

Física Experimental de Partículas

Alejandro Gomez Espinosa
Spanish Teacher Programme

25 de junio 2024



Carnegie
Mellon
University

Qué vamos a ver hoy?

- Que hacemos en los experimentos en CERN
- Dónde están todas estas partículas
- Cómo las hemos identificado
- Qué hacemos con esta información
- Qué hemos encontrado

Quién soy?

- Ecuatoriano
- Pregrado en Quito-Ecuador
- Ph.D. en Rutgers University (US)
- Postdoct en ETH Zurich (Suiza)
- Actualmente, postdoc en Carnegie Mellon University (US)
- Trabajo en la colaboración CMS desde 2011



- Brindarles una introducción a nuestro trabajo en CERN
- Mostrarles las dificultades y retos de nuestro trabajo
- Que ustedes asimilan estas ideas para que estimulen a nuestros futuros colegas

Qué espero de esta charla?

El modelo estándar de la Física de Partículas




Y dónde están
estas partículas?



Dónde están estas partículas?



Dónde están estas partículas?

Quarks		Leptons		Bosons		
 Up	 Down	 Electron	 Neutrino	 Photon	 Gluon	
 Charm	 Strange	 Muon	 Neutrino Muon	 Z^0	 W^-	 W^+
 Top	 Beauty	 Tau	 Neutrino Tau	 Higgs		

Dónde están estas partículas?

Quarks

Leptons

Bosons



Up



Down



Electron



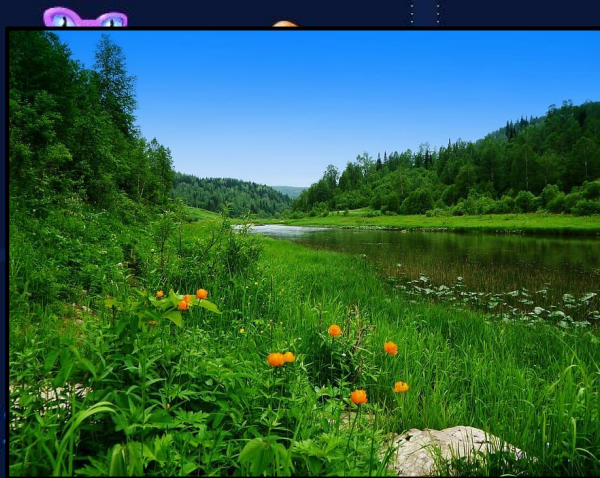
Neutrino



Photon



Gluon



Top

Beauty

Tau



Neutrino Muon



Neutrino Tau



Z^0



W^-



W^+



Higgs



Dónde están estas partículas?

Quarks

Leptons

Bosons



Up



Down



Electron



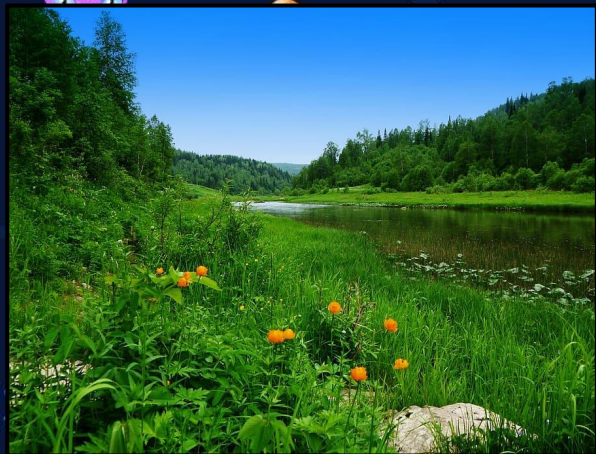
Neutrino



Photon



Gluon



Top



Beauty

Neutrino Tau



W^-



W^+



Higgs



Dónde están estas partículas?

Quarks

Leptons

Bosons



Up



Down



Electron



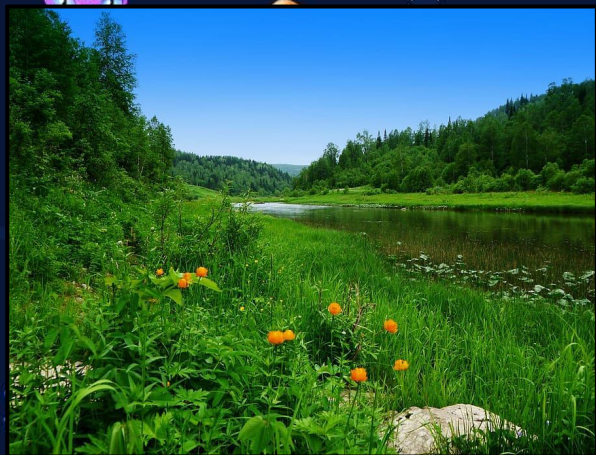
Neutrino



Photon



Gluon



Top

Beauty

Tau



Neutrino Tau

















Higgs

Dónde están estas partículas?



Dónde están estas partículas?

Quarks		Leptons		Bosons		
 Up	 Down	 Electron	 Neutrino	 Photon	 Gluon	
 Charm	 Strange	 Muon	 Neutrino Muon	 Z^0	 W^-	 W^+
 Top	 Beauty	 Tau	 Neutrino Tau	 Higgs		

Dónde están estas partículas?

Quarks



Up



Down

Leptons



Electron



Neutrino

Bosons



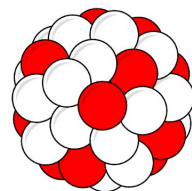
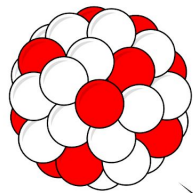
Photon



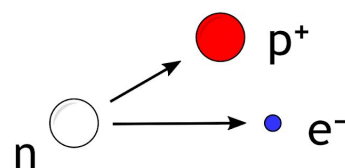
Gluon

Decaimientos nucleares

$^{137}_{55}\text{Cs}$



$^{137}_{56}\text{Ba}$



W^-



W^+

Dónde están

Quarks

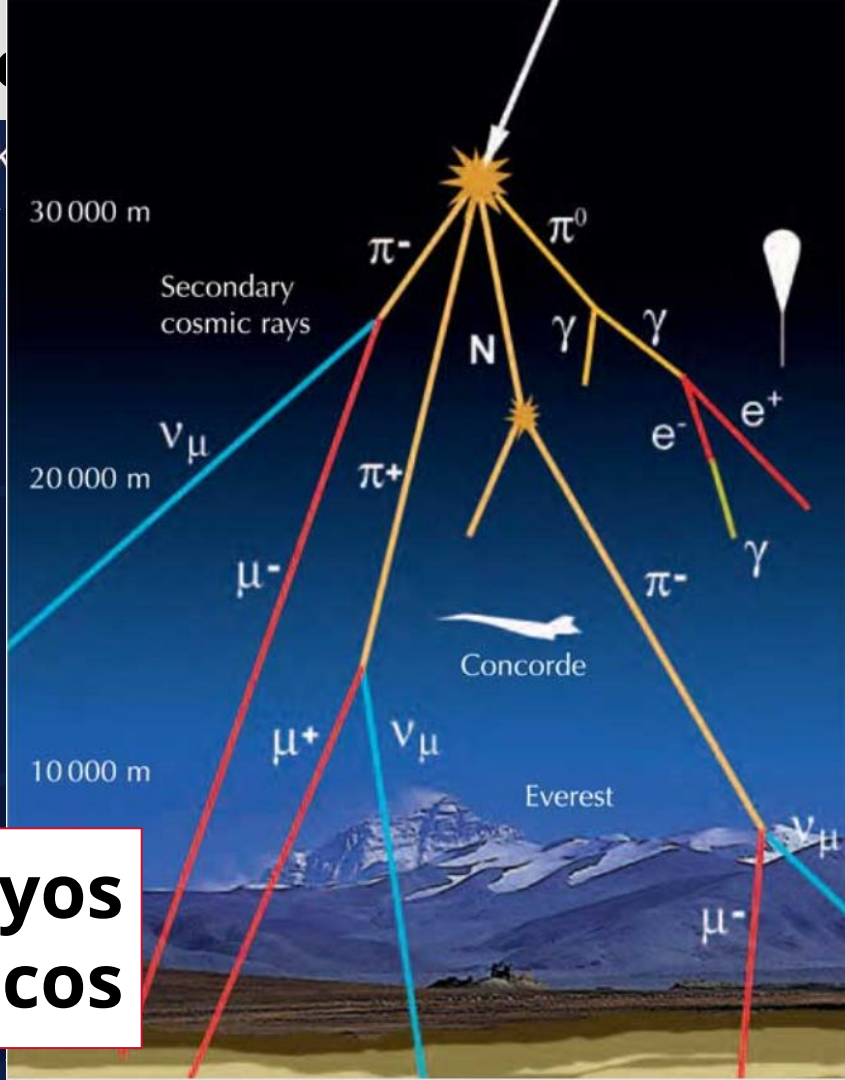


Up



Charm

Rayos cósmicos



Bosons



Gluon



W-



W+

Dónde están estas partículas?

Quarks



Up



Down



Charm



Strange



Top



Beauty

Leptons



Electron



Neutrino



Muon



Neutrino Muon



Tau



Neutrino Tau

Bosons



Photon



Gluon



Z⁰



W⁻






W⁺



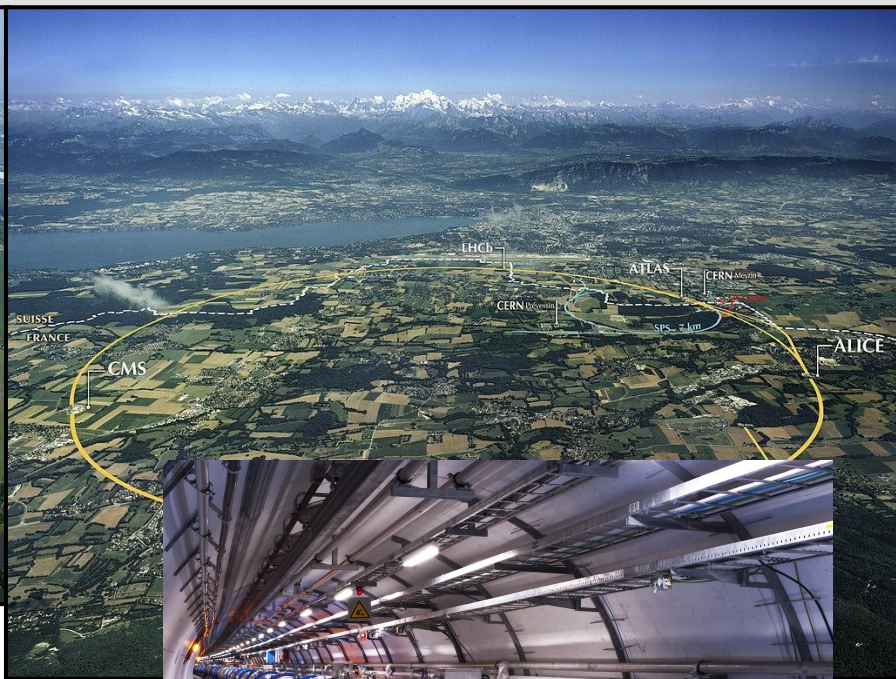
Higgs



Dónde están estas partículas?

Quarks		Leptons		Bosons		
 Up	 Down	 Electron	 Neutrino	 Photon	 Gluon	
 Charm	 Strange	 Muon	 Neutrino Muon	 Z^0	 W^-	 W^+
 Top	 Beauty	 Tau	 Neutrino Tau	 Higgs	Y el resto?	

Dónde están las partículas?



