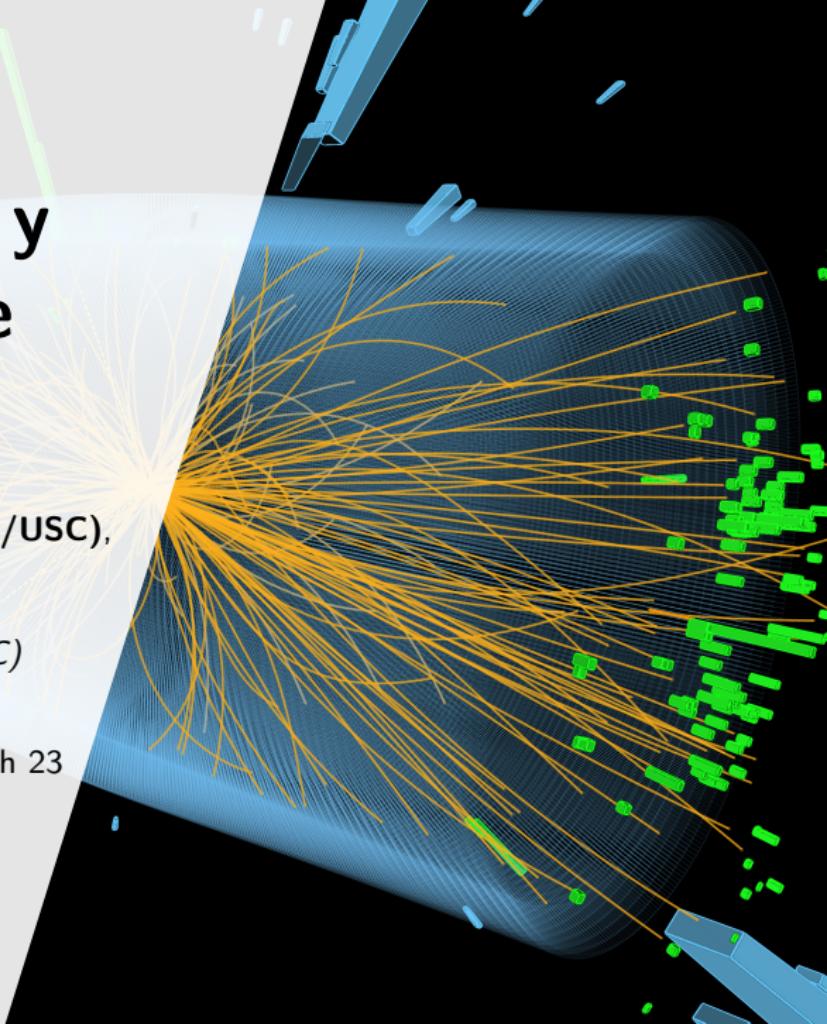
Carlos Vázquez Sierra (IGFAE/USC),

Marcos Romero Lamas

Veronika Chobanova

Facultade de Matemáticas (USC)

CMS MASTERCLASS, 3rd March 23



# Aceleradores y detectores de partículas

Carlos Vázquez Sierra (IGFAE/USC),  
Marcos Romero Lamas  
Veronika Chobanova  
*Facultade de Matemáticas (USC)*

CMS MASTERCLASS, 3rd March 23

## 1 El CERN

Origen  
Objetivo  
LHC

## 2 CMS

El detector CMS  
Detectando las partículas

## 3 A trabajar!

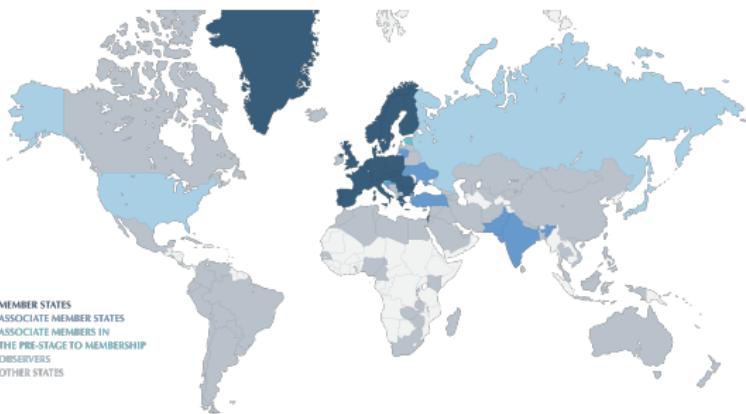
El CERN



- El CERN (*Conseil Européene pour la Recherche Nucléaire*) fundado en 1954 por 12 países europeos
- uno de los centros de investigación más importantes en el mundo
- mayor laboratorio de física en el mundo
- ciencia básica: descubrimiento del electrón (1897) → primer circuito integrado (1958)

## CERN hoy

- 23 países miembros  
(+ 10 países asociados)
  - España miembro desde 1983
- institutos de ~ 70 países
- > 12000 científicos
- ~ 110 nacionalidades



El objectivo del CERN es el desarrollo de la ciencia básica, explorando las preguntas más fundamentales de la naturaleza:

Que é a materia?

Cal é a súa orixe?

