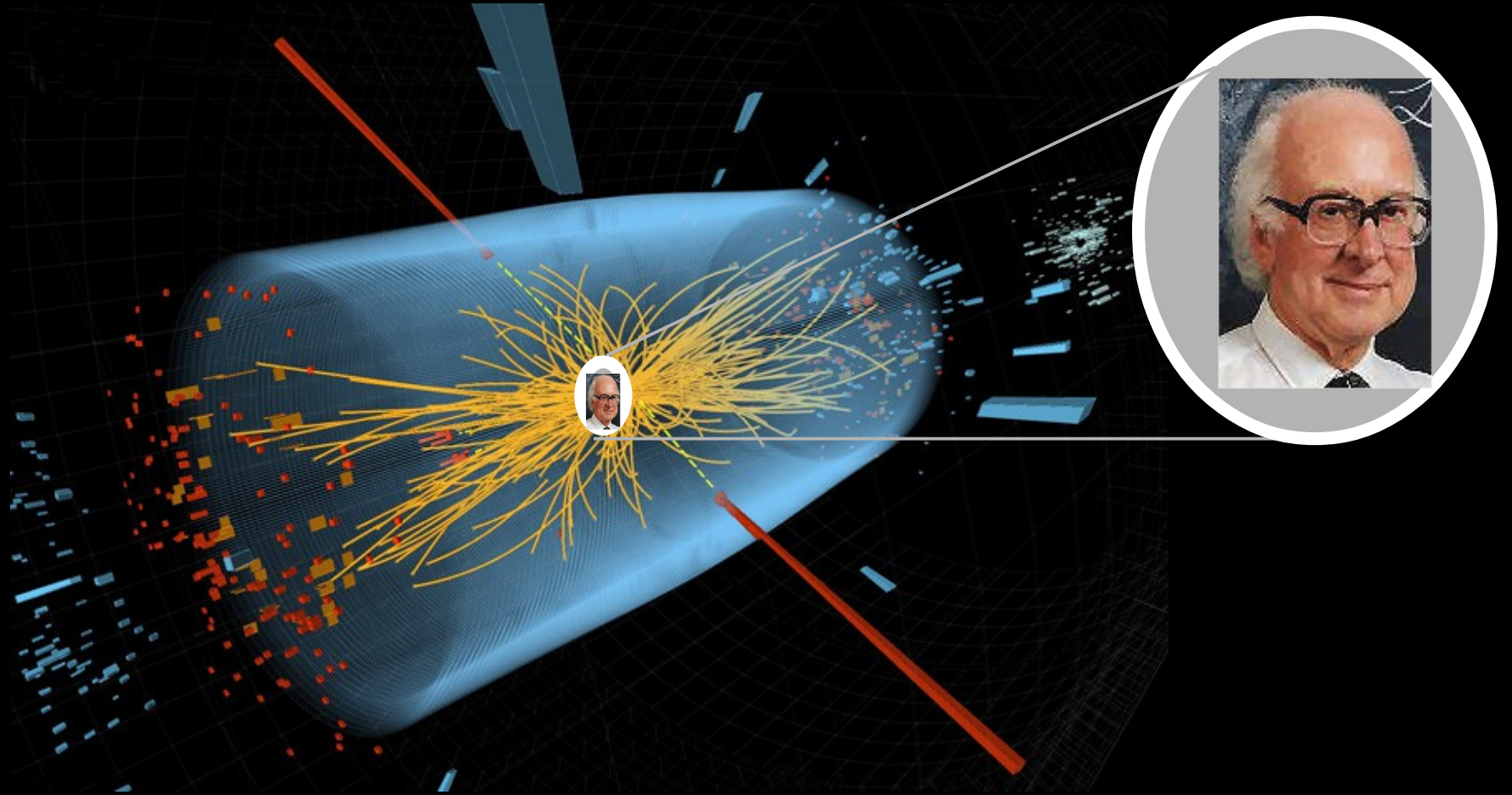


# La partícula de Higgs



Gabriel González Sprinberg  
Facultad de Ciencias, Uruguay

# La partícula de Higgs

1. Dónde
2. Qué
3. Cómo
4. Futuro

# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

**CERN:** Laboratorio europeo para física de partículas, 1954

**LHC:** Gran Colisionador de hadrones, 2008

Estudios

Aprobación

Inauguración

Higgs

Cierre

1980 ↑

1994 ↑

2008 ↑

2012 ↑

2030? ↑



# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

### CERN/LHC en números:

- Colisiones **PROTON – PROTON** a muy alta energía, suficiente para crear 14.000 protones en cada choque!
- Haces de diámetro 1/3 cabello
- Potencia consumida LHC: ~120 MW (CERN 230 MW)  
(10% del cantón de Ginebra, de 500.000 habitantes)

# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

### CERN/LHC en números:

- 23 países europeos miembros  
8 observadores (EEUU, China, Japon, India, Rusia...)
- $10.000 \times 10^6$  USD construcción, presupuesto 2012:  $1100 \times 10^6$  USD
- Personal: 2400 (1000 técnicos, 1000 científicos+ingenieros, 400 adm.+servicios)  
300 + 300 Universidades e Institutos de países miembros / no miembros
- Físicos experimentales, 10.000  
( 6500 de países miembros, 1600 USA, 900 Rusia, 164 A.Latina...)



# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

27 km

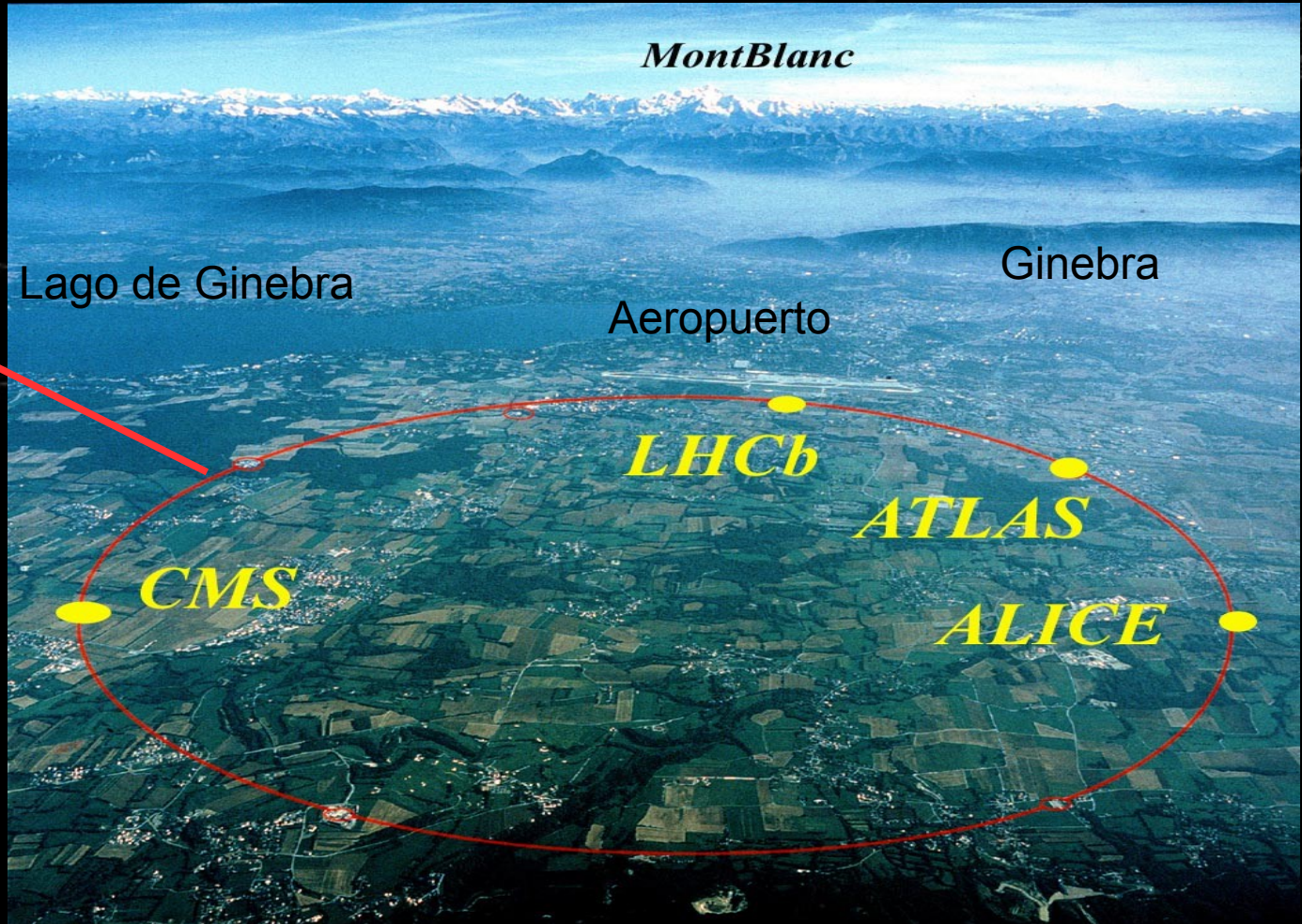
50 a 150 m  
profundidad

11.000 vueltas  
por segundo

800 millones  
colisiones por  
segundo

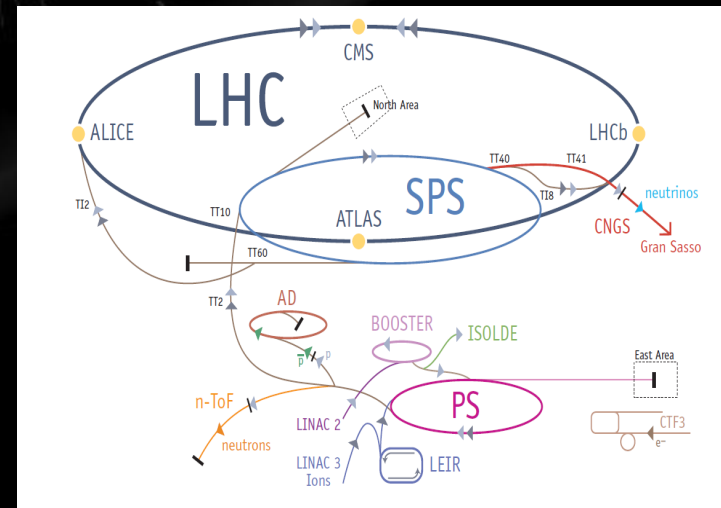
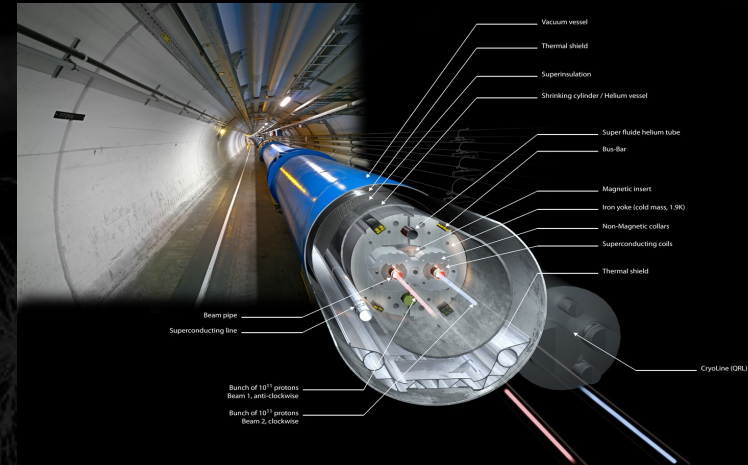
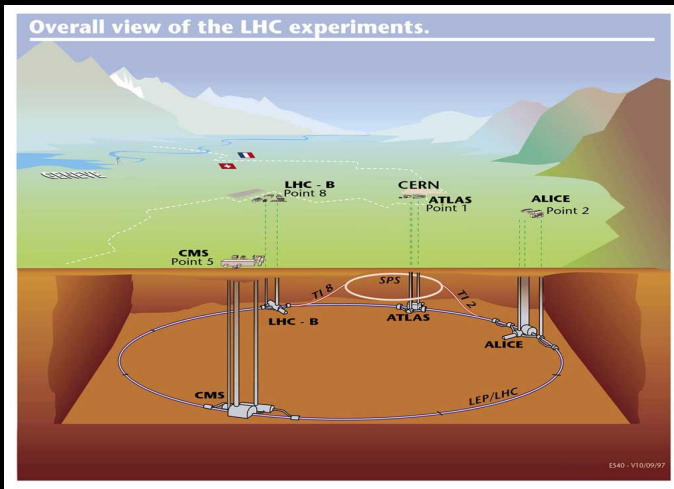
2800 grupos de  
100.000.000.000  
protones