Estas partículas fueron creadas al inicio del universo, por lo que en la actualidad debemos crearlas en colisionadores

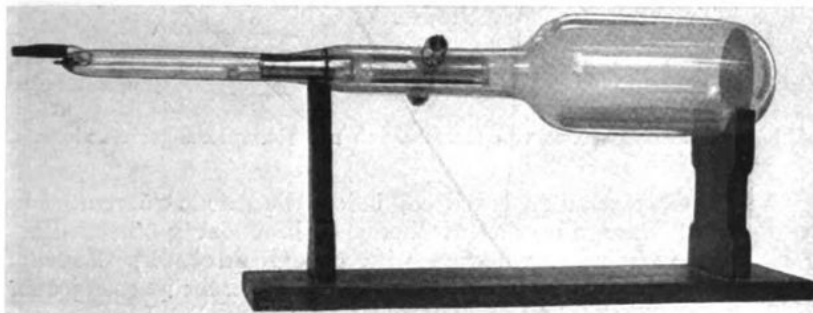
**Y cómo sabemos
que existen?**



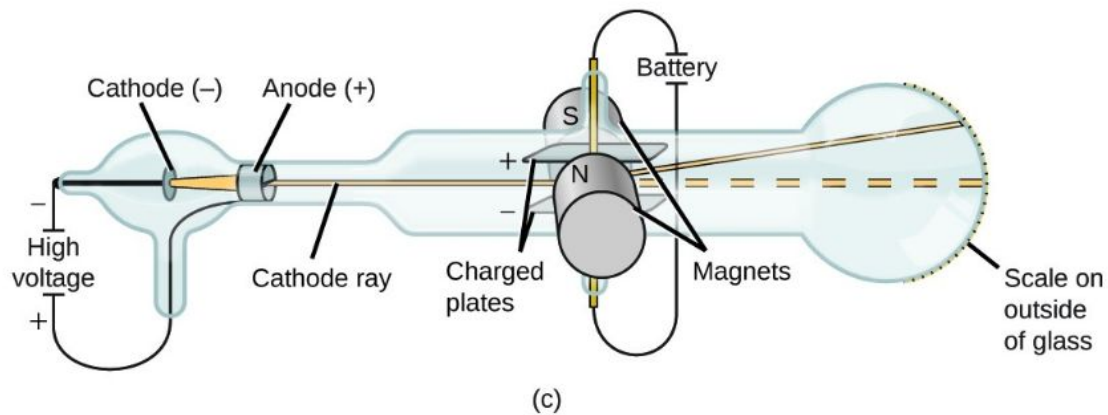
Descubrimiento del electrón



(a)



(b)

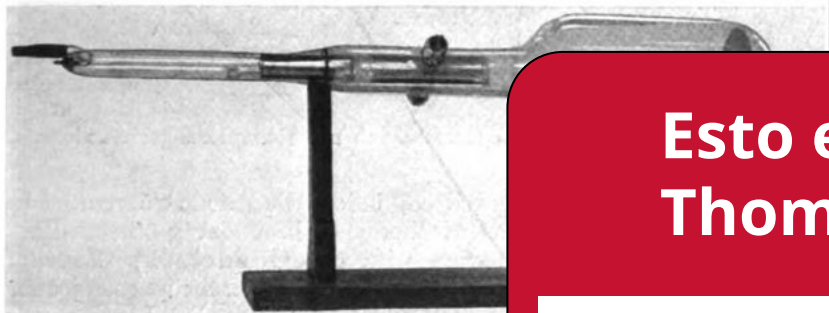


(c)

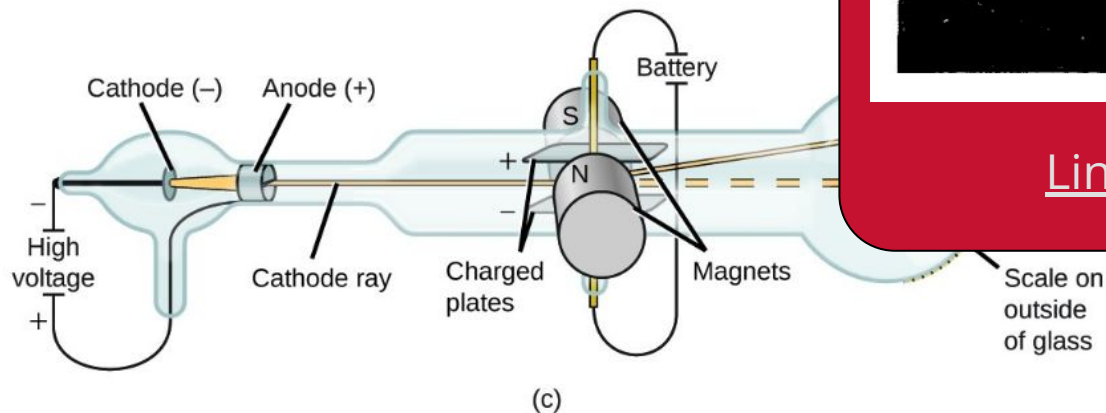
Descubrimiento del electrón



(a)

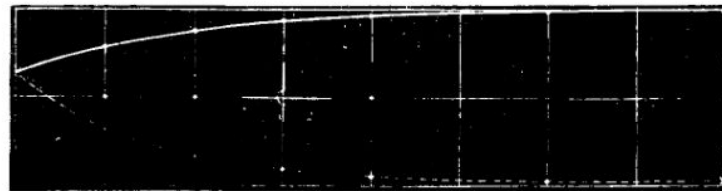


(b)



(c)

Esto es lo que JJ Thomson midió



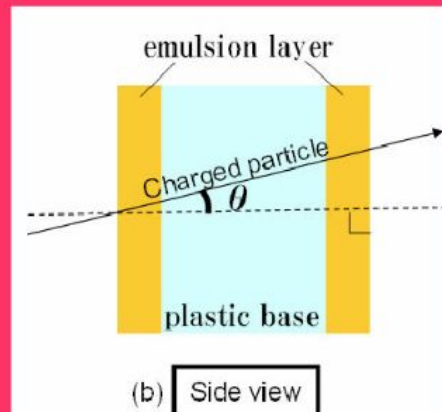
[Link to the paper](#)

Descubrimientos con técnicas de imagen

Cámaras de niebla



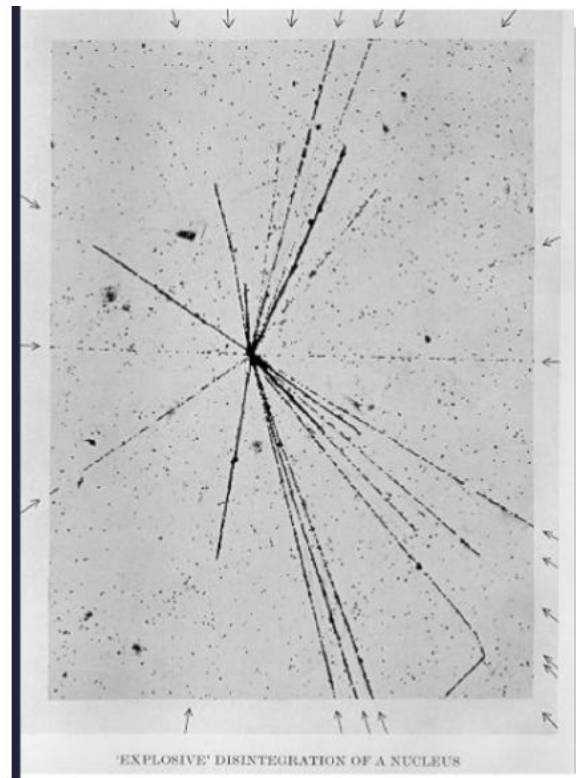
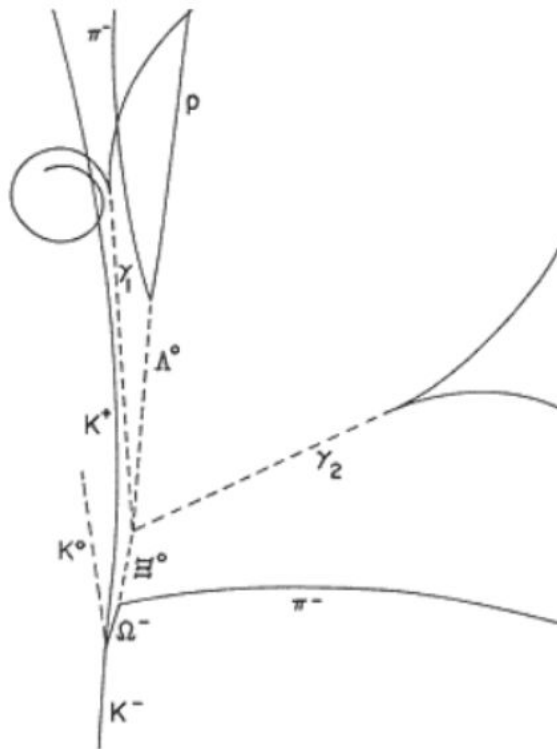
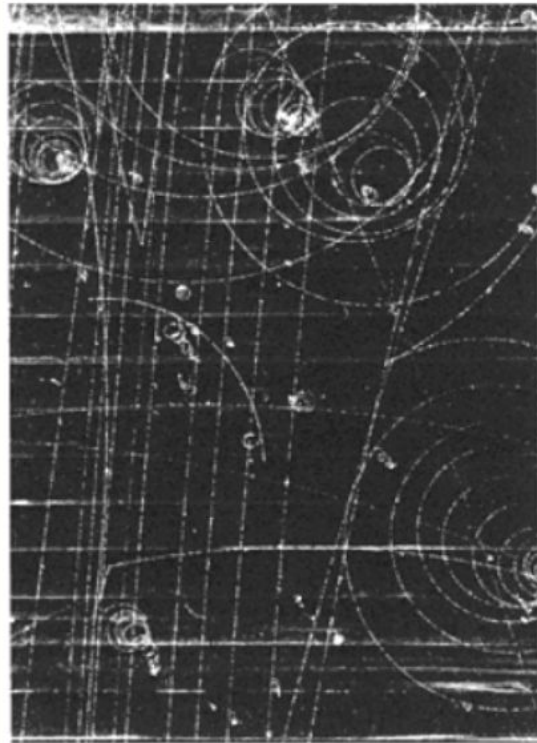
Emulsiones



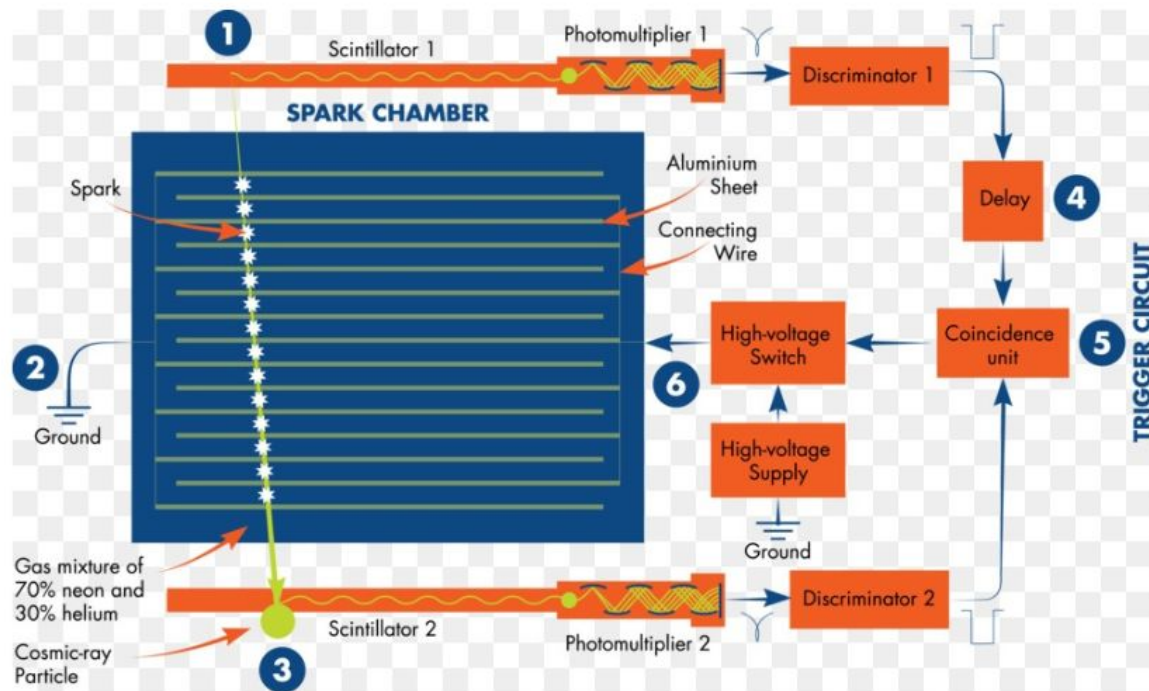
Cámaras de burbujas



Descubrimientos con técnicas de imagen



De las imágenes a la electrónica



A las partículas ya no las **vemos**, ahora **medimos** las trazas o energía que dejan al atravesar los detectores.

