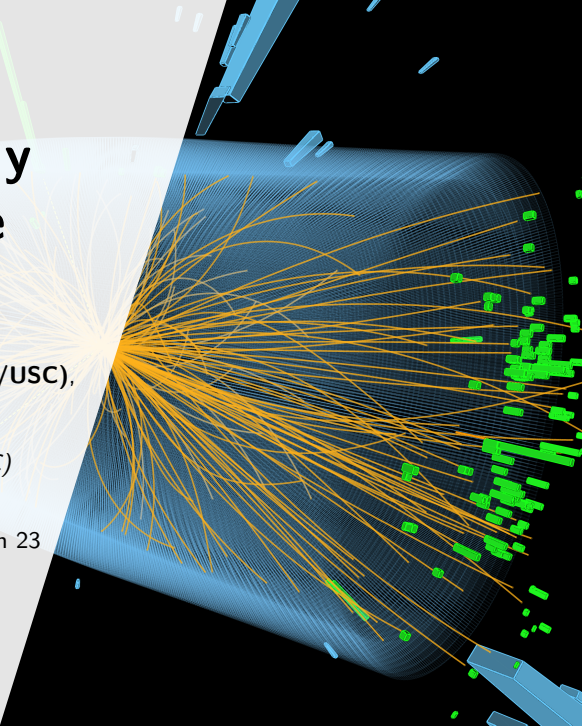


Aceleradores y detectores de partículas

A 3D visualization of a particle detector, likely a calorimeter or tracker, showing a dense network of orange lines representing particle tracks originating from a central point and extending outwards. The detector structure is depicted in blue and black, with green dots indicating specific interaction points or data points.

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!

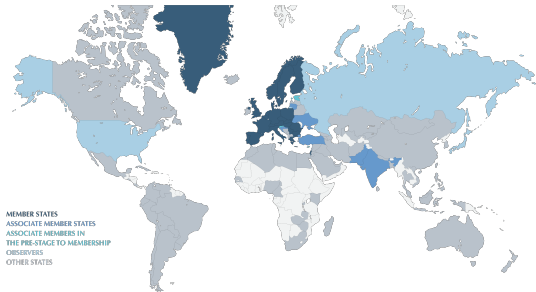
EI CERN



- El CERN (*Conseil Européen 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 objetivo 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?

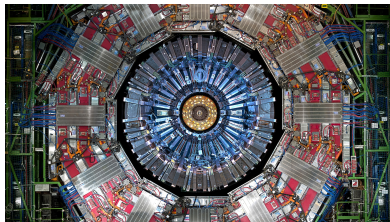
Aceleradores

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 colisiones, 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

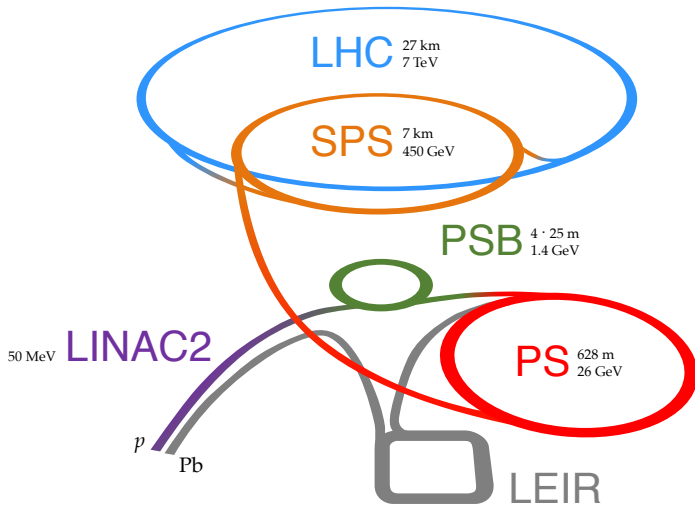
Se necesitan grandes colaboraciones internacionales de científicos, ingenieros, técnicos y personal de apoyo para poder diseñar, construir y aprovechar estas complejas máquinas



El CERN LHC

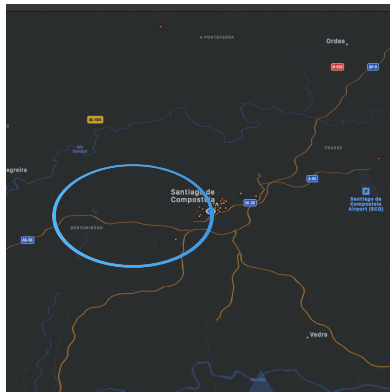
- El Gran Colisionador de Hadrones (LHC, *Large Hadron Collider*) es la maquina más grande y más compleja del mundo (Guinness book of records, 2008)
- Ocupa el túnel del antiguo LEP (large electron-positron collider, 1989-2000)
- Tiene 27 km de circunferencia — 8.6 km de radio
- Está a 100 m bajo tierra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