7 metros entre  
grupos



# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

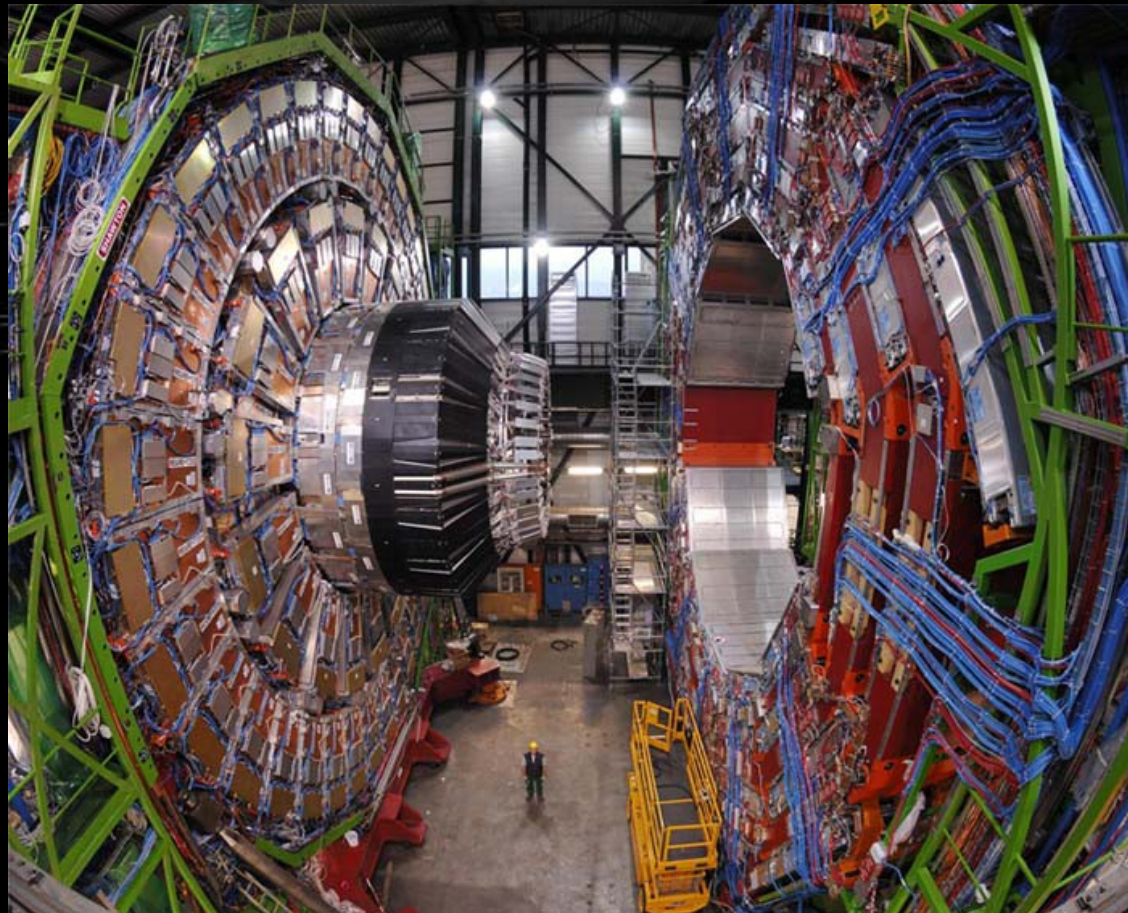




# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

**ATLAS, A Toroidal Large Apparatus:** Higgs + nuevas partículas

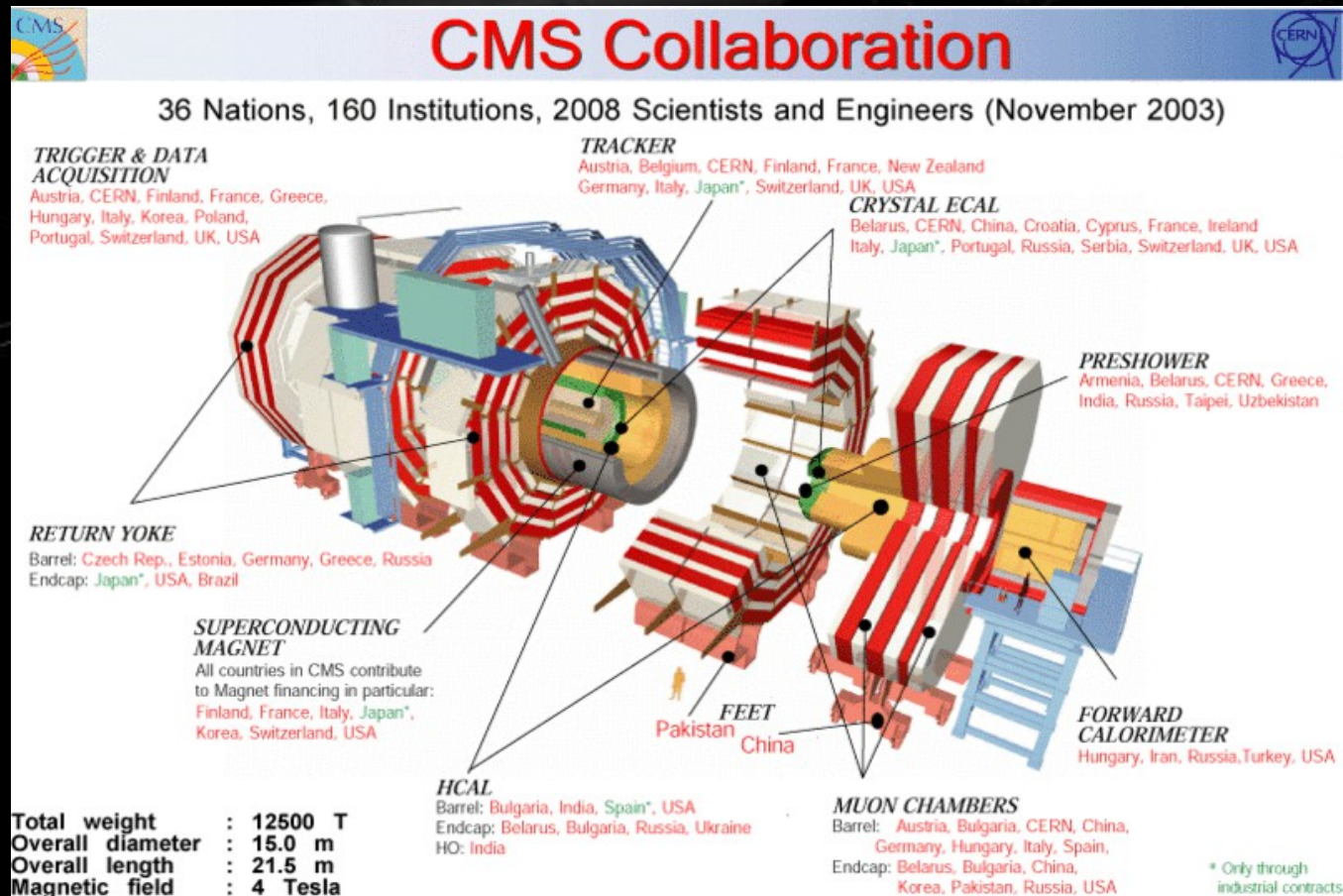




# La partícula de Higgs

## 1. Dónde

### CMS, COMPACT MUON SOLENOID: Higgs + nuevas partículas



# La partícula de Higgs

## 1. Dónde



ATLAS

**Objetivos generales**

3000 científicos, 34 países



CMS

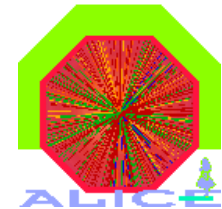
**Objetivos generales**

2500 científicos, 150 instituciones



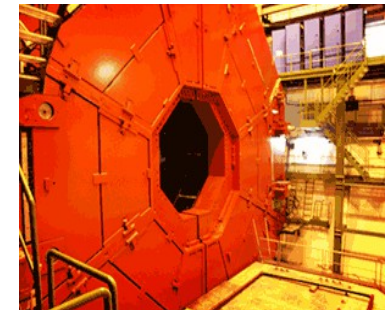
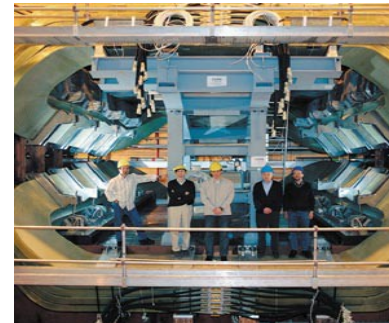
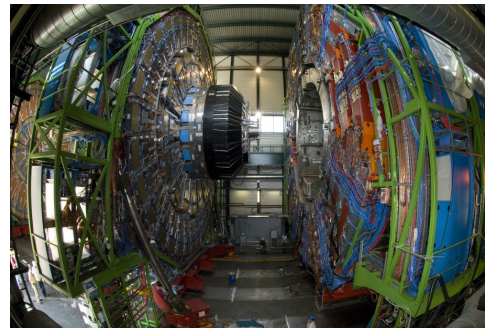
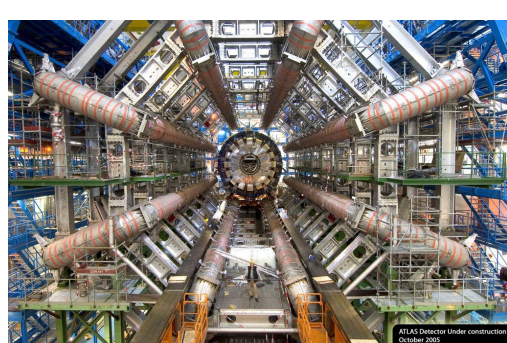
LHCb

**Diferencia materia  
antimateria**



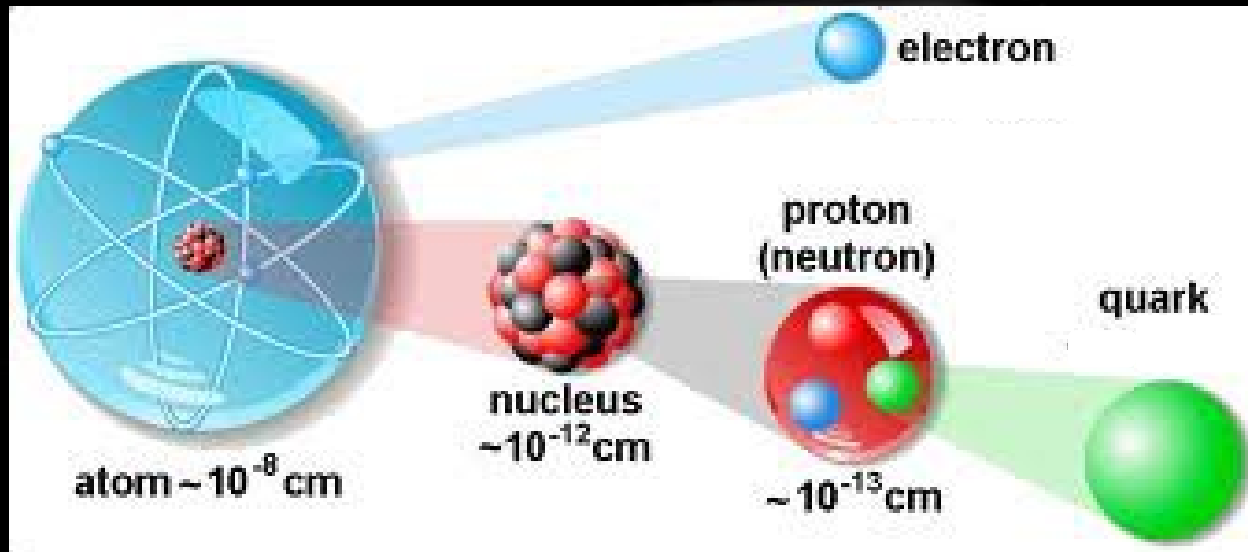
ALICE

**Iones plomo  
Big Bang**



# La partícula de Higgs

## 2. Qué



Materia: **electrones, protones, neutrones...**

Fuerzas: **fotones, ...**



# La partícula de Higgs

## 2. Qué

Hadrones:

formados por quarks

(protones, neutrones...)

Leptones:

Electrones, neutrinos, ...

Mediadores:

fotones, ...

| MODELO ESTÁNDAR |                              |                            |                            |                         |
|-----------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                 | I                            | II                         | III                        |                         |
| masa            | 2.4 MeV/c <sup>2</sup>       | 1.27 GeV/c <sup>2</sup>    | 171.2 GeV/c <sup>2</sup>   | 0                       |
| carga           | $\frac{2}{3}$                | $\frac{2}{3}$              | $\frac{2}{3}$              | 0                       |
| espín           | $\frac{1}{2}$                | $\frac{1}{2}$              | $\frac{1}{2}$              | 1                       |
| nombre          | u<br>up                      | c<br>charm                 | t<br>top                   | $\gamma$<br>photon      |
| Quarks          | 4.8 MeV/c <sup>2</sup>       | 104 MeV/c <sup>2</sup>     | 4.2 GeV/c <sup>2</sup>     | 0                       |
|                 | $-\frac{1}{3}$               | $-\frac{1}{3}$             | $-\frac{1}{3}$             | 0                       |
|                 | $\frac{1}{2}$                | $\frac{1}{2}$              | $\frac{1}{2}$              | 1                       |
|                 | d<br>down                    | s<br>strange               | b<br>bottom                | g<br>gluon              |
| Leptons         | <2.2 eV/c <sup>2</sup>       | <0.17 MeV/c <sup>2</sup>   | <15.5 MeV/c <sup>2</sup>   | 91.2 GeV/c <sup>2</sup> |
|                 | 0                            | 0                          | 0                          | 0                       |
|                 | $\frac{1}{2}$                | $\frac{1}{2}$              | $\frac{1}{2}$              | 1                       |
|                 | $\nu_e$<br>electron neutrino | $\nu_\mu$<br>muon neutrino | $\nu_\tau$<br>tau neutrino | $Z^0$<br>Z boson        |
| Leptons         | 0.511 MeV/c <sup>2</sup>     | 105.7 MeV/c <sup>2</sup>   | 1.777 GeV/c <sup>2</sup>   | 80.4 GeV/c <sup>2</sup> |
|                 | -1                           | -1                         | -1                         | $\pm 1$                 |
|                 | $\frac{1}{2}$                | $\frac{1}{2}$              | $\frac{1}{2}$              | 1                       |
|                 | e<br>electron                | $\mu$<br>muon              | $\tau$<br>tau              | $W^\pm$<br>W boson      |
|                 |                              |                            |                            | Gauge Bosons            |

# La partícula de Higgs

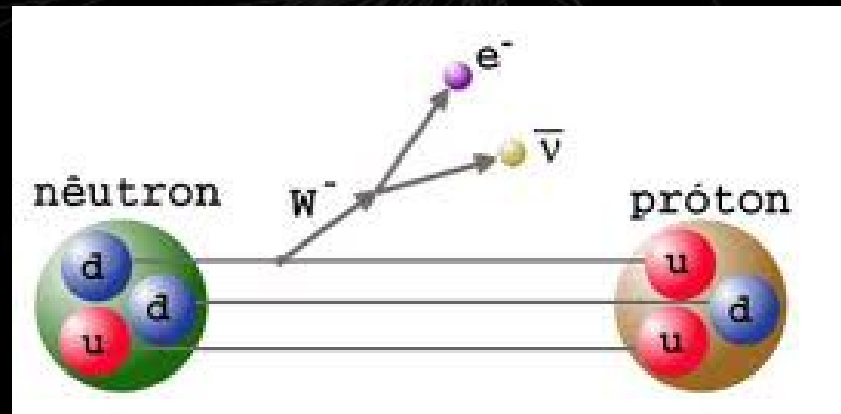
## 2. Qué

Partículas estables: no se desintegran espontáneamente  
electrón – protón – fotón ....