Gran Colisionador de Hadrones

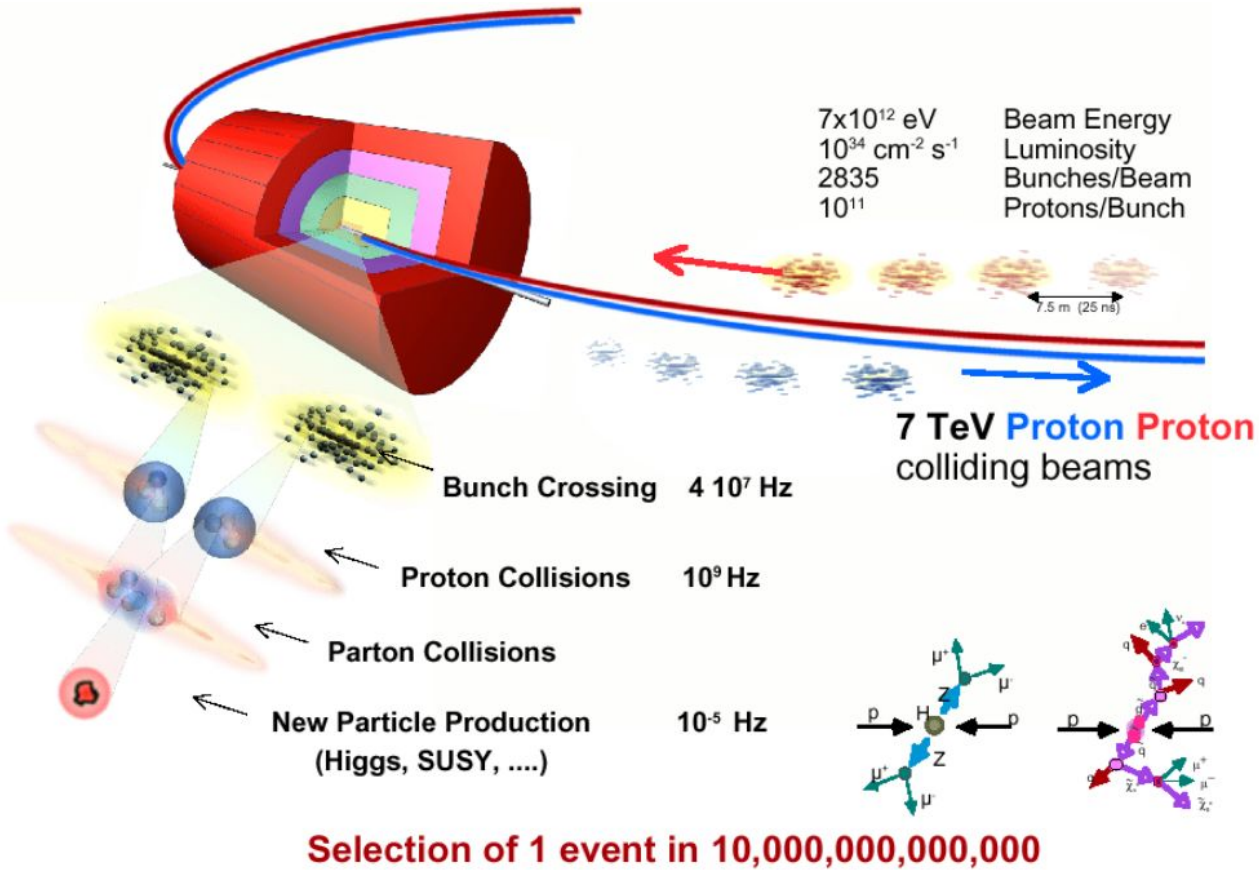


- ions
- electrons
- neutrons
- neutrinos

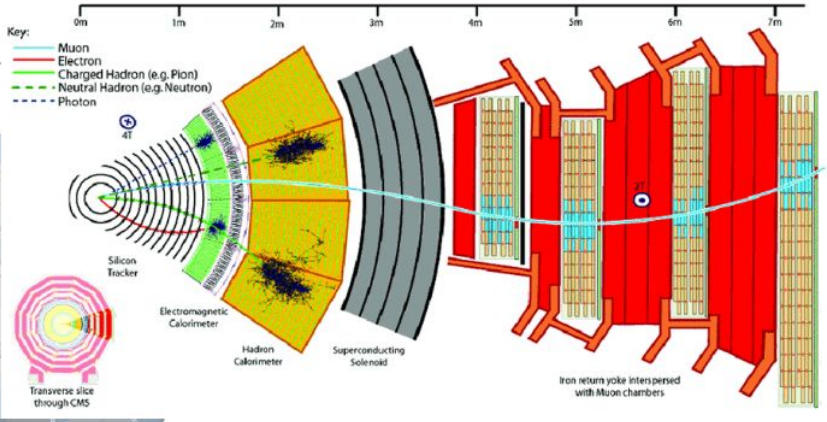
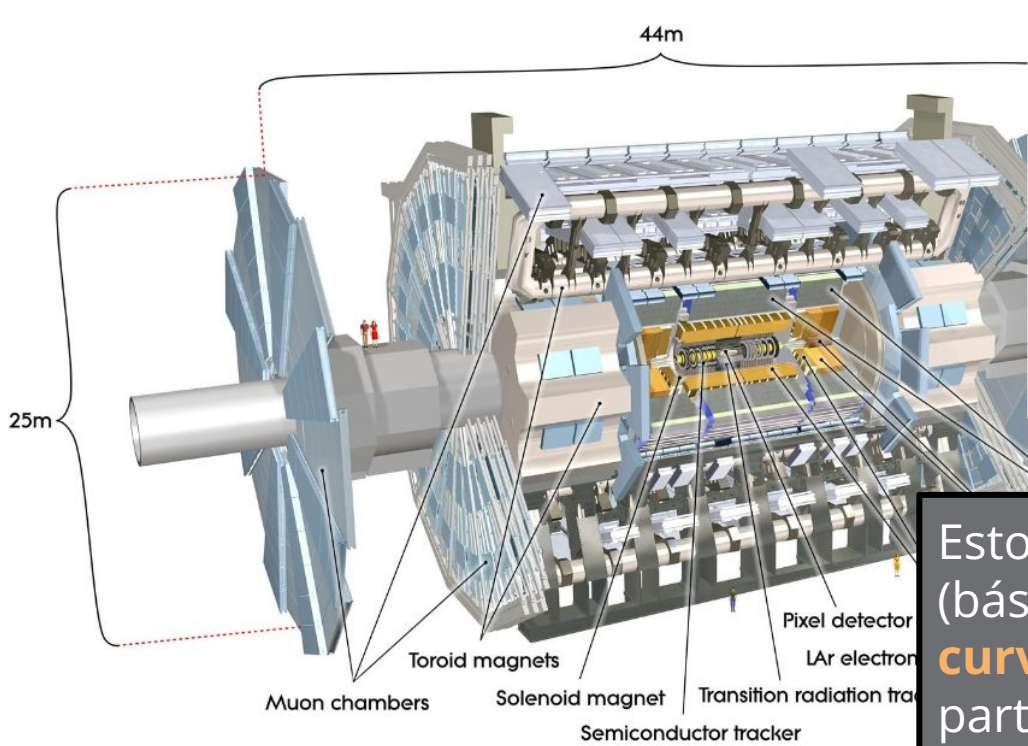
EP5 - Large Hadron Collider

CTF3 - CLIC test Facility 3

Gran Colisionador de Hadrones

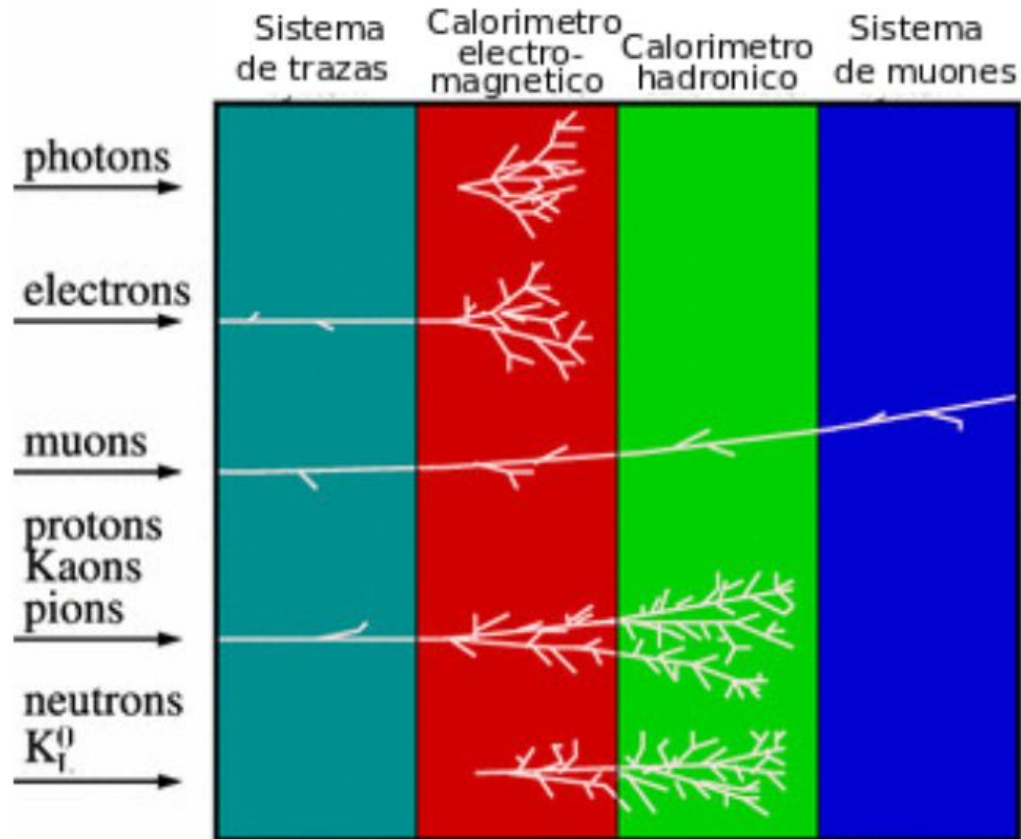


Detectores modernos



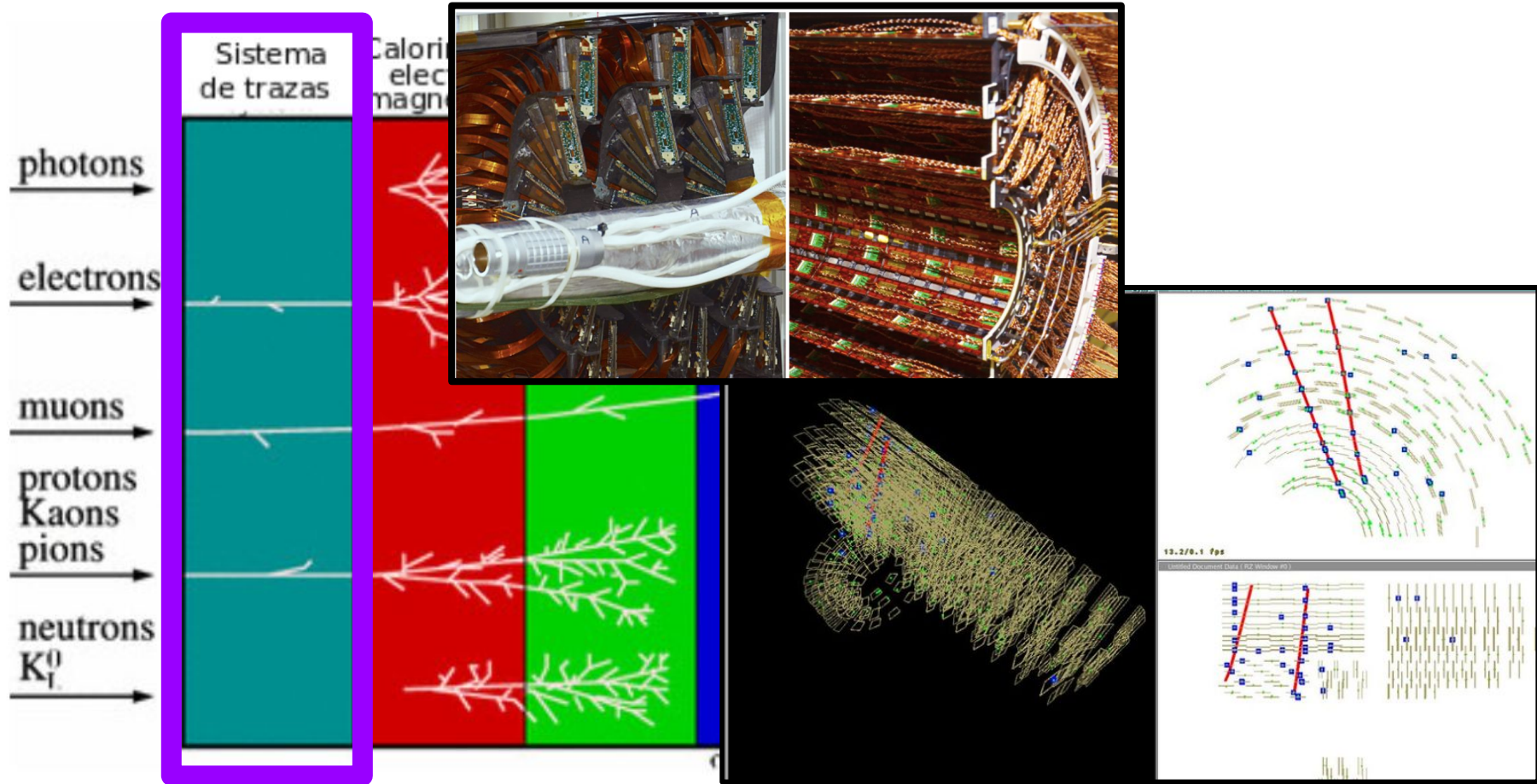
Estos detectores están diseñados para (básicamente) medir la **energía, curvatura y posicionamiento** de partículas **estables** cuando atraviesan los detectores.