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



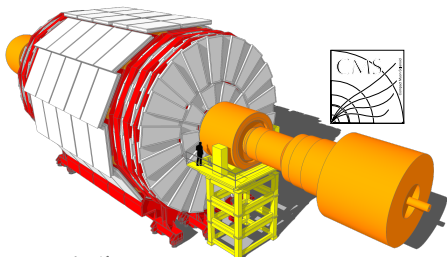
CMS

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 magnetico de 4T (100000 veces el de la Tierra) por su **solenoid**, 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

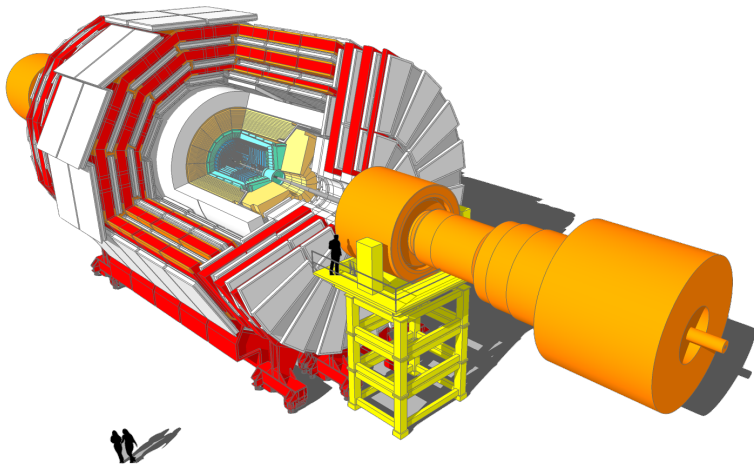
La colaboración CMS

- > 5500 colaboradores
- 246 institutos
- 56 países