Partículas inestables: se desintegran espontáneamente  
neutrón – piones - muon, .....algunos cientos!

Vida media

neutrón 900 s

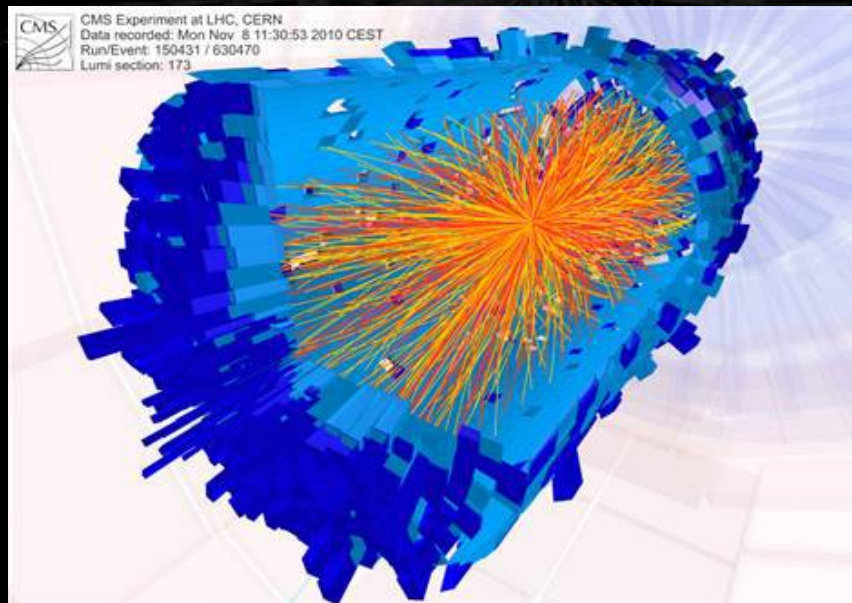


# La partícula de Higgs

## 2. Qué

### Vida media

|                 |                                         |          |
|-----------------|-----------------------------------------|----------|
| Piones cargados | 0,000 000 28                            | segundos |
| Piones neutros  | 0.000 000 000 000 000 084               | segundos |
| Delta           | 0.000 000 000 000 000 000 000 000 005 6 | segundos |





# La partícula de Higgs

## 2. Qué

### Modelo Estándar:

Teoría cuántica que describe a las partículas elementales y sus interacciones

#### Fuerzas

electromagnéticas  
débiles (radioactividad)  
fuertes (nucleares)

Construido a partir de las simetrías y leyes de conservación que se observan en la naturaleza

Conservación de la carga eléctrica: electrodinámica cuántica

# La partícula de Higgs

## 2. Qué

Modelo Estándar:

Las simetrías son imprescindibles !!!

Masa de las partículas elementales:

Los términos que representan a la masa de las partículas en las ecuaciones.....

son **INCOMPATIBLES** con las simetrías del Modelo Estándar !!!!

# La partícula de Higgs

## 2. Qué

### Modelo Estándar y simetrías

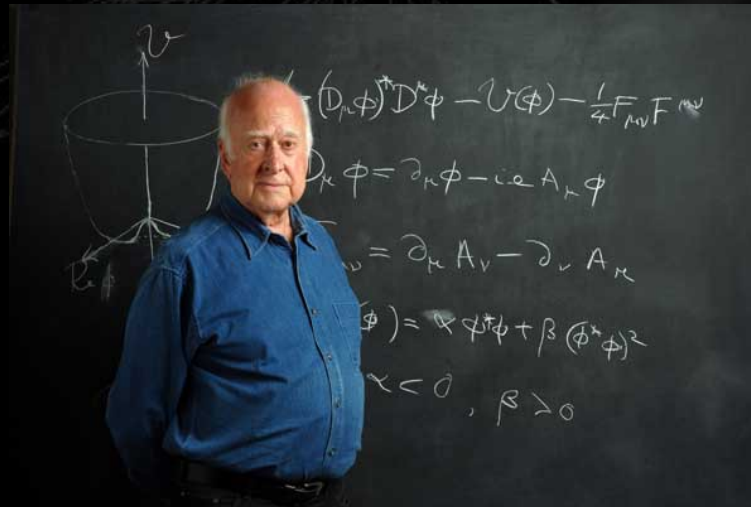
Paridad  $x \rightarrow -x$

$x^2 \rightarrow (-x)^2$  **SI**  
 $x^3 \rightarrow (-x)^3$  **NO**

$$\mathcal{L} = \bar{\Psi}(x)(i\gamma^\mu \mathcal{D}_\mu - m)\Psi(x) - \frac{1}{4}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}$$

masa

### Mecanismo de Higgs



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{D}\psi + h.c. + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

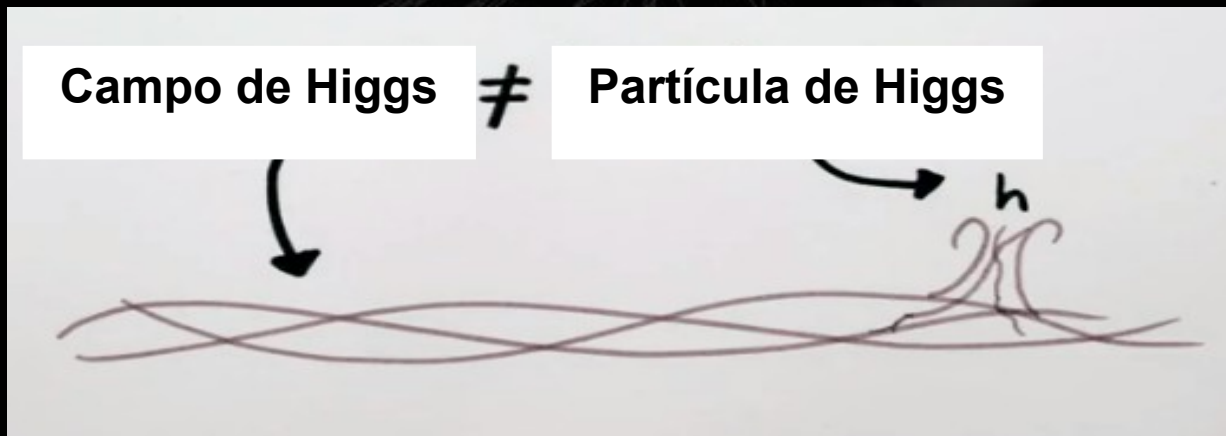
# La partícula de Higgs

## 2. Qué

Mecanismo de Higgs:

Permite que las partículas tengan MASA  
pero se necesita...

Campo de Higgs  
Partícula de Higgs





# La partícula de Higgs

## 2. Qué

**MASA**

de las partículas tiene  
**origen**  
en que el

**CAMPO DE HIGGS**  
existe en todo el espacio

Las interacciones entre las partículas elementales y  
el campo de Higgs  
generan la masa de TODAS las partículas

# La partícula de Higgs

## 2. Qué



# La partícula de Higgs

## 2. Qué



# La partícula de Higgs

## 2. Qué

La partícula de Higgs:

bosón

fermiones



| MODELO ESTÁNDAR |                                           |                                       |                                      |                                 |
|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| masa            | 2.4 MeV/c <sup>2</sup>                    | 1.27 GeV/c <sup>2</sup>               | 171.2 GeV/c <sup>2</sup>             | 0                               |
| carga           | $\frac{2}{3}$                             | $\frac{2}{3}$                         | $\frac{2}{3}$                        | 0                               |
| espín           | $\frac{1}{2}$                             | $\frac{1}{2}$                         | $\frac{1}{2}$                        | 1                               |
| nombre          | <b>u</b><br>up                            | <b>c</b><br>charm                     | <b>t</b><br>top                      | <b>γ</b><br>photon              |
|                 | Quarks                                    |                                       |                                      |                                 |
|                 | 4.8 MeV/c <sup>2</sup>                    | 104 MeV/c <sup>2</sup>                | 4.2 GeV/c <sup>2</sup>               |                                 |
|                 | $-\frac{1}{3}$                            | $-\frac{1}{3}$                        | $-\frac{1}{3}$                       |                                 |
|                 | $\frac{1}{2}$                             | $\frac{1}{2}$                         | $\frac{1}{2}$                        |                                 |
|                 | <b>d</b><br>down                          | <b>s</b><br>strange                   | <b>b</b><br>bottom                   | <b>g</b><br>gluon               |
|                 | Leptons                                   |                                       |                                      |                                 |
|                 | <2.2 eV/c <sup>2</sup>                    | <0.17 MeV/c <sup>2</sup>              | <15.5 MeV/c <sup>2</sup>             | 91.2 GeV/c <sup>2</sup>         |
|                 | 0                                         | 0                                     | 0                                    | 0                               |
|                 | $\frac{1}{2}$                             | $\frac{1}{2}$                         | $\frac{1}{2}$                        | 1                               |
|                 | <b>ν<sub>e</sub></b><br>electron neutrino | <b>ν<sub>μ</sub></b><br>muon neutrino | <b>ν<sub>τ</sub></b><br>tau neutrino | <b>Z<sup>0</sup></b><br>Z boson |
|                 | 0.511 MeV/c <sup>2</sup>                  | 105.7 MeV/c <sup>2</sup>              | 1.777 GeV/c <sup>2</sup>             | 80.4 GeV/c <sup>2</sup>         |
|                 | 1                                         | -1                                    | -1                                   | $\pm 1$                         |
|                 | $\frac{1}{2}$                             | $\frac{1}{2}$                         | $\frac{1}{2}$                        | 1                               |
|                 | <b>e</b><br>electron                      | <b>μ</b><br>muon                      | <b>τ</b><br>tau                      | <b>W<sup>±</sup></b><br>W boson |
|                 |                                           |                                       |                                      | Gauge Bosons                    |



# La partícula de Higgs

## 2. Qué

bosones:

pueden estar todos  
en un mismo estado



fermiones:

no pueden estar dos de  
ellos en un mismo estado



# La partícula de Higgs

## 2. Qué



# La partícula de Higgs

## 2. Qué

Mecanismo de Higgs: trabajos de 1964 de

Peter Higgs,

Phys.Rev.Lett. 13, 508

Guralnik, Hagen, Kibble

Phys.Rev.Lett. 13, 585

Englert, Brout

Phys.Rev.Lett. 13, 321



¿ partícula de dios ?

# La partícula de Higgs

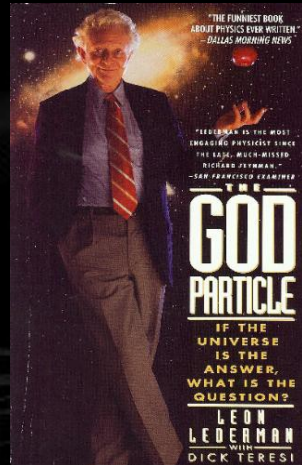
## 2. Qué

*The **goddamn** particle: if the universe is the answer,  
what is the question*

Leon Lederman

# La partícula de Higgs

## 2. Qué



*The ~~god~~damn particle: if the universe is the answer, what is the question*

Leon Lederman

“god particle”