Detectores modernos

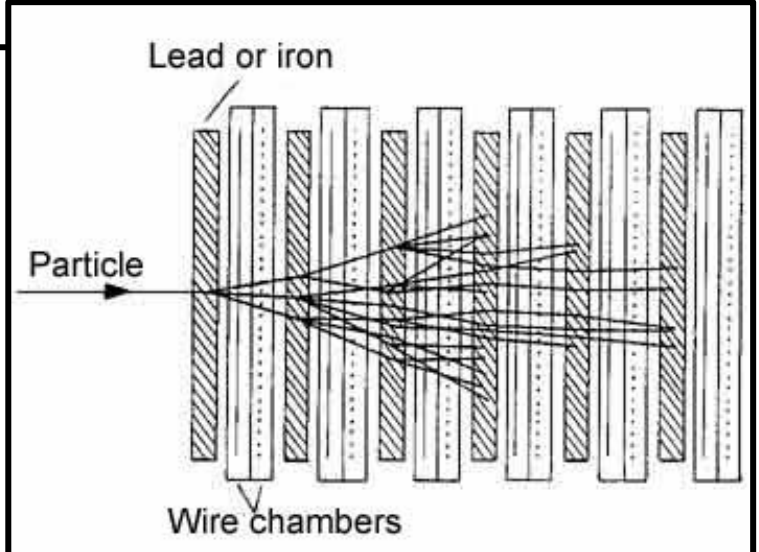
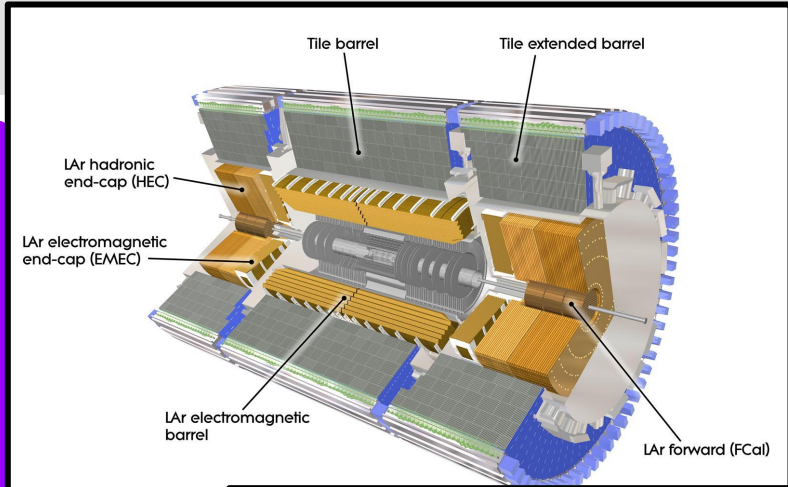
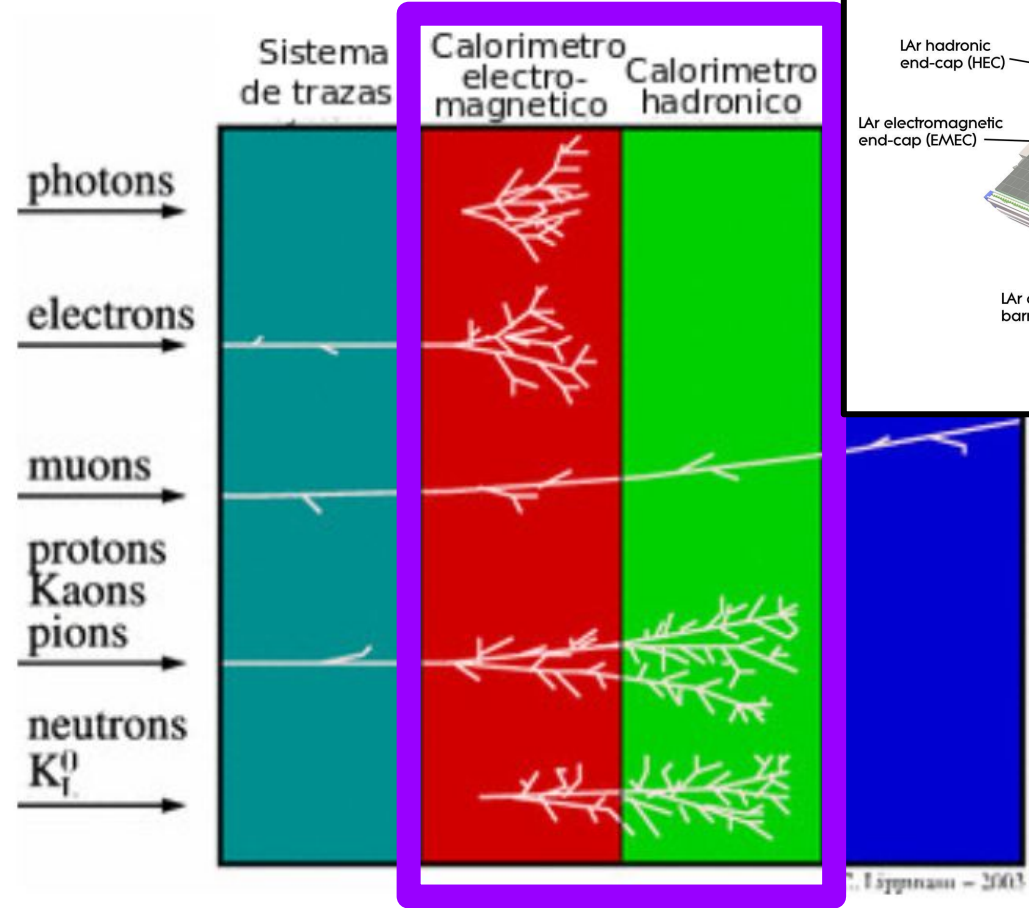


C. Fajnzman - 2003

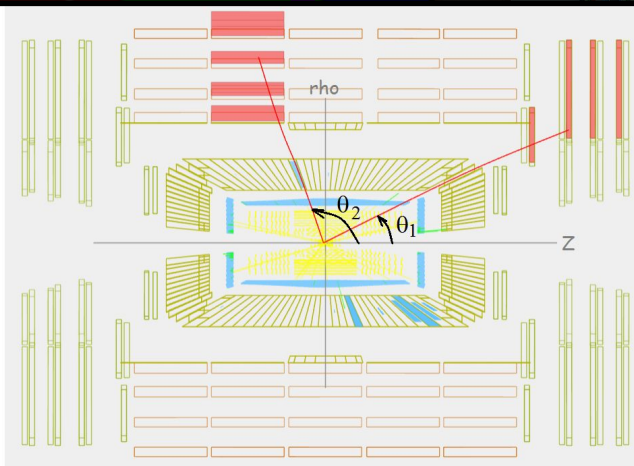
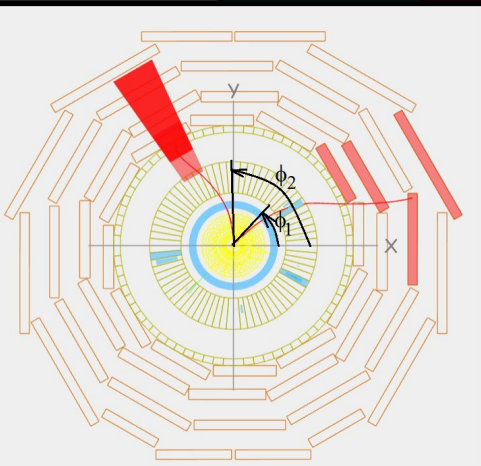
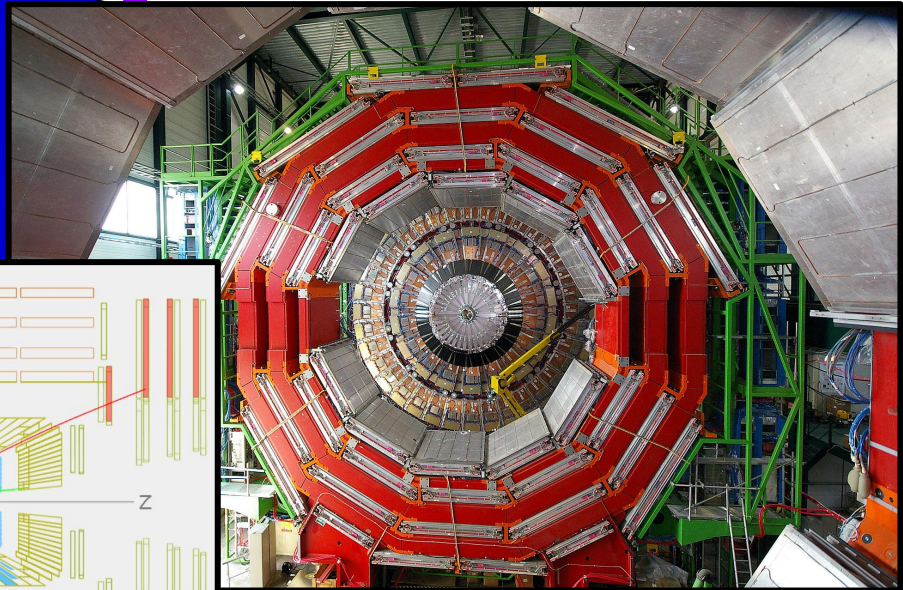
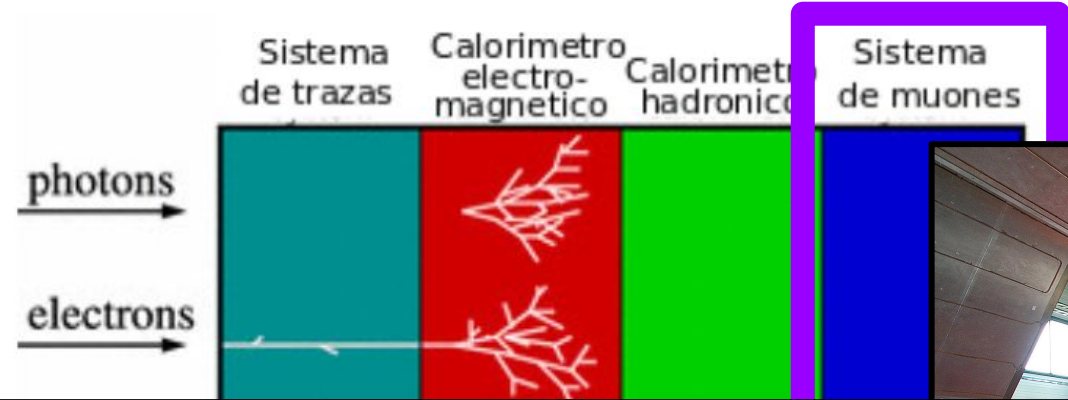
Detectores modernos



Detectores modernos



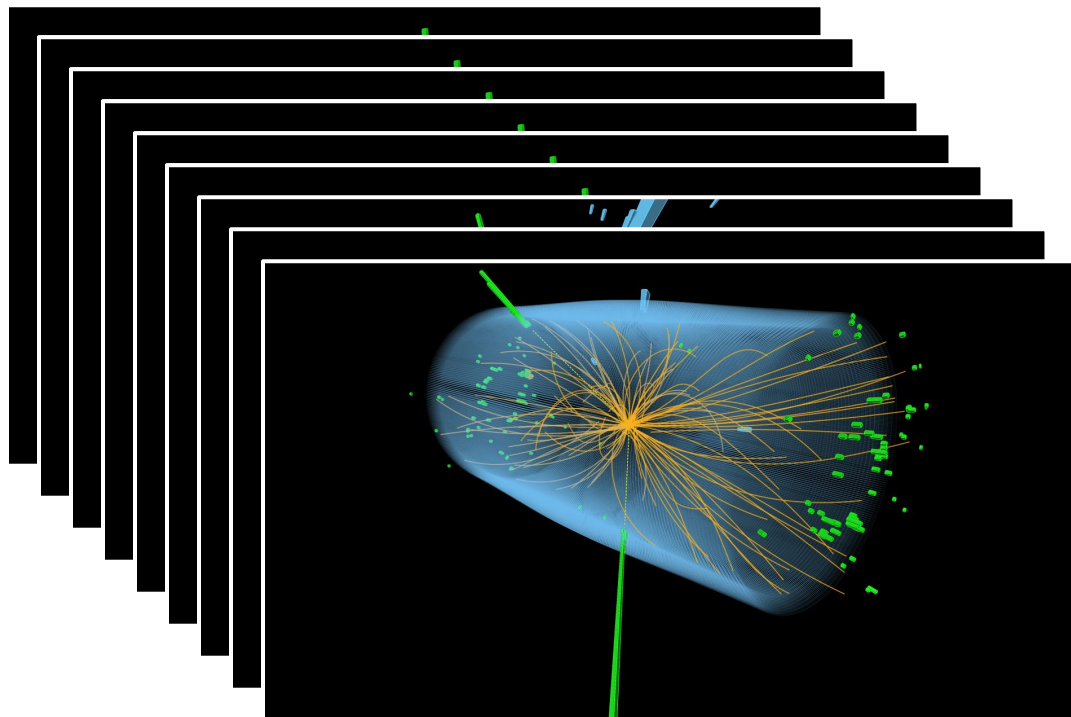
Detectores modernos



Qué ocurre
luego de
reconstruir
estos eventos?



Qué es lo que medimos?