Por que hai tres xeracións de *quarks*?

Como está unida?

Gravidade cuántica?

Por que hai catro interaccións?

Que é a materia  
escura?

Por que as partículas teñen masas tan distintas?

Diferencias entre bosóns e fermións:  
supersimetría?

# Objetivo: Que precisamos?

## Aceleradores

Potentes máquinas para acelerar y colisionar partículas cargadas (electrones, protones, iones) hasta altas energías y producir nuevas partículas



## Detectores

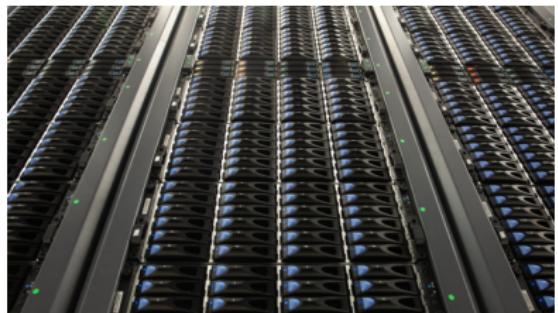
Complejos instrumentos que registran las partículas producidas en el colisionadores, siguen sus huellas y las identifican



# Objetivo: Que precisamos?

## Ordenadores

Nos permiten recolectar, almacenar, distribuir y analizar grandes cantidades de datos producidos por los detectores



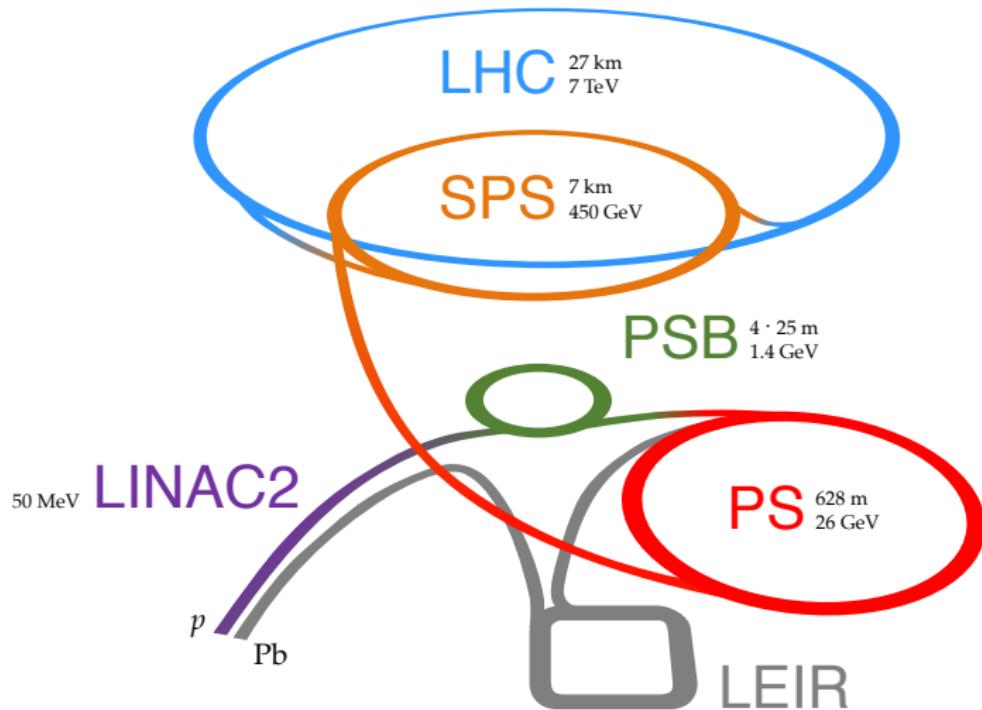
## Personas

Se necesitan grandes colaboraciones internacionales de científicos, ingenieros, técnicos y personal de apoyo para poder diseñar, construir y aprovechar estas complejas máquinas



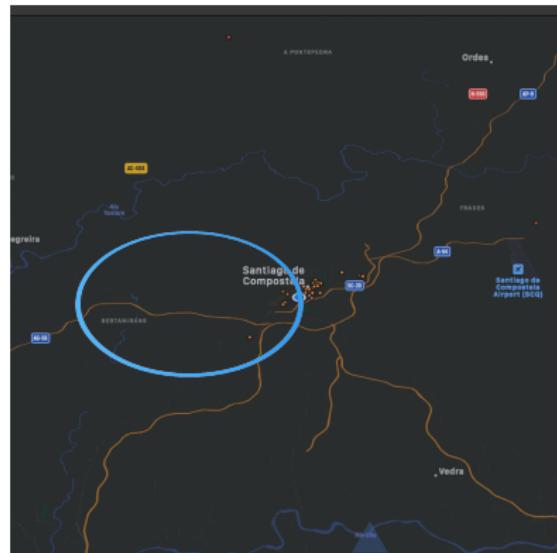
- El Gran Colisionador de Hadrones (LHC, *Large Hadron Collider*) es la maquina más grande y más compleja del mundo (Guinness book of records, 2008)
- Ocupa el túnel del antiguo LEP (large electron-positron collider, 1989-2000)
- Tiene 27 km de circunferencia — 8.6 km de radio
- Está a 100 m bajo tierra
- Cuenta con 4 detectores principales: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb





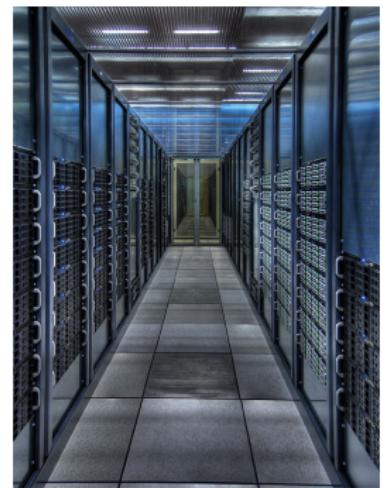
# El CERN LHC

Estos experimentos tienen enormes dimensiones:  
El **mayor** de los detectores es **ATLAS**, con **25 m** de altura



# LHC: Algunos números

- Los imanes del LHC tienen una temperatura de **1.9 K**, más frío que el vacío del universo
- El LHC operaba en una energía del centro de masas de 7, 8 y 13 TeV entre hasta 2018  
A partir de 2022: 13.6 TeV
- En **10 horas** los protones atraviesan el equivalente a **ir hasta Neptuno y volver**
- Los experimentos del LHC han tomado 278 PB de datos en una década
  - Corresponde a una persona usando Netflix 24/7 durante 15000 años
- En total, los experimentos han recordado 39,5 cuatrillones de colisiones



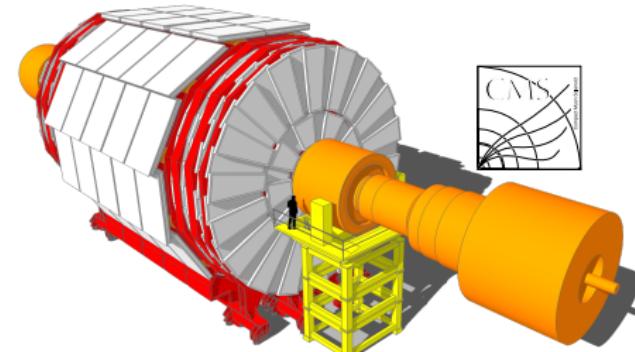
**CMS**

# El detector CMS

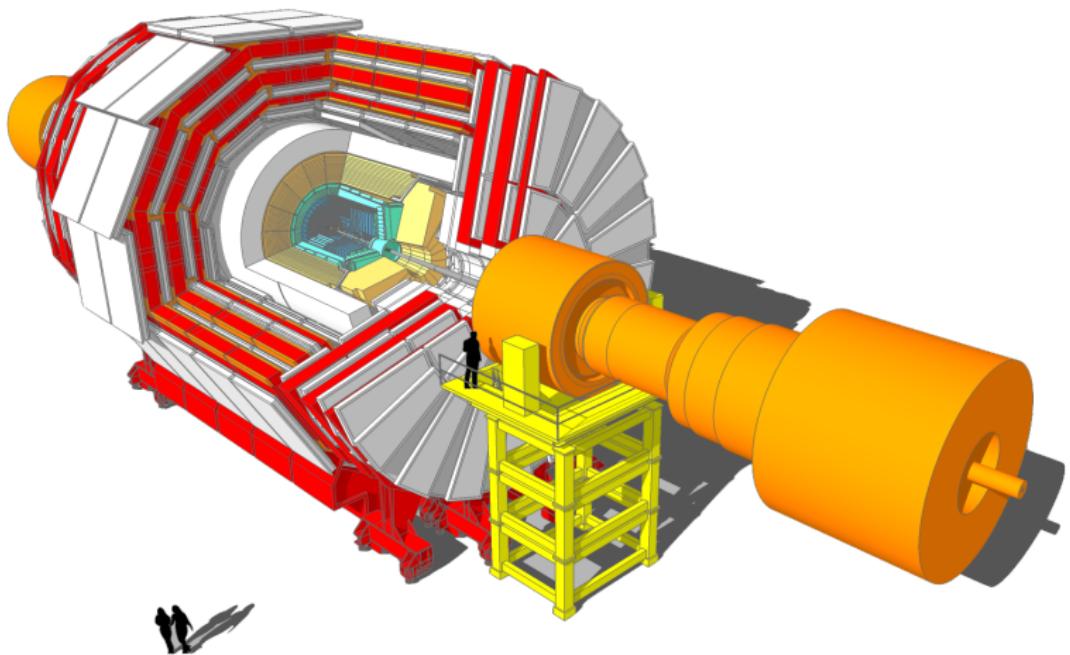
- *Compact Muon Solenoid* (CMS) es el segundo mayor detector
- Detector de propósito general
  - Detectar **muones** uno de los objetivos principales, e.g.  $H \rightarrow 4\mu$
  - Campo magnético de 4T (100000 veces el de la Tierra) por su **solenoide**, el imán superconductor más grande del mundo construido por el ser humano
- Mide 21 m  $\times$  15 m  $\times$  15 m, pesa 14000 t (465 Boeing 737s)
- ATLAS y CMS descubrieron el bosón de Higgs en 2012