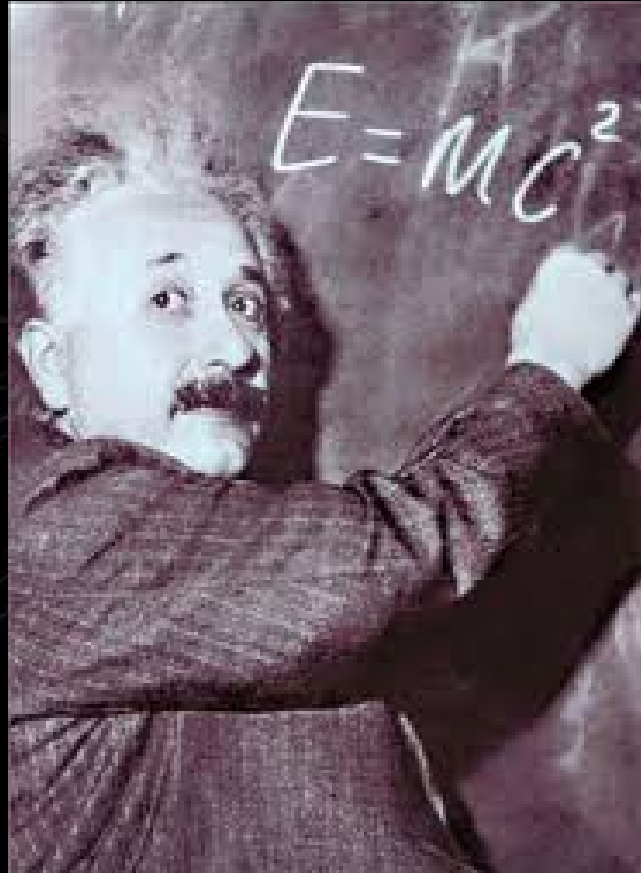
# La partícula de Higgs

## 2. Qué



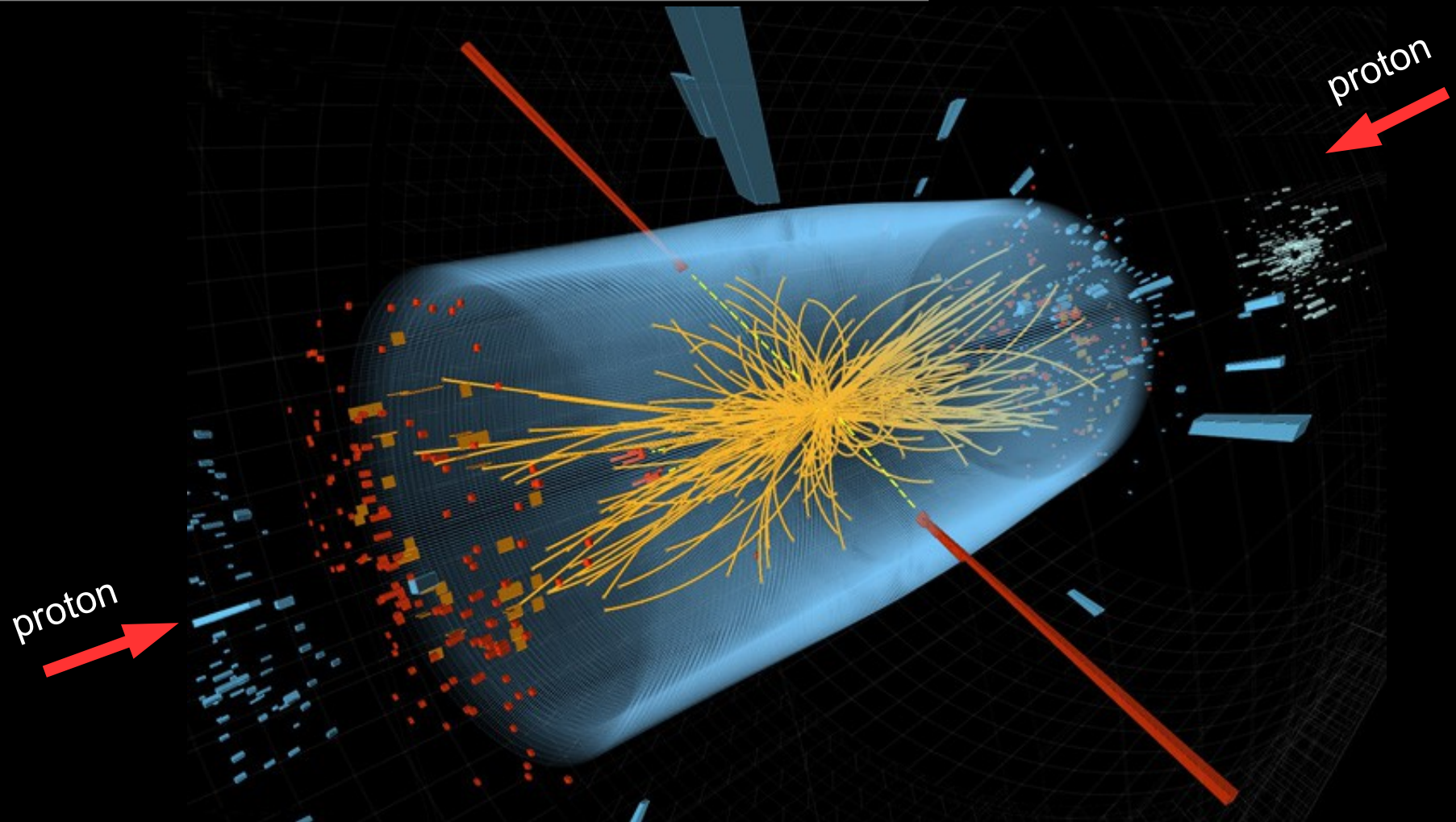
# La partícula de Higgs

## 3. Cómo



# La partícula de Higgs

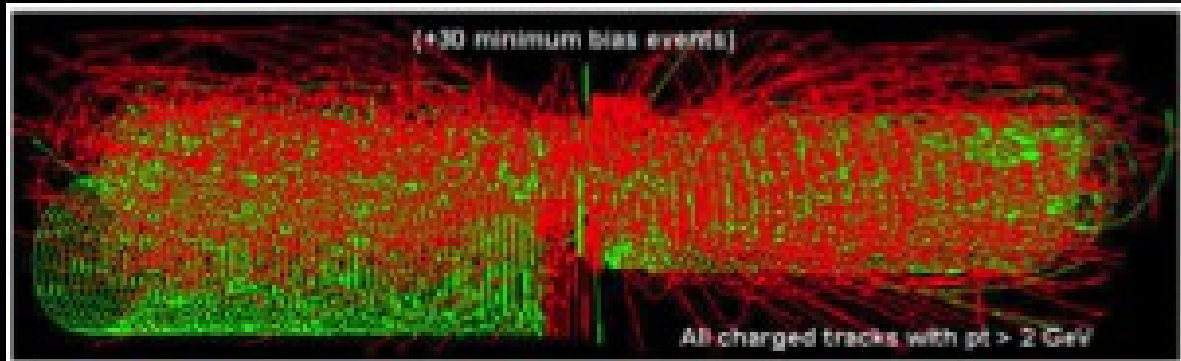
## 3. Cómo



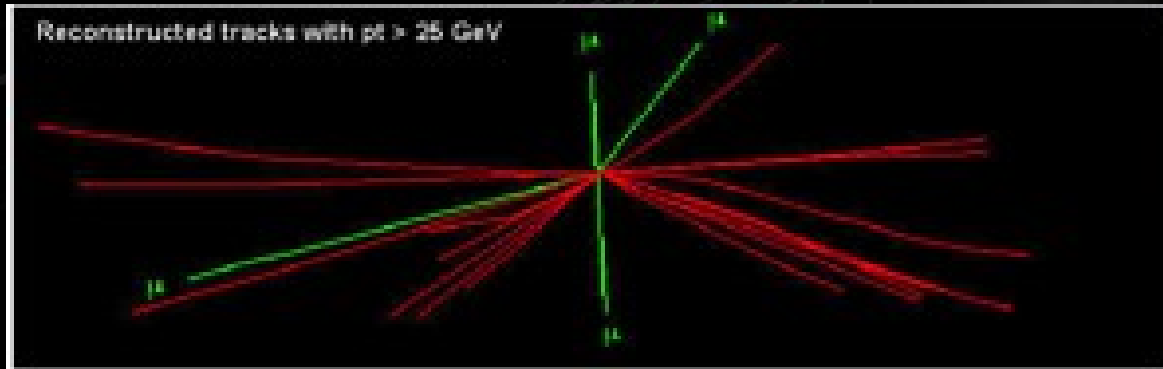
# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

En el LHC ocurre esto....



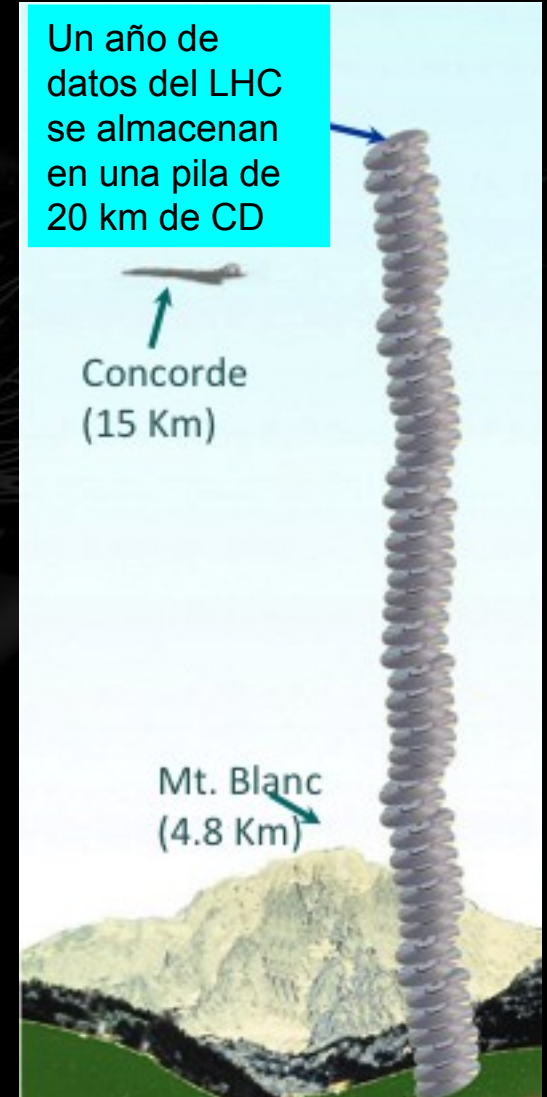
y queremos reconocer dentro de este choque...



Un año de datos del LHC se almacenan en una pila de 20 km de CD

Concorde  
(15 Km)

Mt. Blanc  
(4.8 Km)

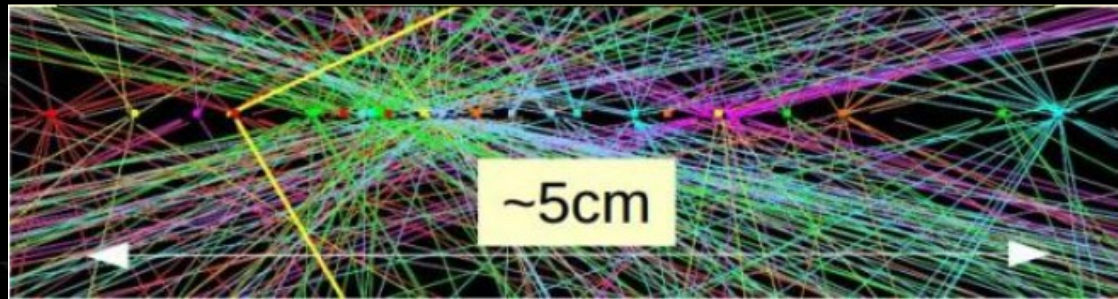




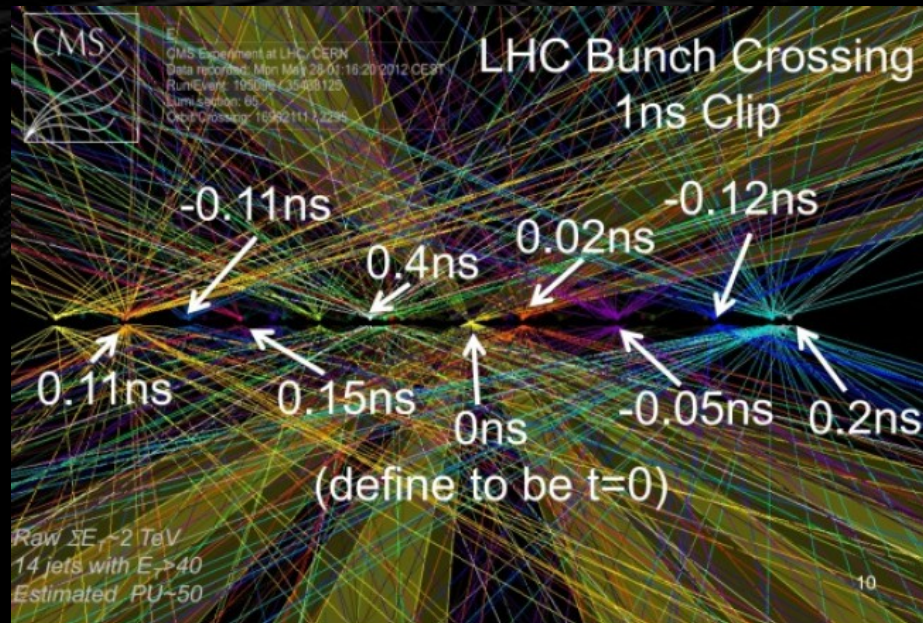
# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

Otras dificultades:



apilamiento de choques





# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

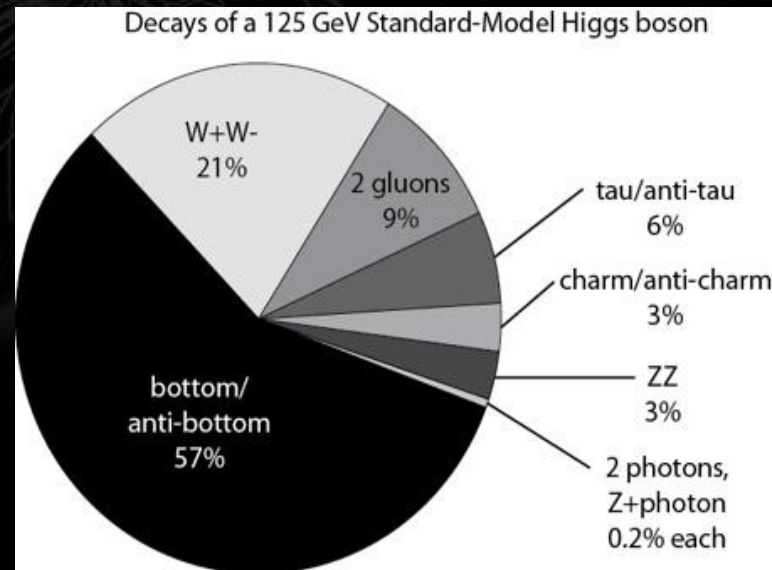
### Descubrimiento del bosón de Higgs: producción y detección

**H** : masa de algunas decenas o cientos de la del protón

**H** : inestable, vida media 0.000 000 000 000 000 000 000 000 16 segundos

### Decaimientos:

**H** → **bb**  
**H** → **WW**  
**H** → **gg**  
**H** →  **$\tau\tau$**   
**H** → **ZZ**  
**H** →  **$\gamma\gamma$**   
**H** →  **$Z\gamma$**   
.....