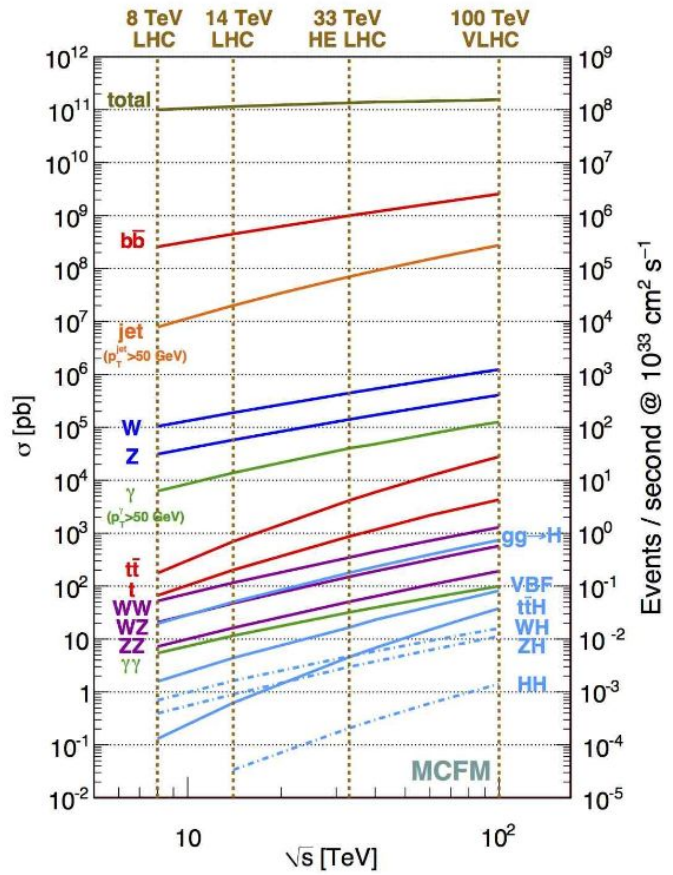
La mitad de nuestro trabajo es la reconstrucción de objetos físicos.

Podemos pensar que es como tomar ***fotografías de cada colisión***.

Nuestro trabajo ahora es **analizar estos datos** y tratar de encontrar o confirmar nuevos modelos físicos.

Cómo encontrar una aguja en un pajar?

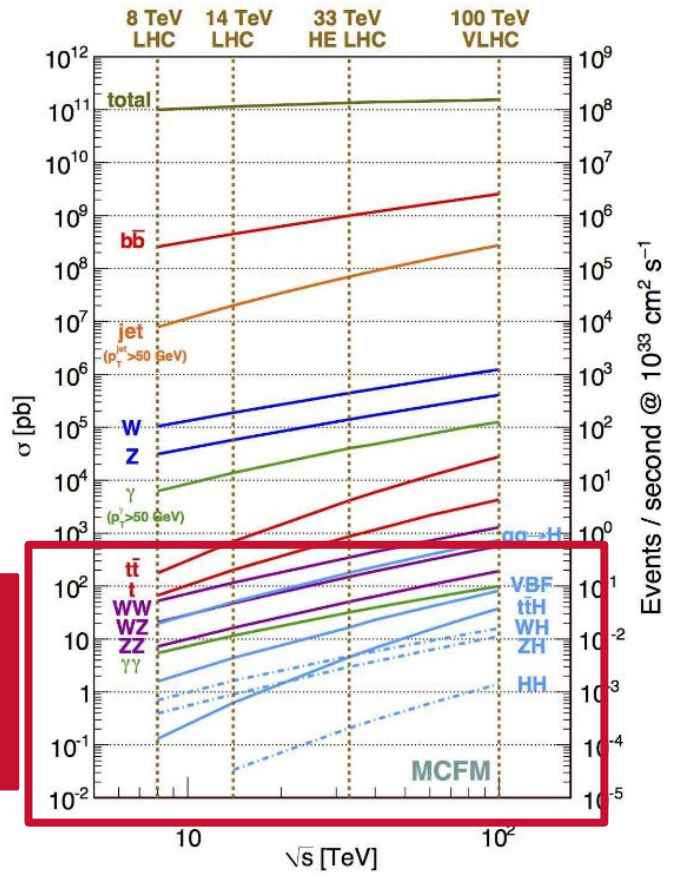
Sección eficaz:
Probabilidad de producir un proceso bajo ciertas condiciones



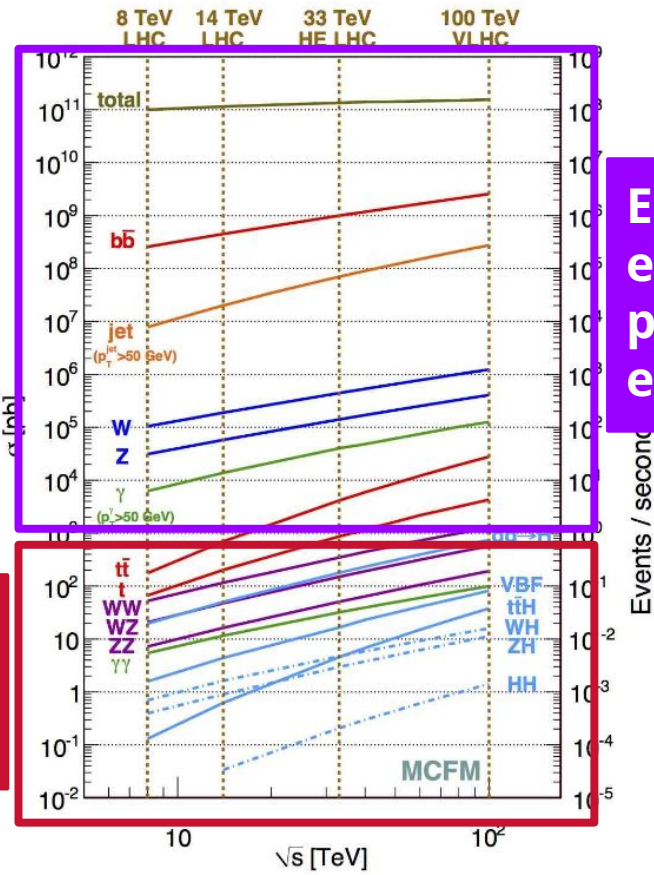
Luminosidad:
Cuantifica el número de eventos detectados en el tiempo por un proceso con cierta sección eficaz.

Cómo encontrar una aguja en un pajar?

Estamos buscando procesos en este rango






















Cómo encontrar una aguja en un pajar?



Entonces debemos eliminar (o identificar) procesos conocidos en este otro rango

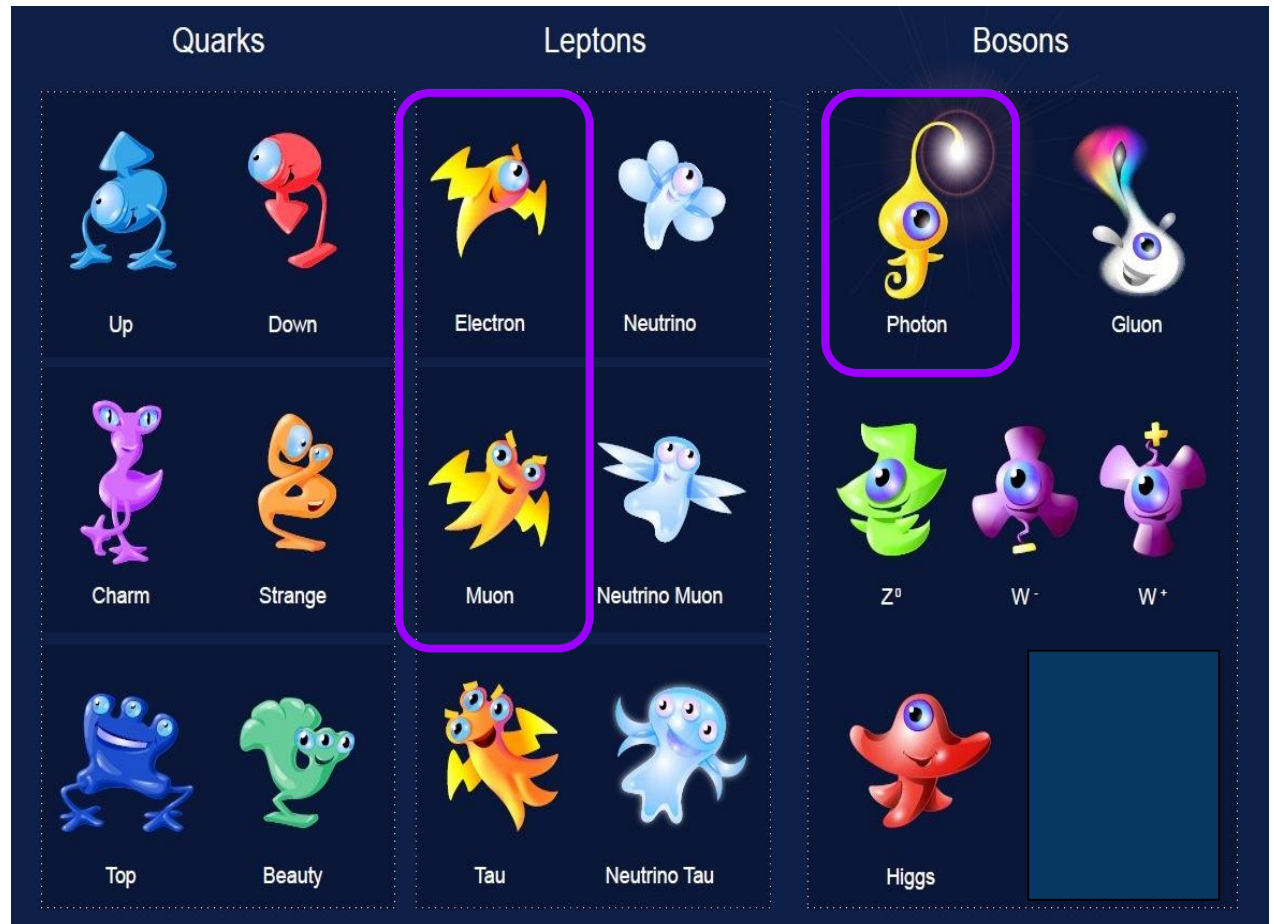
Estamos buscando procesos en este rango

Cómo vemos estas partículas?

Quarks		Leptons		Bosons		
 Up	 Down	 Electron	 Neutrino	 Photon	 Gluon	
 Charm	 Strange	 Muon	 Neutrino Muon	 Z ⁰	 W ⁻	 W ⁺
 Top	 Beauty	 Tau	 Neutrino Tau	 Higgs		

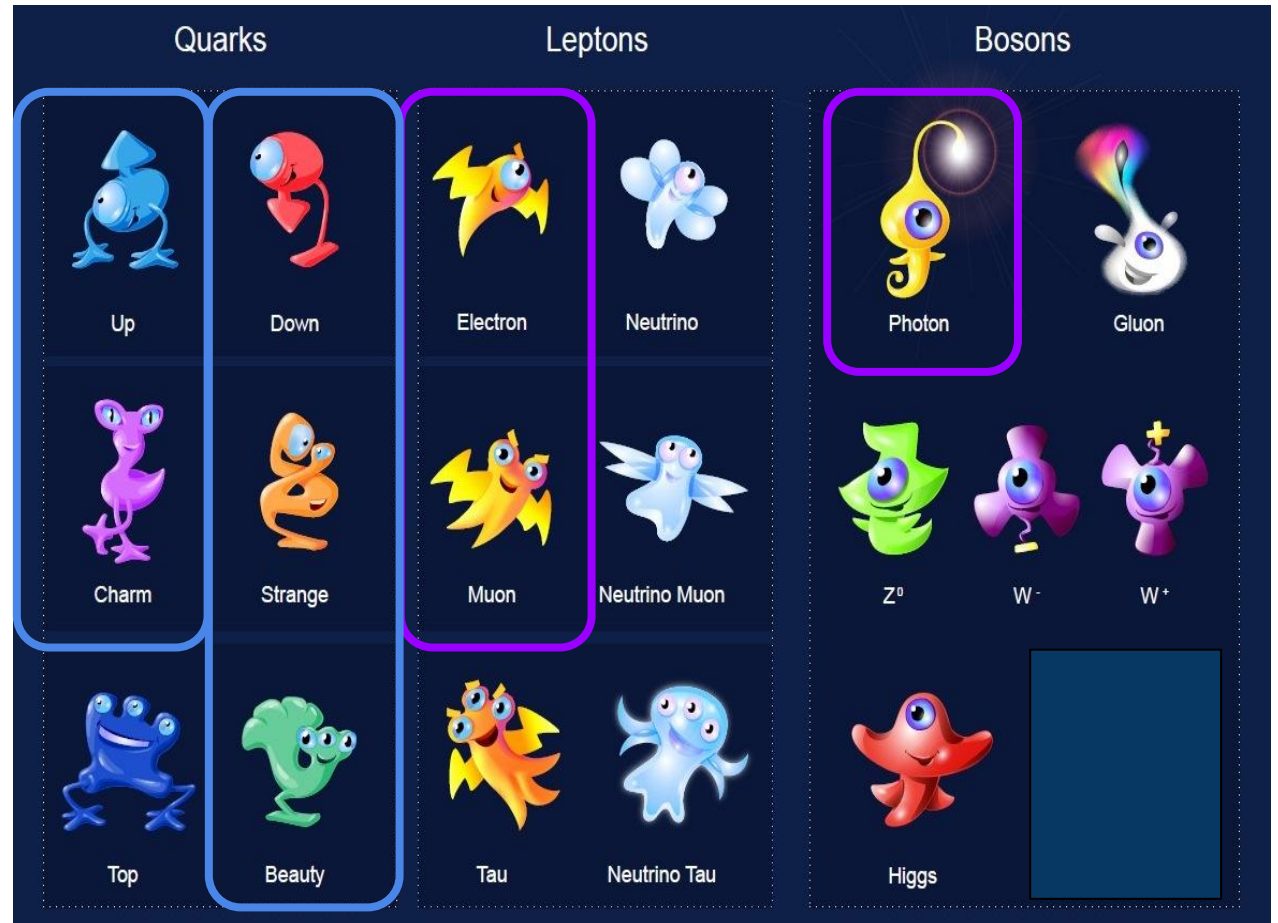
En partículas no estables, observamos su decaimiento

Las partículas que observamos directamente son el **electrón, muón y fotón**.