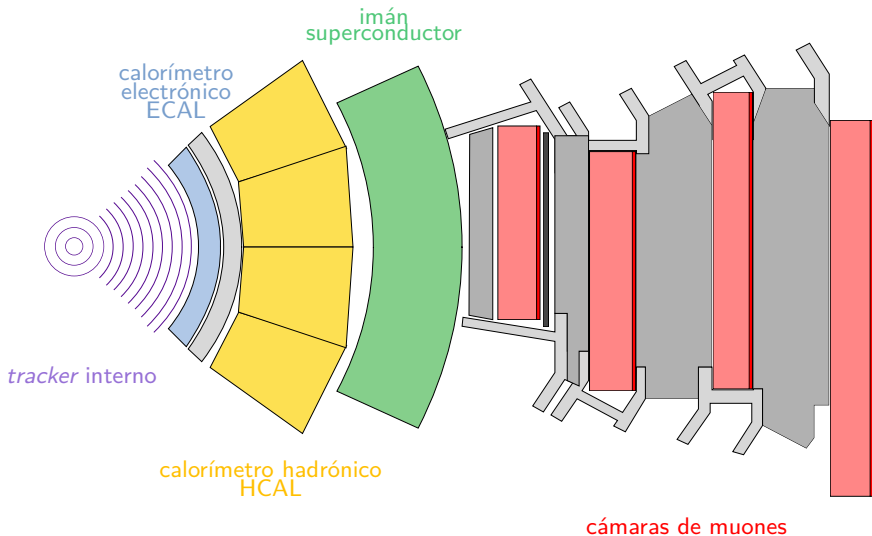


CMS

El detector CMS



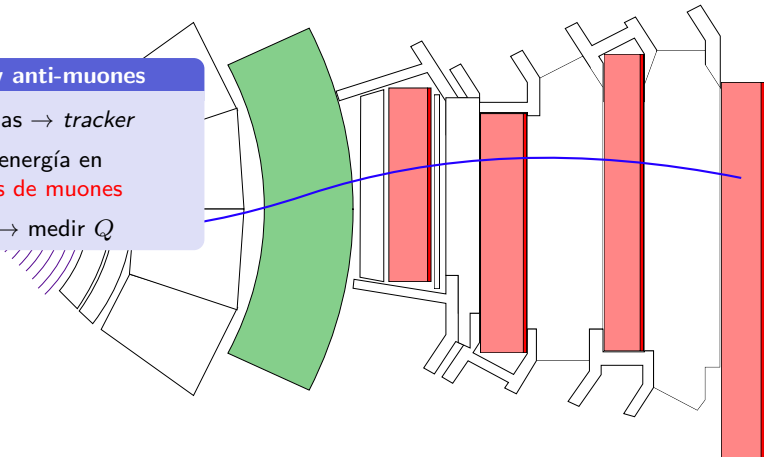
Detectando las partículas



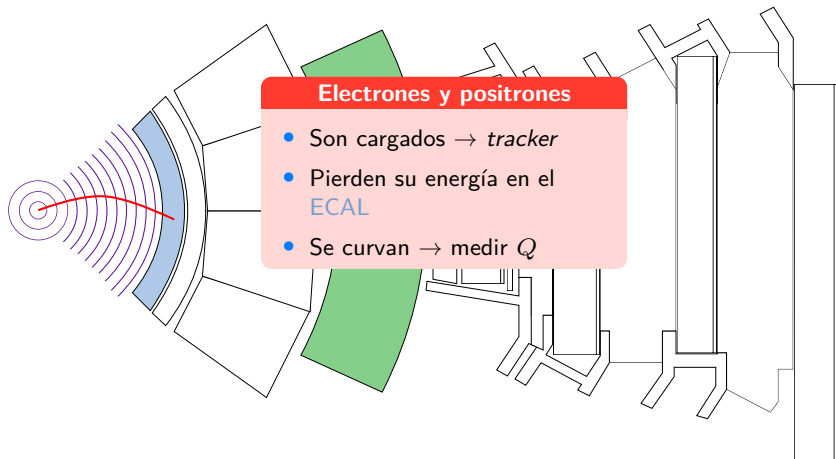
Detectando las partículas

Muones y anti-muones

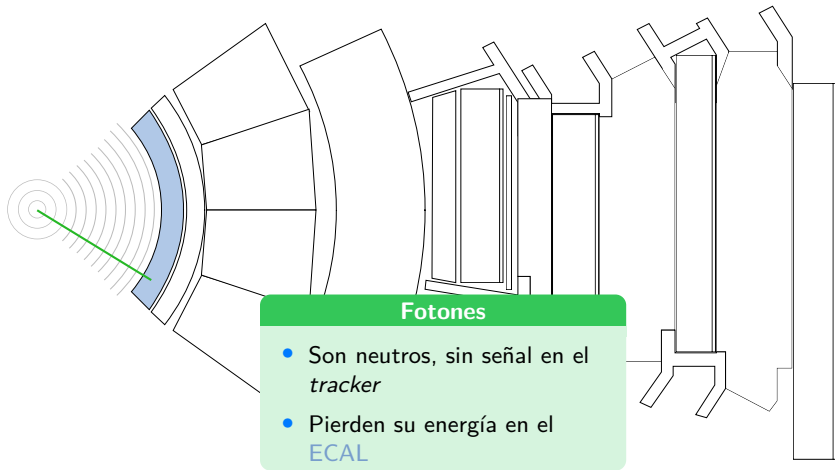
- Son cargadas \rightarrow *tracker*
- Depositan energía en las cámaras de muones
- Se curvan \rightarrow medir Q