## La colaboración CMS

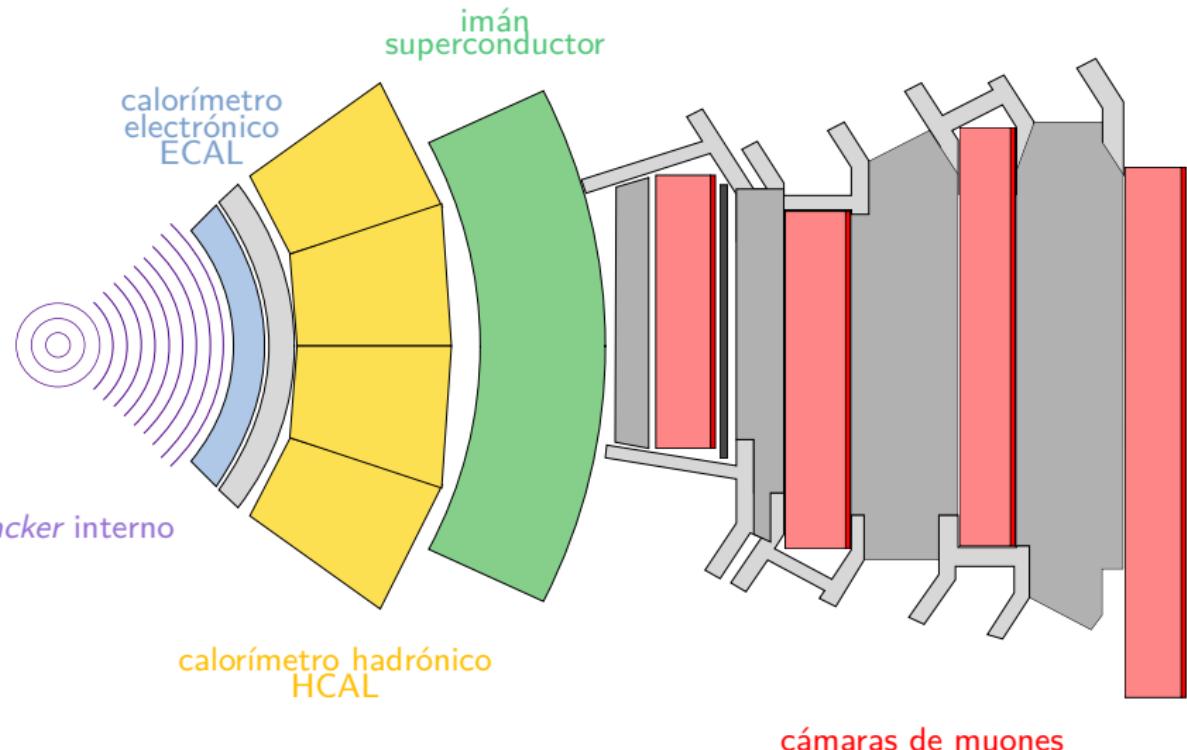
- > 5500 colaboradores
- 246 institutos
- 56 países