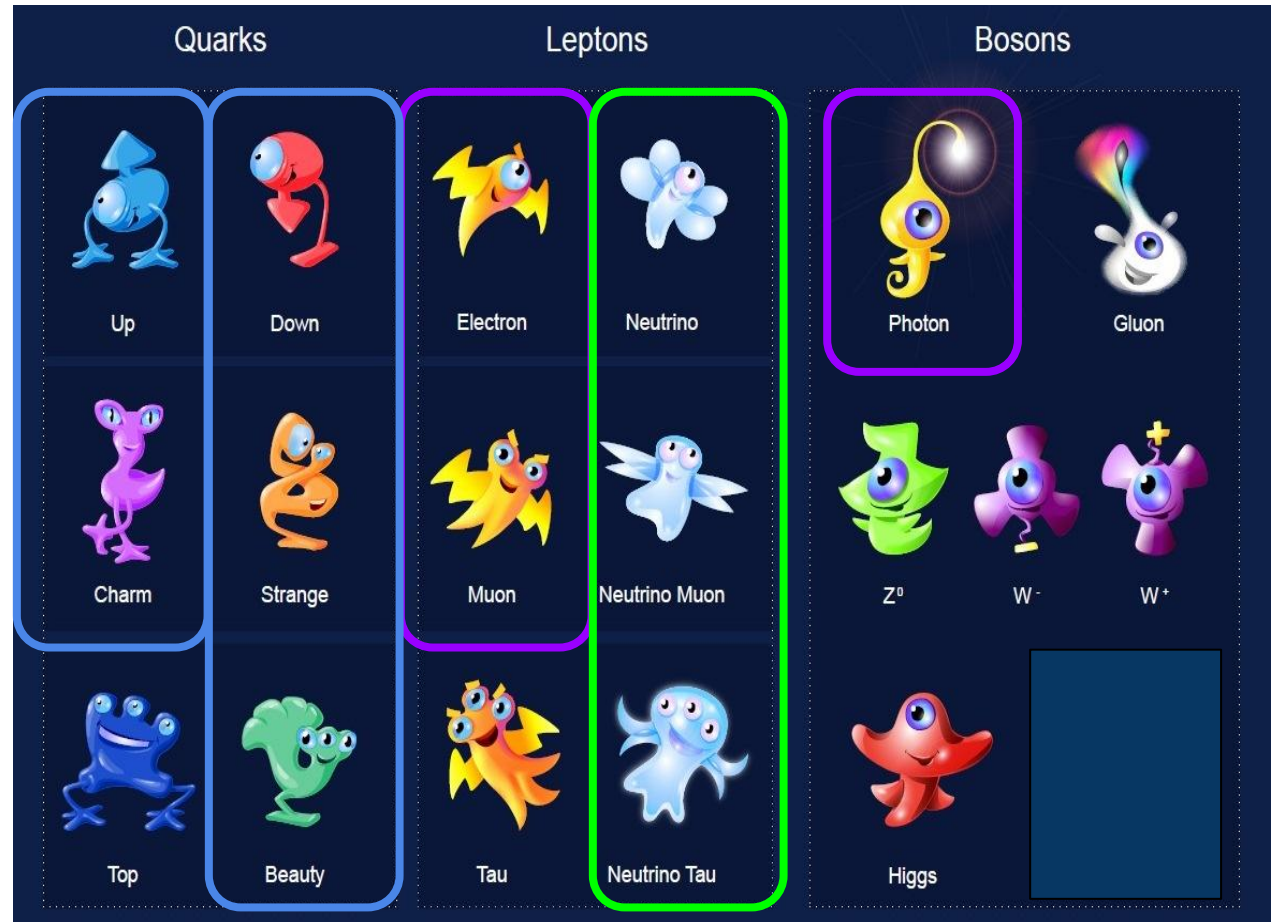
En partículas no estables, observamos su decaimiento

Los quarks no pueden estar solos, pero observamos partículas compuestas de quarks (**hadrones**).



En partículas no estables, observamos su decaimiento

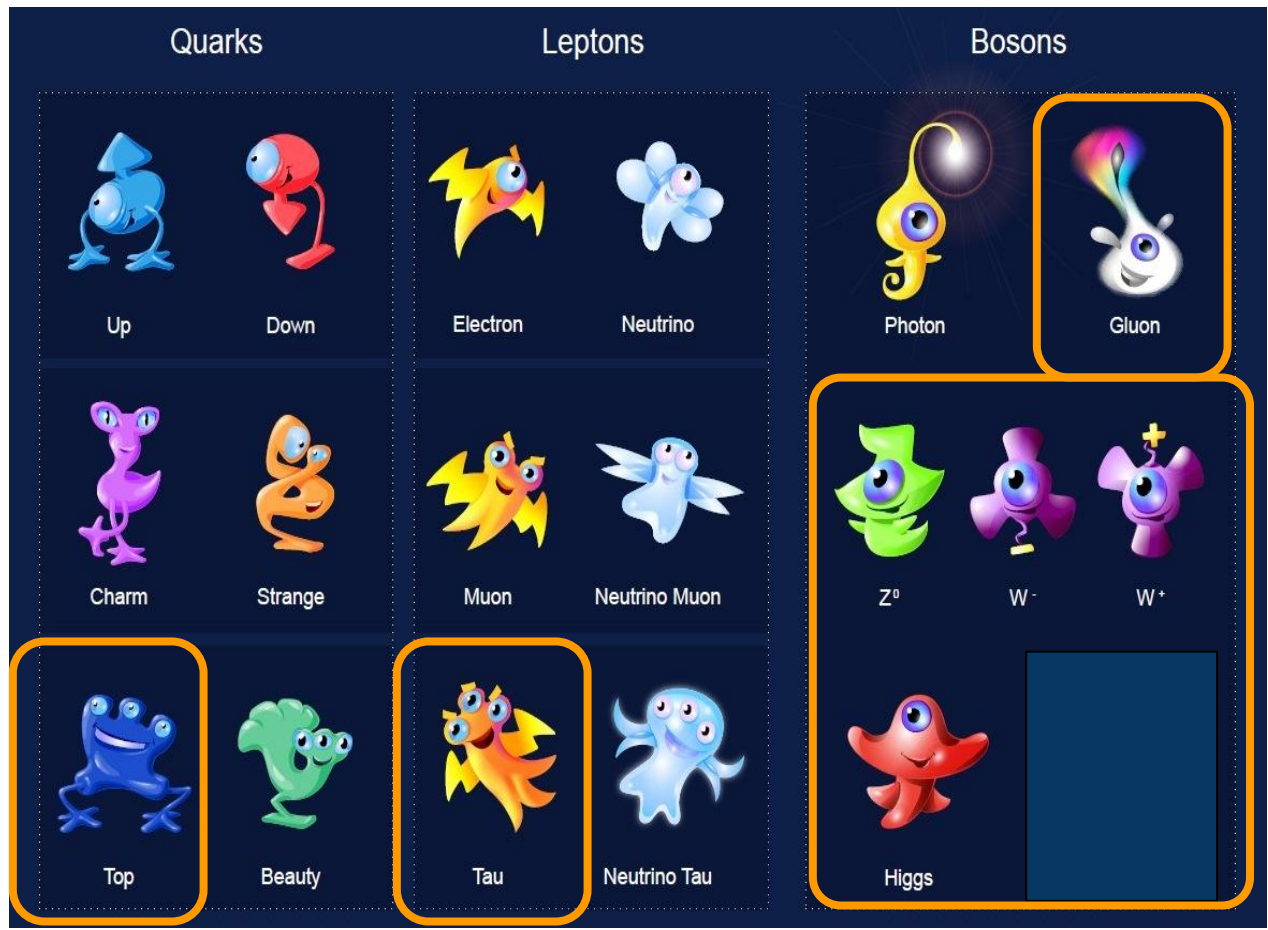
A los **neutrinos** no los observamos directamente porque no interactúan con la materia, pero podemos inferir su presencia a través de la falta de energía.



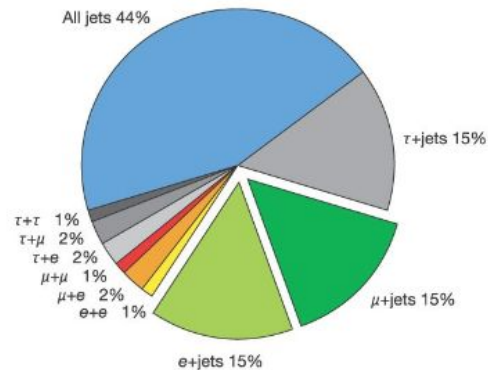
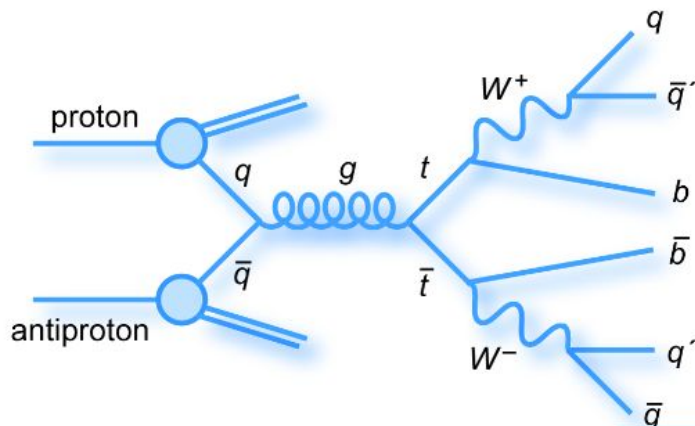
En partículas no estables, observamos su decaimiento

Y el **resto**?

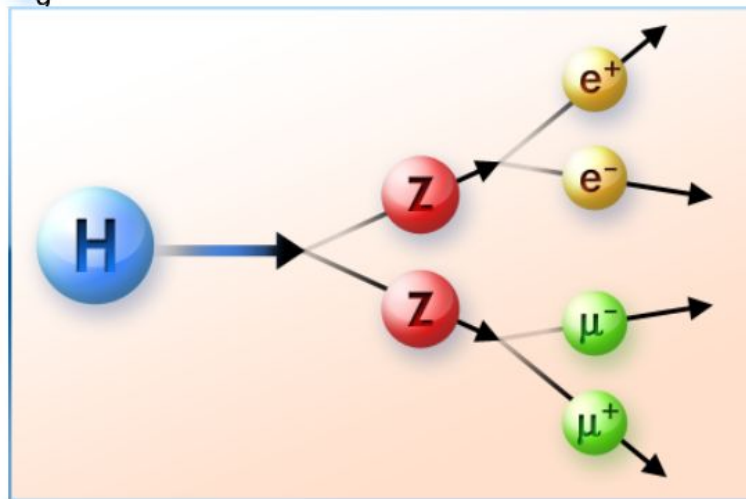
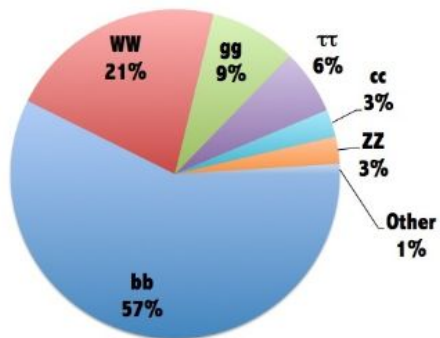
Las otras partículas las observamos mediante su decaimiento a partículas más estables.