# La partícula de Higgs

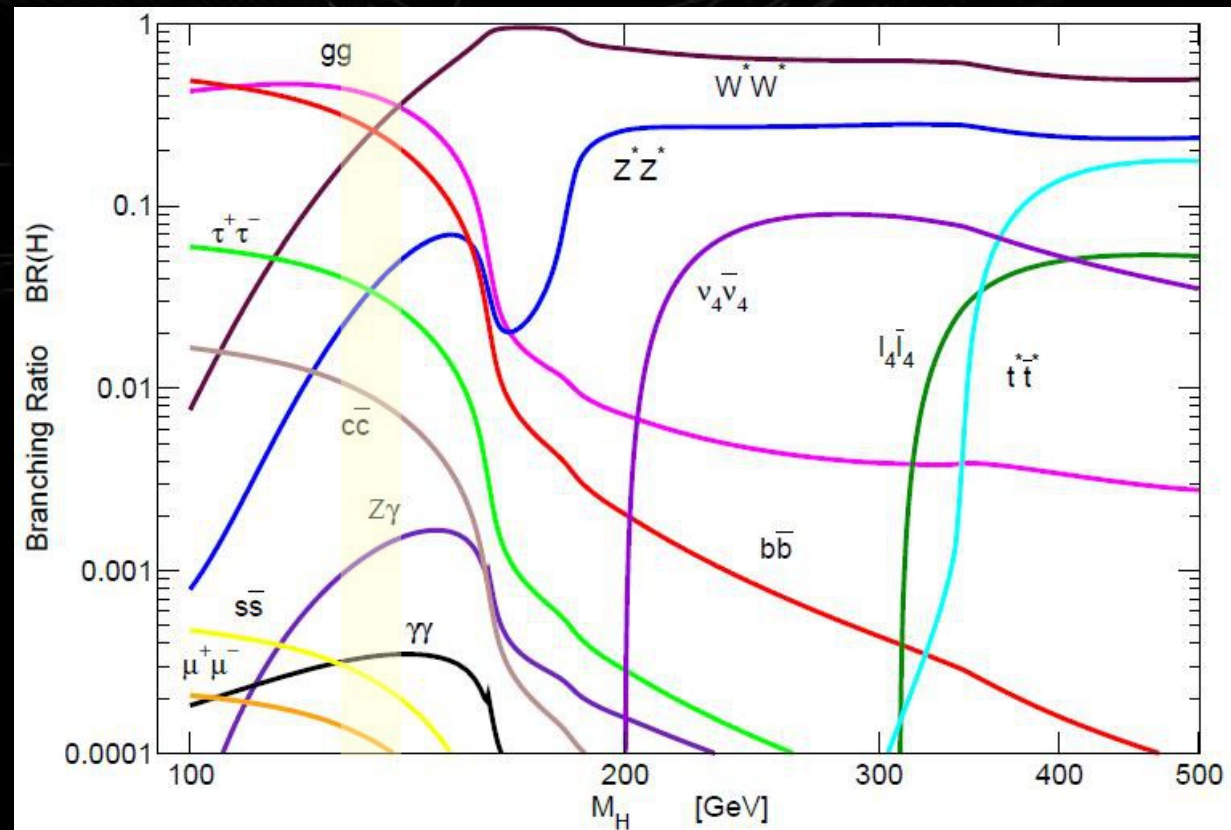
## 3. Cómo

### Descubrimiento del bosón de Higgs: producción y detección

$$H \rightarrow ZZ$$

$$H \rightarrow Z\gamma$$

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

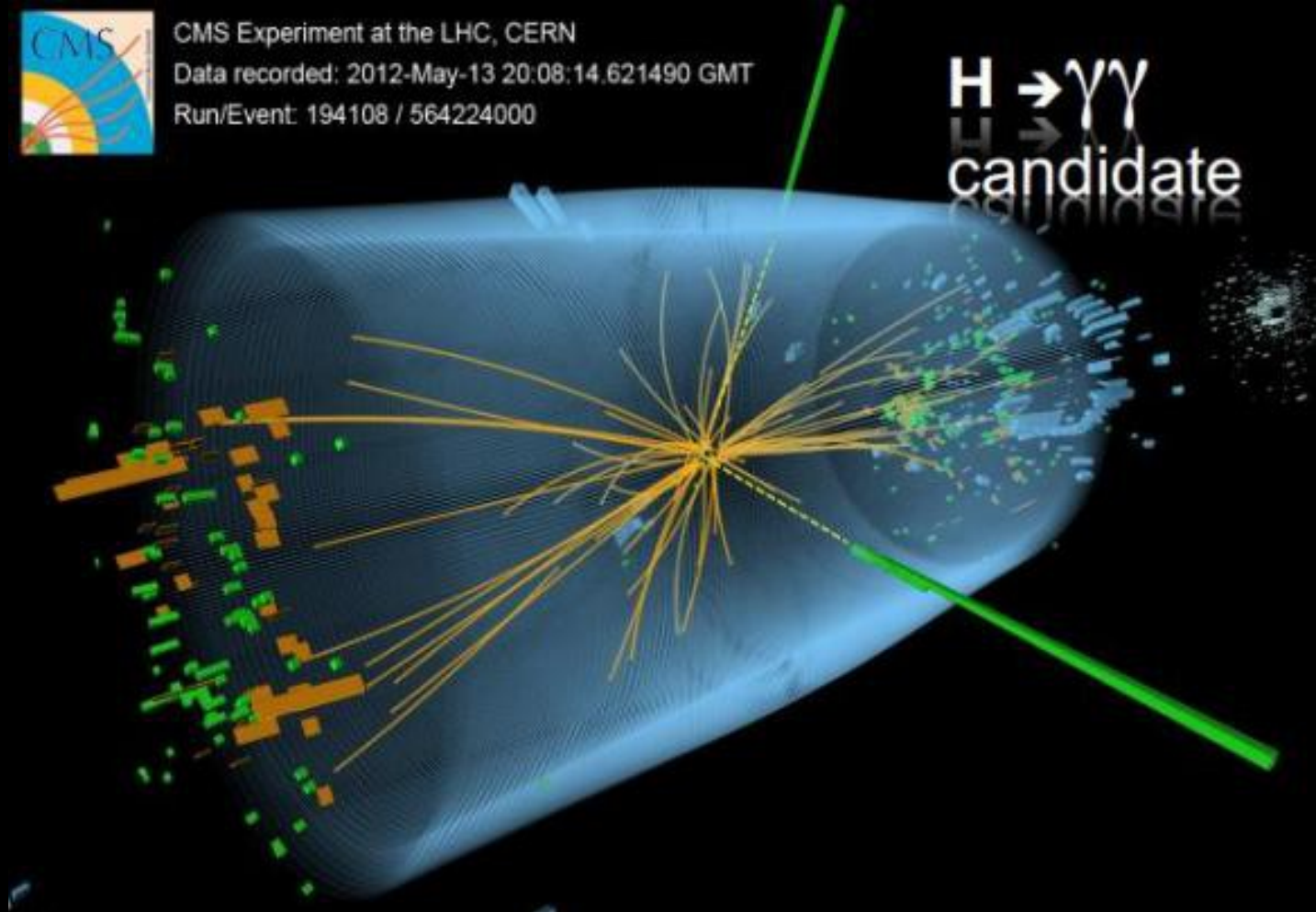


CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

Run/Event: 194108 / 564224000

$H \rightarrow \gamma\gamma$   
candidate



# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

4 de julio 2012 CERN – LHC

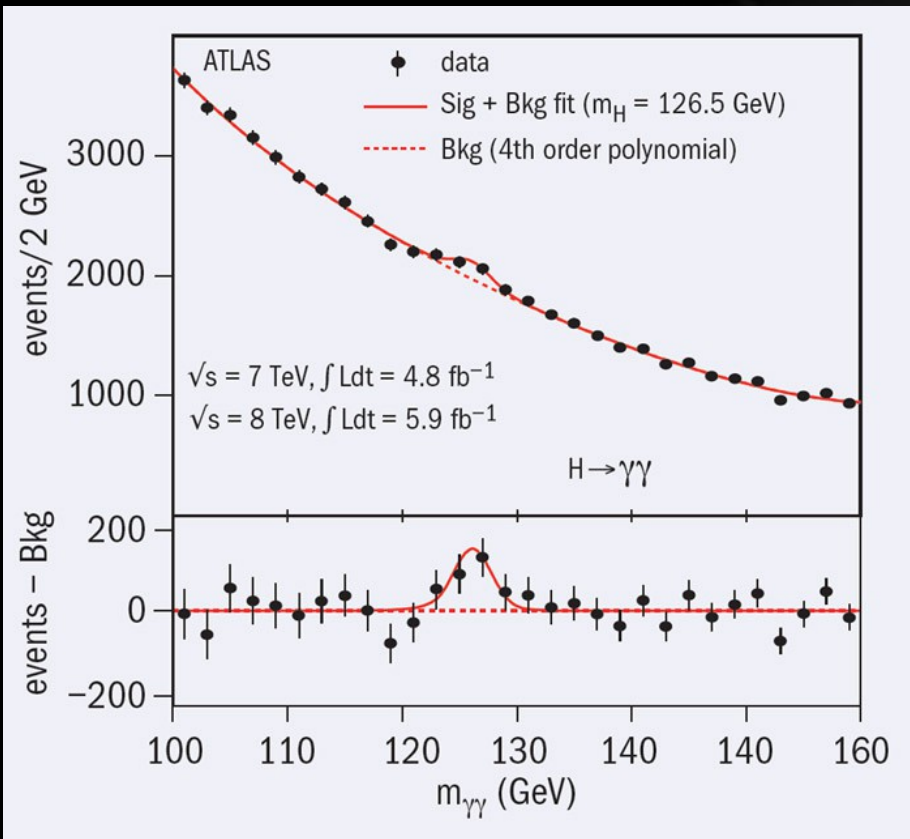
Luego de varias décadas se ha confirmado, en **dos**  
experimentos independientes en el LHC,  
**ATLAS Y CMS**,  
la existencia de partículas de  
**Higgs**