# El detector CMS



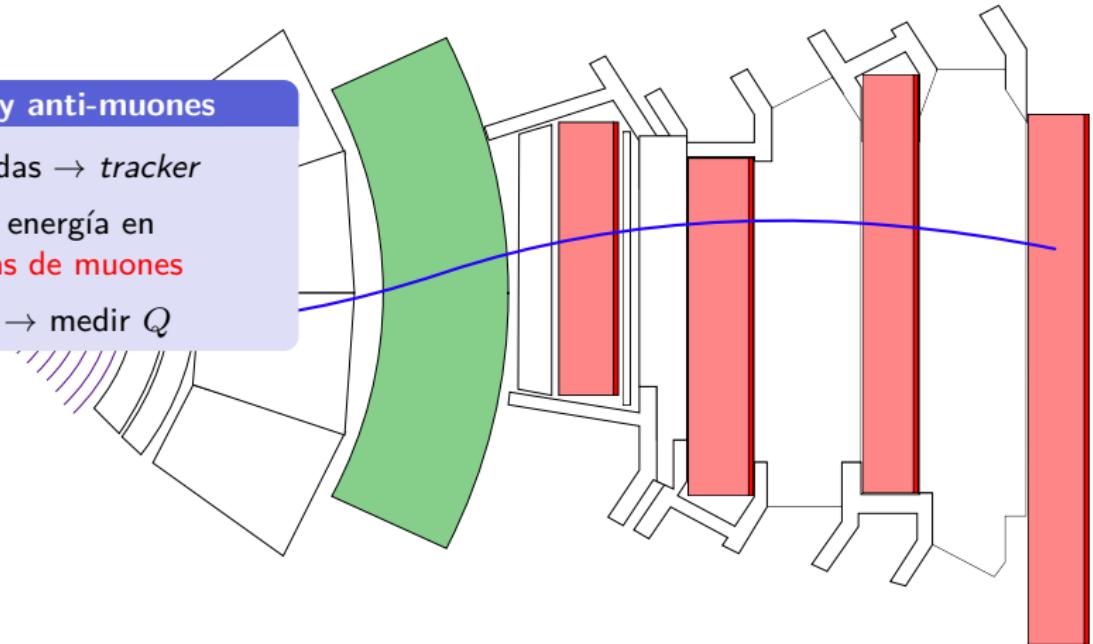
# Detectando las partículas



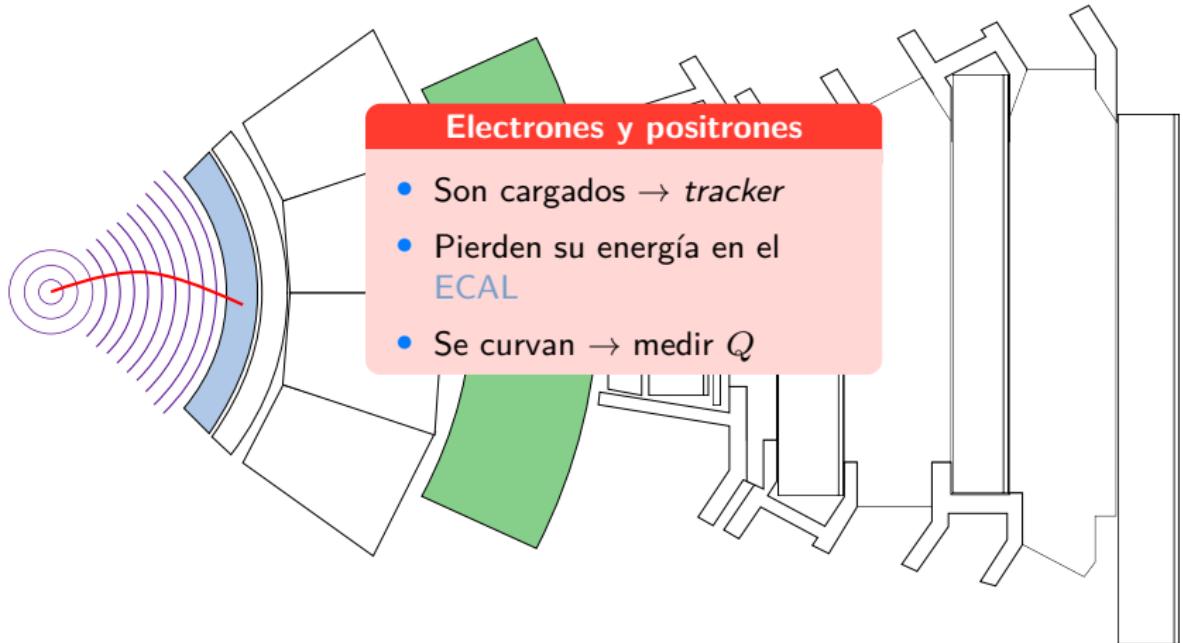
# Detectando las partículas

## Muones y anti-muones

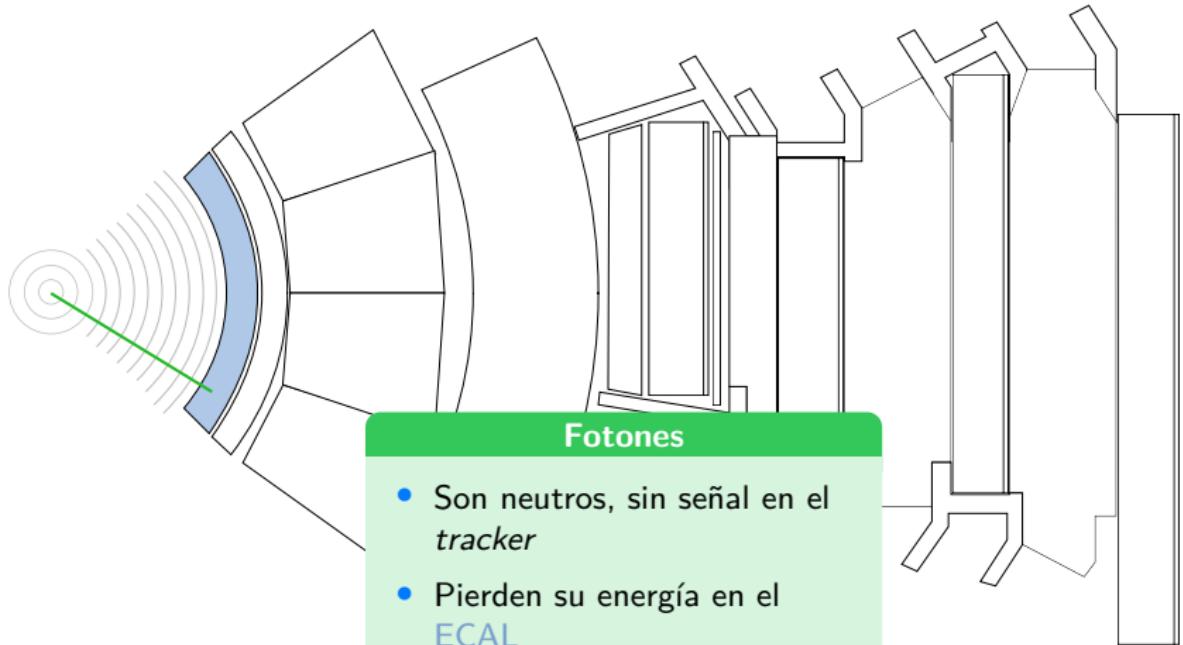
- Son cargadas  $\rightarrow$  *tracker*
- Depositan energía en las cámaras de muones
- Se curvan  $\rightarrow$  medir  $Q$