Un par de ejemplos

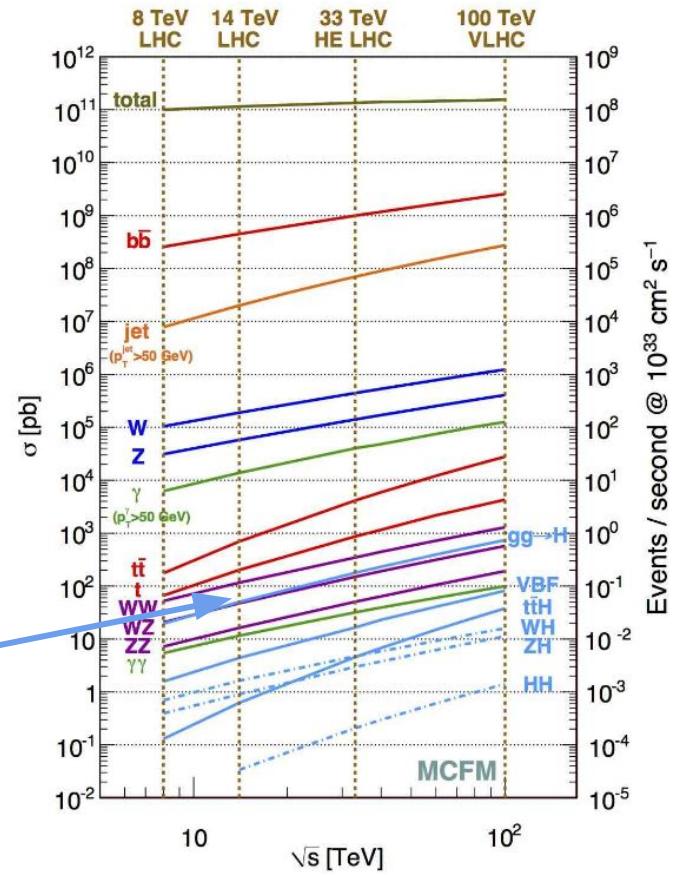
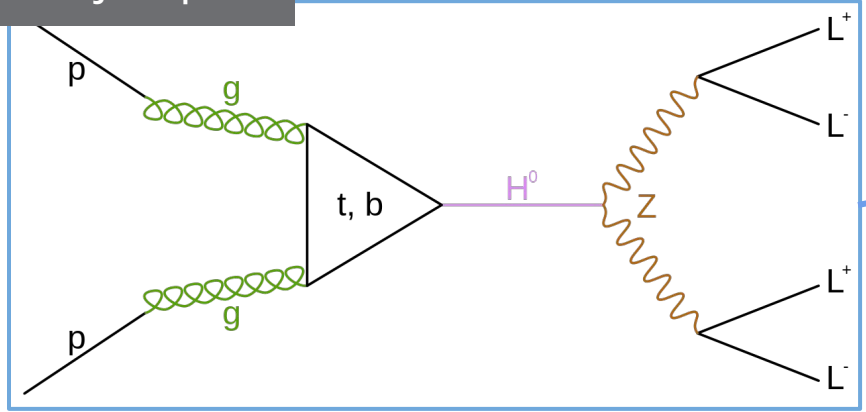


Higgs decays at $m_H=125\text{GeV}$



Cómo obtenemos lo que estamos buscando?

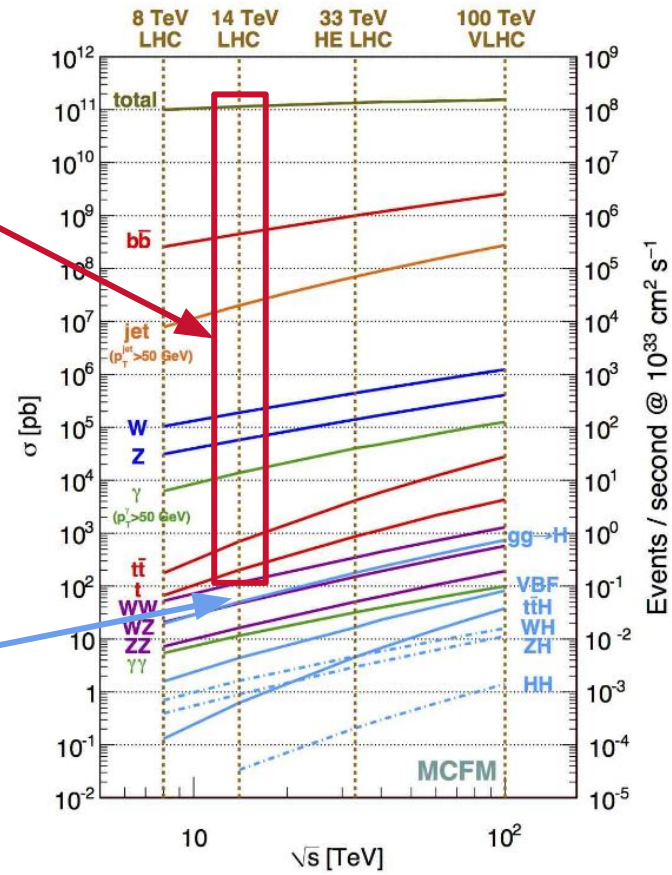
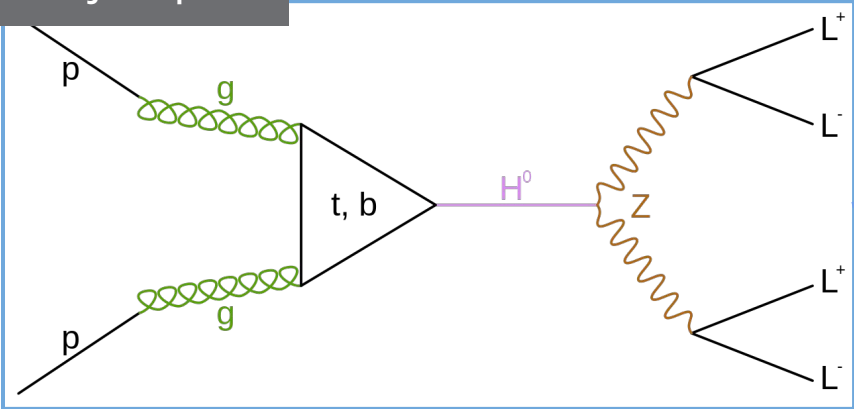
Por ejemplo:



Cómo obtenemos lo que estamos buscando?

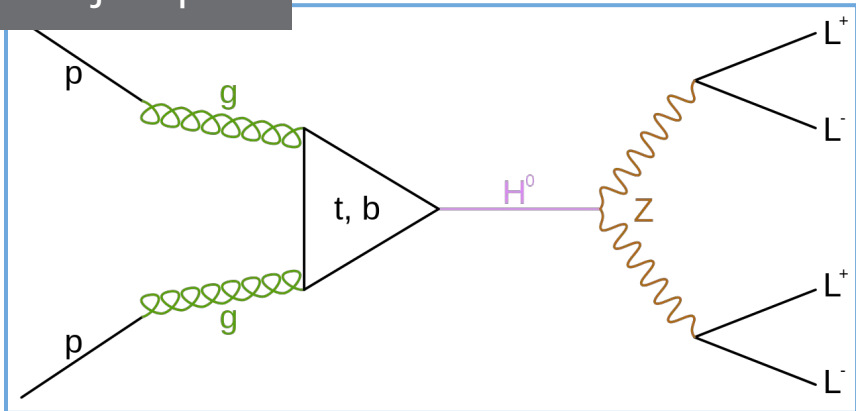
Debemos identificar o **modelar** todos estos otros procesos

Por ejemplo:

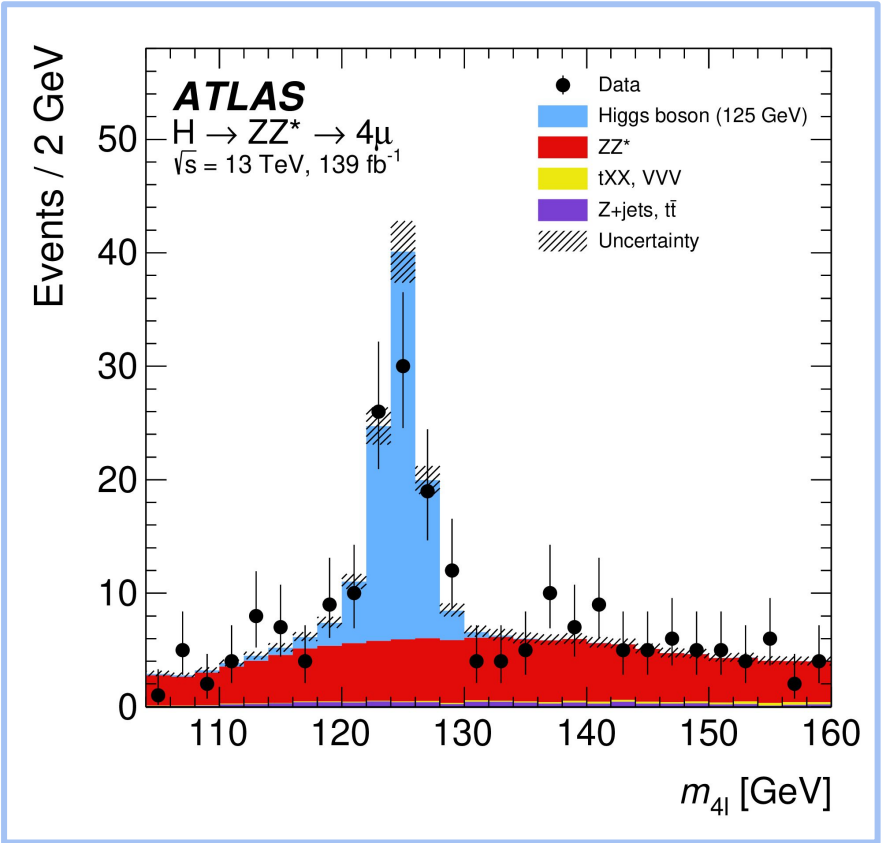


Cómo obtenemos lo que estamos buscando?

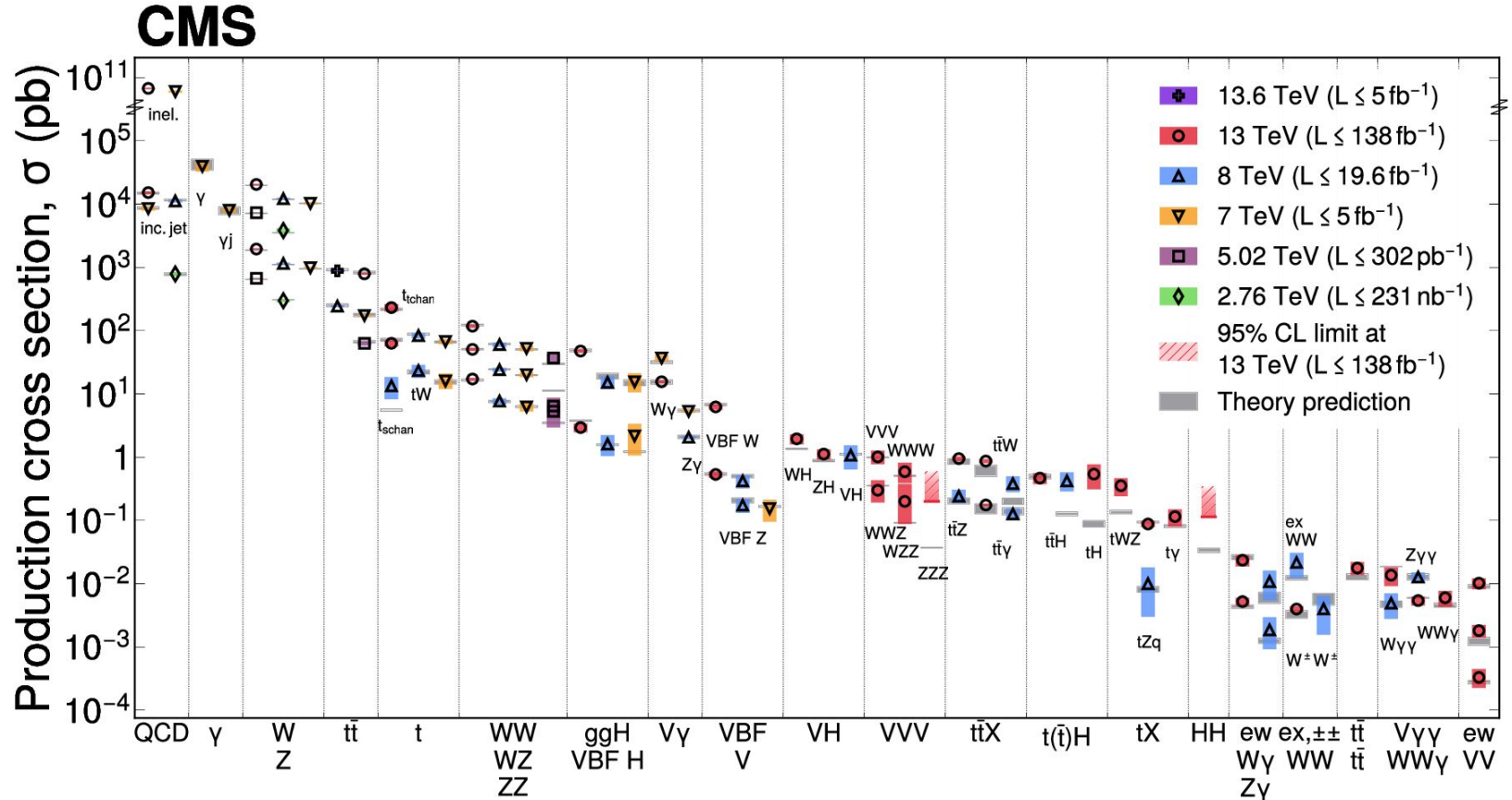
Por ejemplo:



Usamos simulaciones de Monte Carlo para los procesos del modelo estándar que conocemos, y los comparamos con los datos que tomamos.