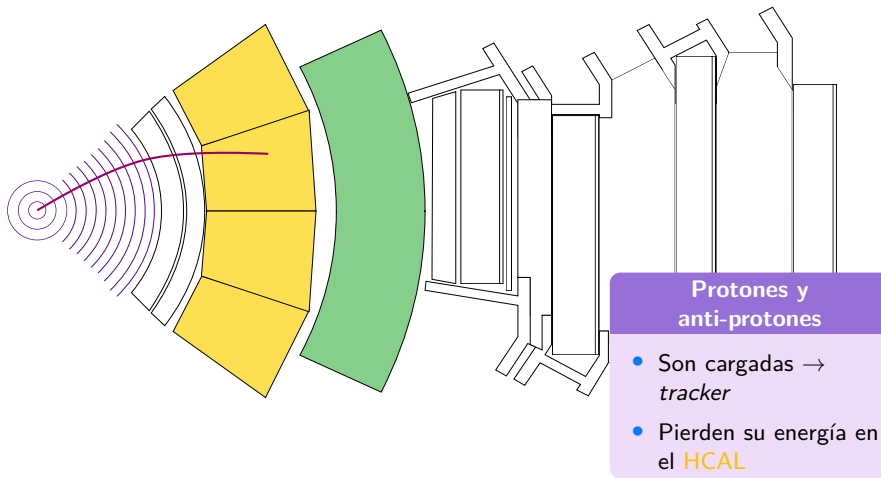
Detectando las partículas



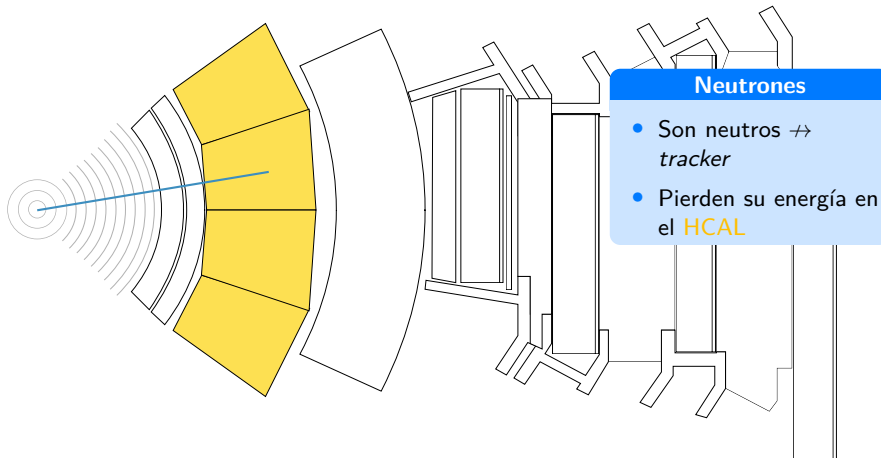
Detectando las partículas



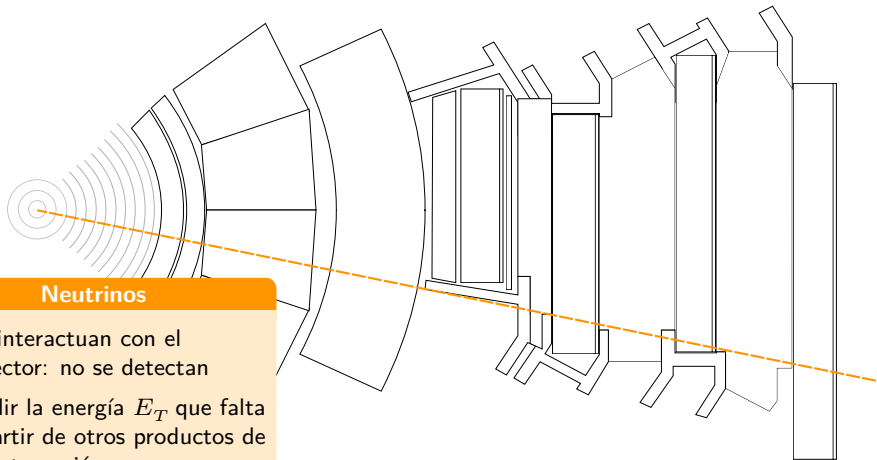
Detectando las partículas



Detectando las partículas



Detectando las partículas



Neutrinos

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

Detectando las partículas

Muones y anti-muones

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

Electrones y positrones

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

Neutrones

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

Neutrinos

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

Fotones

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

Protones y anti-protones

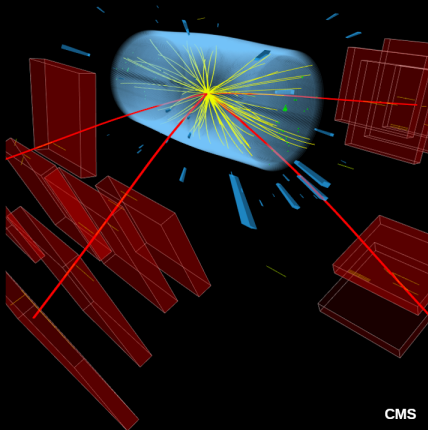
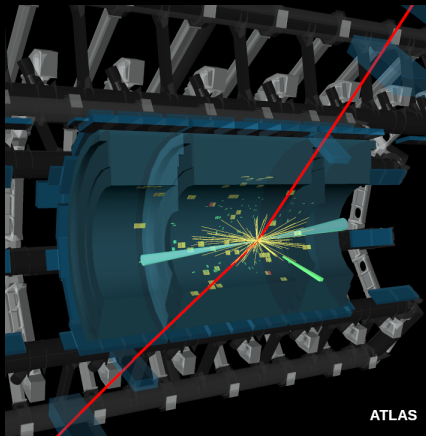
- Son cargadas → *tracker*
- Pierden su energía en el **HCAL**

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 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:

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

A trabajar!

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 $H \rightarrow \gamma\gamma$

Aceleradores y detectores de partículas

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

CMS MASTERCLASS, 3rd March 23

Grazas!