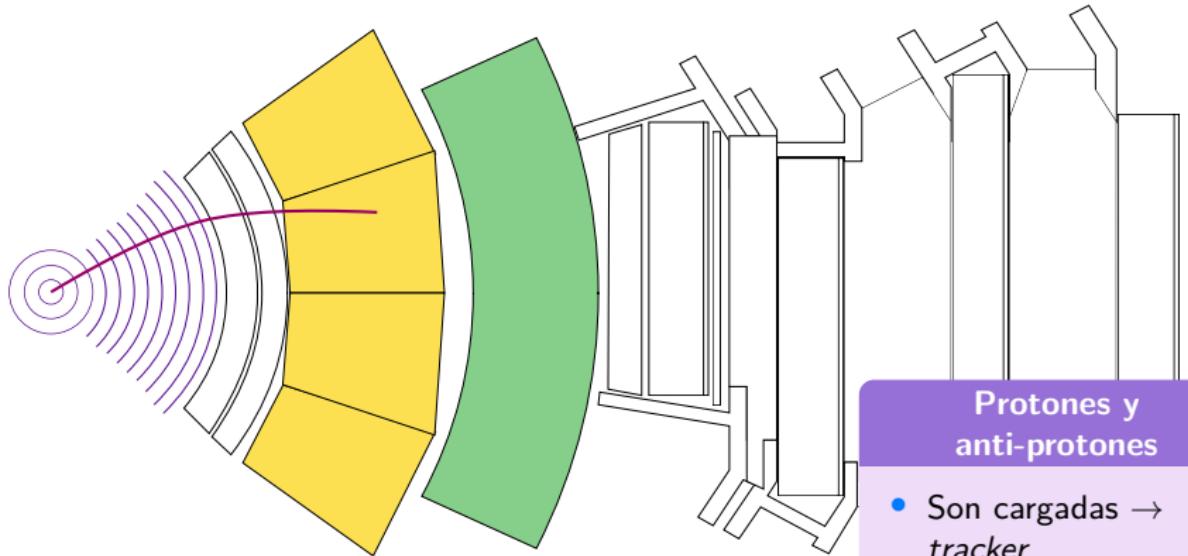
# Detectando las partículas



# Detectando las partículas



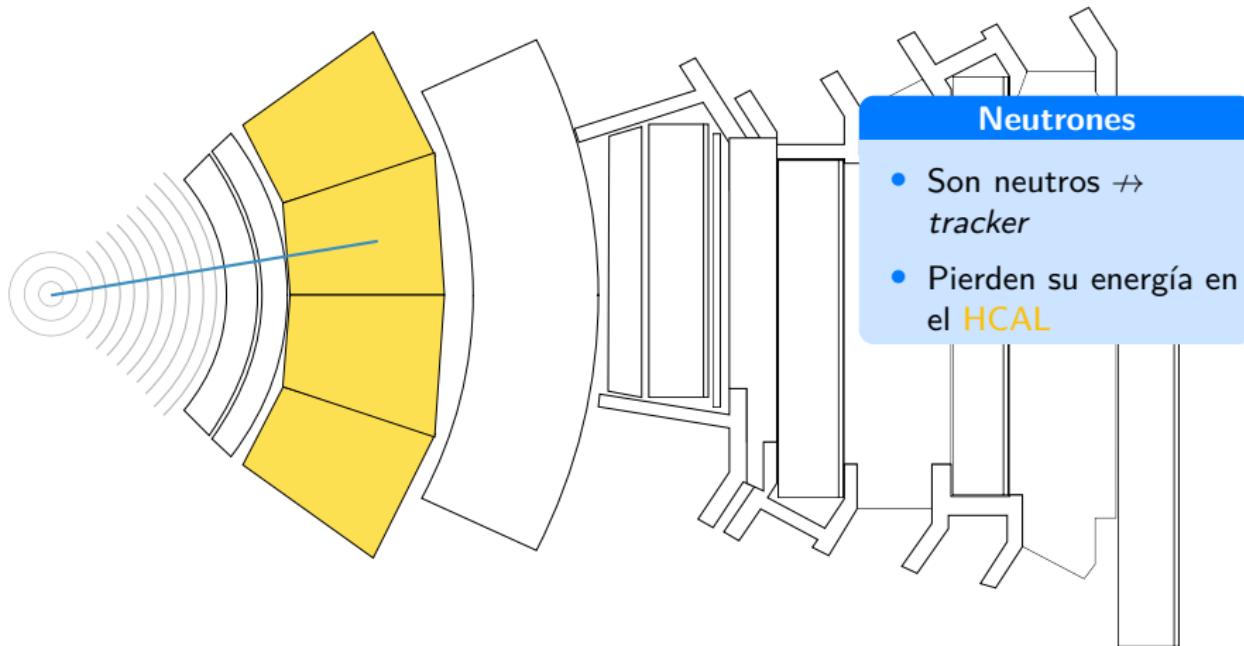
# Detectando las partículas



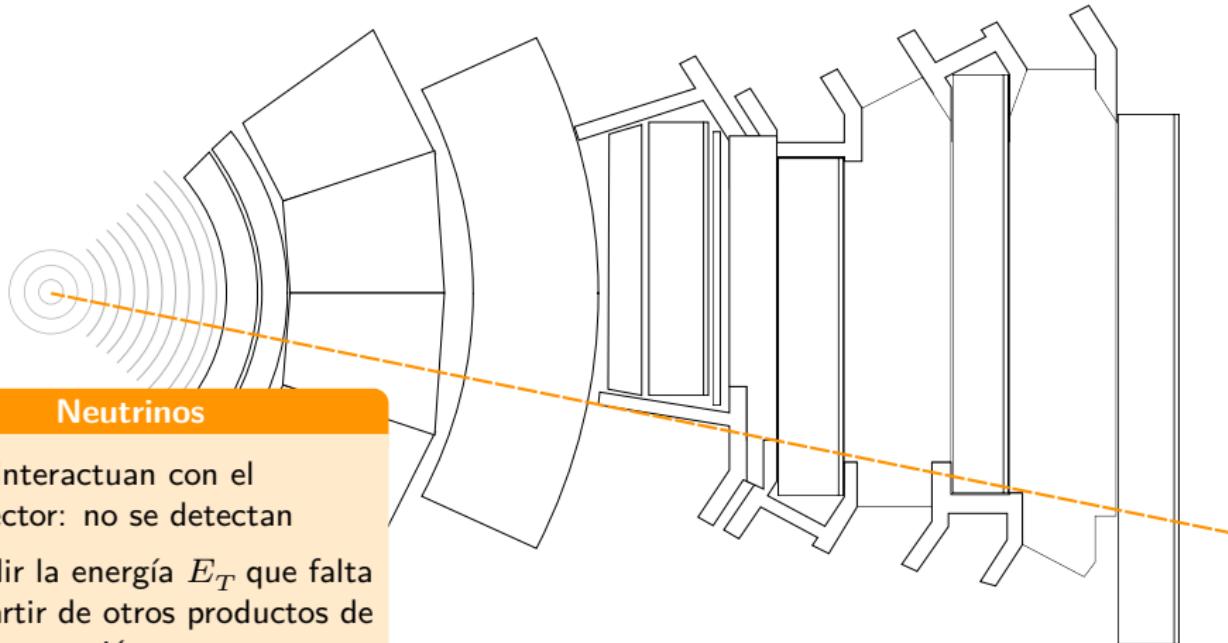
## Protones y anti-protones

- Son cargadas → *tracker*
- Pierden su energía en el **HCAL**

# Detectando las partículas



# Detectando las partículas



# Detectando las partículas

## Muones y anti-muones

- Son cargadas → *tracker*
- Depositan energía en las cámaras de muones
- Se curvan → medir  $Q$