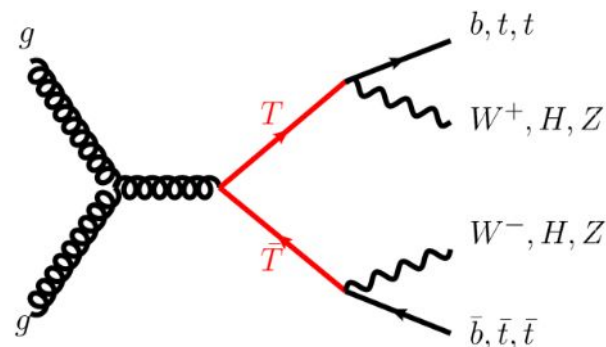
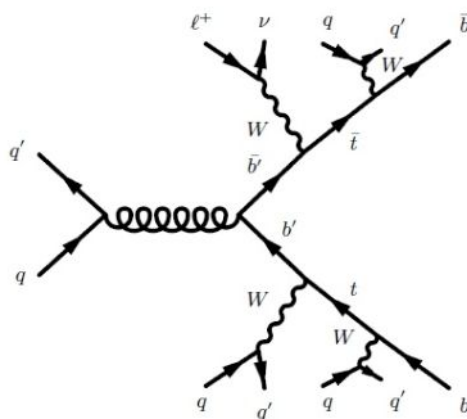
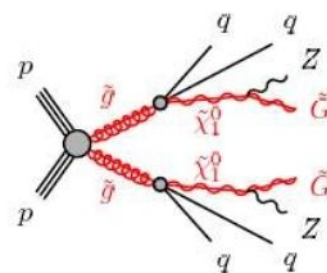
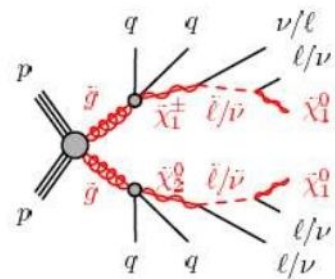
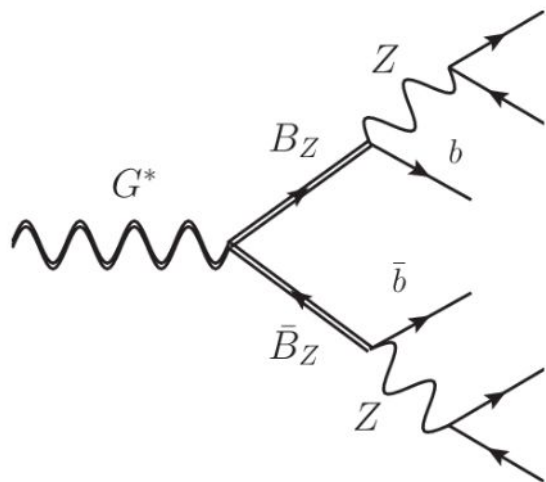


Qué hemos encontrado?

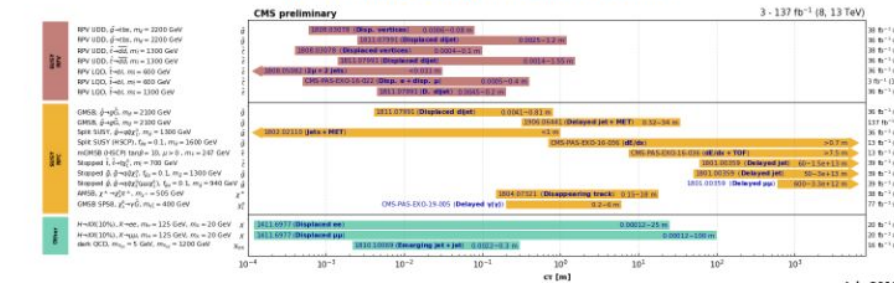
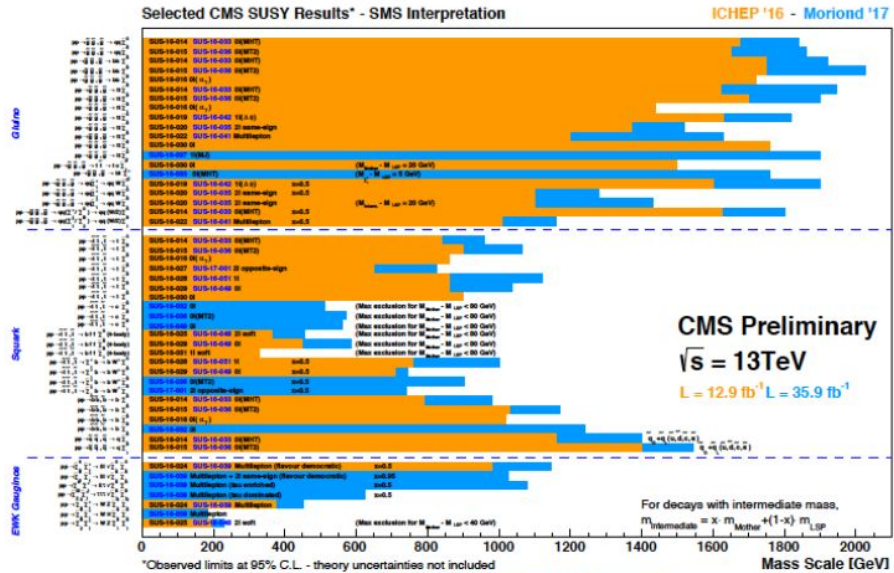


Búsquedas de nueva física

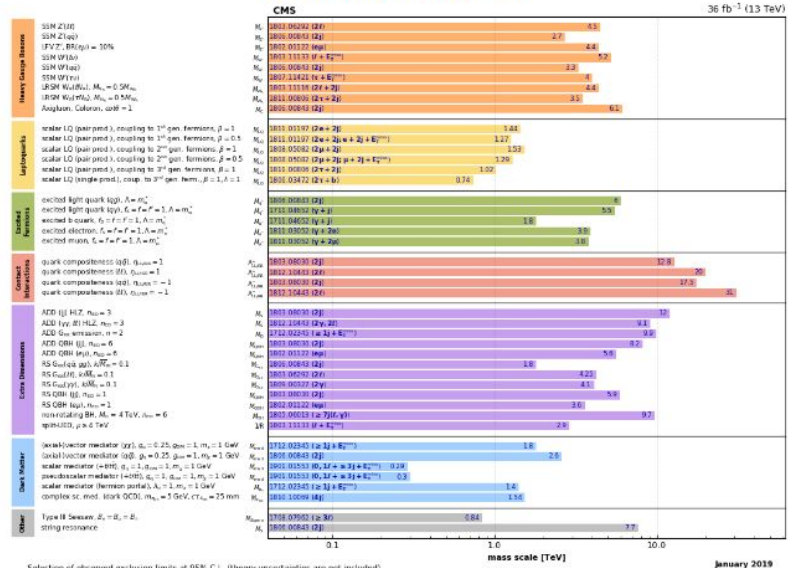
Una vez que conocemos las propiedades de partículas en el ME, podemos utilizarlas para buscar nueva física!



Búsquedas de nueva física



Overview of LMS EXU results



Como no tenemos indicios donde encontrar nueva física, debemos buscar en TODOS los lugares: supersimetría, energía oscura, leptoquarks, extra dimensiones, fermiones excitados, etc, etc...

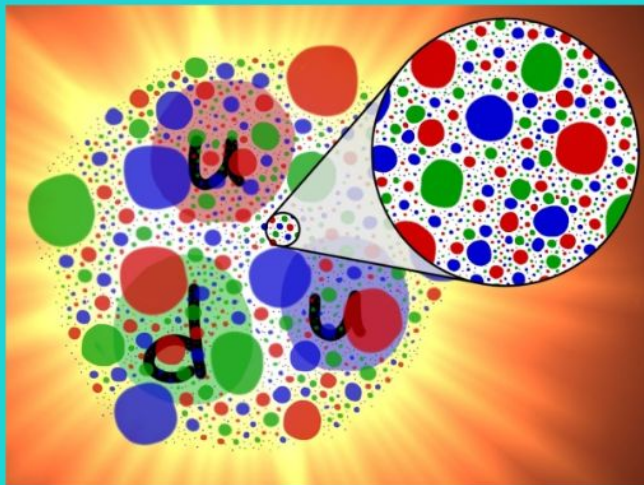
Y para finalizar...

- Muchos nuevos conceptos han sido descritos, sin embargo espero que hayan podido asimilar mucho de este contenido.
- Existen muchos retos y satisfacciones en nuestro trabajo, en esta charla solo les he mostrado una breve introducción.
- **Ustedes son la primera trinchera, si queremos tener nuevos brillantes colegas. *Ustedes son los primeros en motivarlos y mostrarles el camino.***
- Espero que hayan aprendido un poco mas de cómo hacemos nuestro trabajo y que disfruten del resto de charlas en CERN.

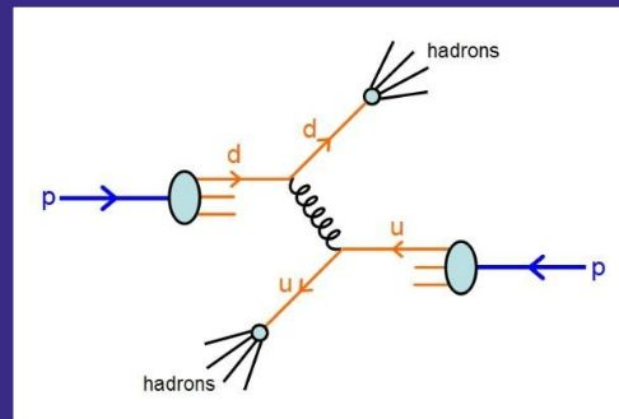
Backup slides

Qué es un protón?

Qué es un protón?



Cómo interactúan en las colisiones?

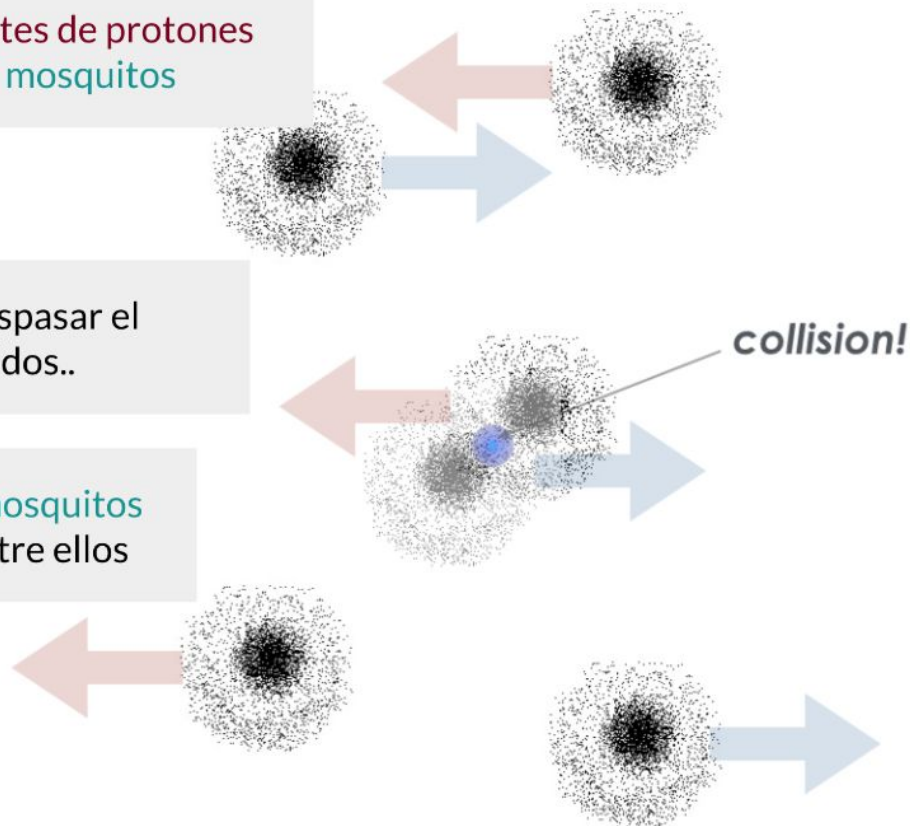


Qué ocurre en las colisiones?

Imagina a los **paquetes de protones** como **enjambres de mosquitos**

la mayoría van a traspasar el enjambre inadvertidos..

pero de vez en cuando dos **mosquitos (protones)** van a cruzarse entre ellos



Missing Energy Transverse

En el plano transversal de los detectores, la energía debe conservarse. Sin embargo, muchas ocasiones observamos un desbalance de energía que puede ser atribuido a partículas que no interactúan con el detector (por ejemplo: neutrinos).

A este desbalance de energía lo llamamos **MET** (missing transverse energy).