## Neutrinos

- No interactúan con el detector: no se detectan
- Medir la energía  $E_T$  que falta a partir de otros productos de desintegración

## Electrones y positrones

- Son cargados → *tracker*
- Pierden su energía en el ECAL
- Se curvan → medir  $Q$

## Fotones

- Son neutros, sin señal en el *tracker*
- Pierden su energía en el ECAL

## Neutrones

- Son neutros → *tracker*
- Pierden su energía en el HCAL

## Protones y anti-protones

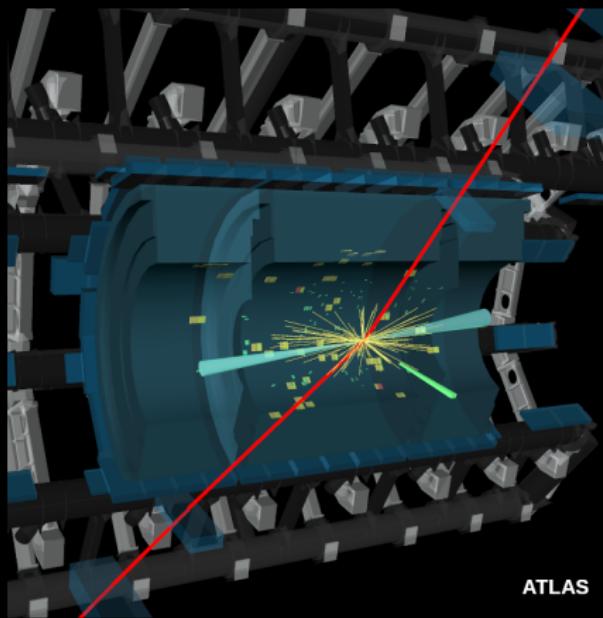
- Son cargadas → *tracker*
- Pierden su energía en el HCAL

**A trabajar!**

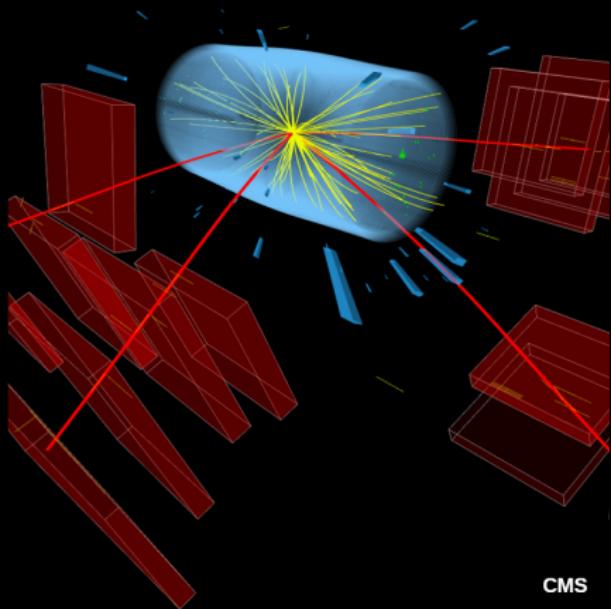
A trabajar!

# ATLAS e CMS descubrieron el Higgs en 2012

Un evento de Higgs en los detectores ATLAS ( $H \rightarrow q\bar{q}\mu\mu$ , izquierda) y CMS ( $H \rightarrow 4\mu$ , derecha)



ATLAS



CMS

# ATLAS e CMS descubrieron el Higgs en 2012

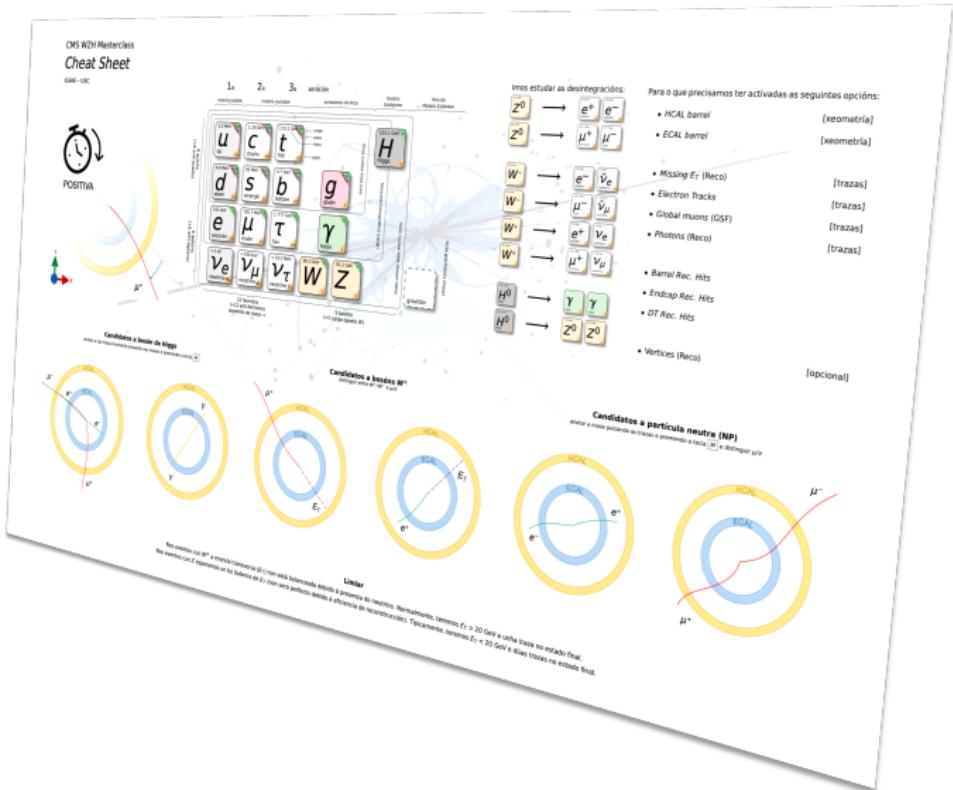
- Solo vemos las partículas finales, pero podemos calcular su masa invariante, que es la masa de su partícula madre hipotética.
- Por ejemplo de  $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  se calcula con la conservación de la energía y el momento relativista:

$$m(Z^0) = \sqrt{(E(\mu^+) + E(\mu^-))^2 - (\vec{p}(\mu^+) + \vec{p}(\mu^-))^2}$$

## ATLAS e CMS descubrieron el Higgs en 2012

- Calculamos la masa invariante para muchos eventos y representamos las medidas en un histograma
- Si las partículas provienen de la misma partícula madre, veremos un pico en el valor de su masa.
- Datos tomados en Run 1 (2011-2012) por ATLAS en  $H \rightarrow \gamma\gamma$

A trabalar!  
**É o voso turno**



# Aceleradores y detectores de partículas

Carlos Vázquez Sierra (IGFAE/USC),  
Marcos Romero Lamas  
Veronika Chobanova  
*Facultade de Matemáticas (USC)*

*Grazas!*

CMS MASTERCLASS, 3rd March 23