En el LHC se han detectado, hasta el momento, cerca  
de 80 partículas de Higgs

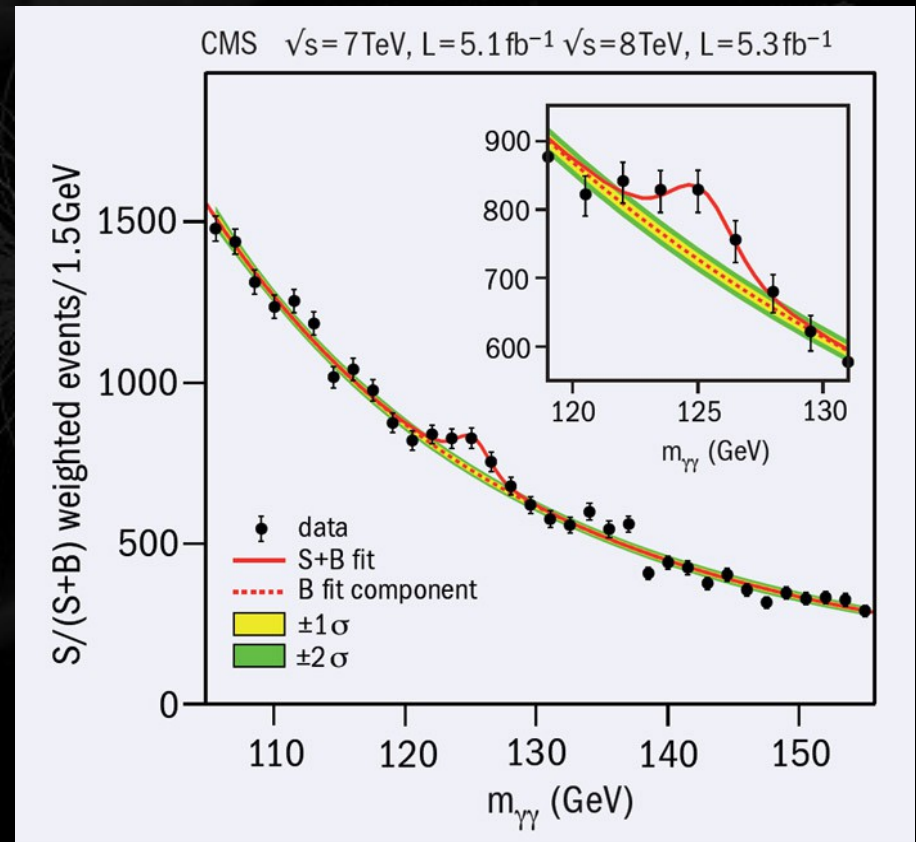
# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

ATLAS



CMS

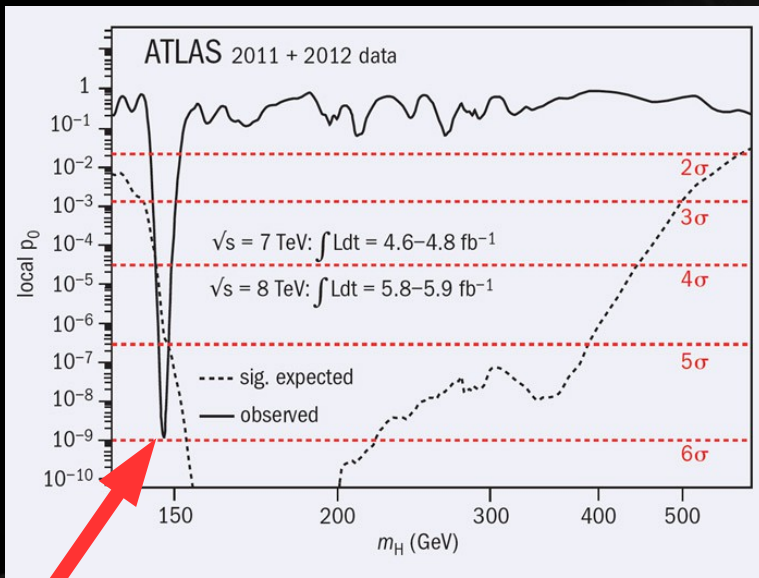




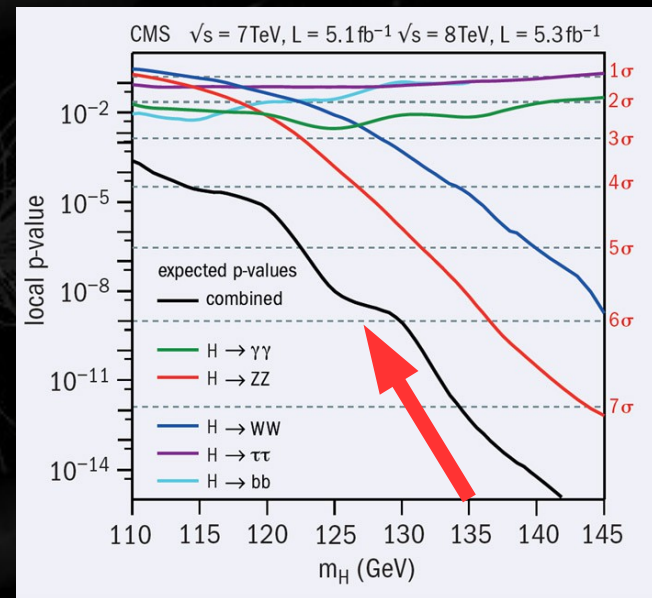
# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

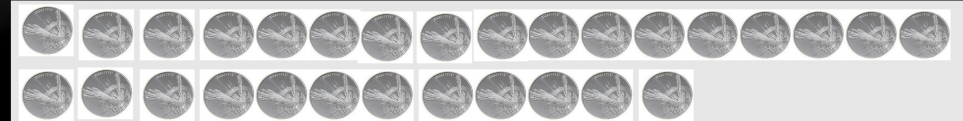
ATLAS



CMS



12



29

# La partícula de Higgs

## 3. Cómo

### ATLAS

ARTICLE IN PRESS

JID:PLB AID:28809/SCO Doctopic: Experiments [m5Gv1.3; v 1.77; Pm:17/08/2012; 9:13] P.1 (1-29)

Physics Letters B ••• (••••) •••-•••

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters B

[www.elsevier.com/locate/physletb](http://www.elsevier.com/locate/physletb)

Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC<sup>☆</sup>

ATLAS Collaboration<sup>\*</sup>

ARTICLE INFO

Article history:  
Received 31 July 2012  
Received in revised form 8 August 2012  
Accepted 11 August 2012  
Available online xxxx  
Editor: W.-D. Schlatter

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton-proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately  $4.8 \text{ fb}^{-1}$  collected at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  in 2011 and  $5.8 \text{ fb}^{-1}$  at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  in 2012. Individual searches in the channels  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$  in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for  $H \rightarrow ZZ^{(*)}$ ,  $WW^{(*)}$ ,  $b\bar{b}$  and  $\tau^+\tau^-$  in the 7 TeV data and results from improved analyses of the  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of  $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$  is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of  $1.7 \times 10^{-9}$ , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

### CMS

ARTICLE IN PRESS

JID:PLB AID:28810/SCO Doctopic: Experiments [m5Gv1.3; v 1.77; Pm:17/08/2012; 9:01] P.1 (1-32)

Physics Letters B ••• (••••) •••-•••

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters B

[www.elsevier.com/locate/physletb](http://www.elsevier.com/locate/physletb)

Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC<sup>☆</sup>

CMS Collaboration<sup>\*</sup>

CERN, Switzerland

ARTICLE INFO

Article history:  
Received 31 July 2012  
Received in revised form 9 August 2012  
Accepted 11 August 2012  
Available online xxxxx  
Editor: W.-D. Schlatter

Keywords:  
CMS  
Physics  
Higgs

ABSTRACT

Results are presented from searches for the standard model Higgs boson in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and  $8 \text{ TeV}$  in the Compact Muon Solenoid experiment at the LHC, using data samples corresponding to integrated luminosities of up to  $5.1 \text{ fb}^{-1}$  at  $7 \text{ TeV}$  and  $5.3 \text{ fb}^{-1}$  at  $8 \text{ TeV}$ . The search is performed in five decay modes:  $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$ ,  $W^+W^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ , and  $b\bar{b}$ . An excess of events is observed above the expected background, with a local significance of 5.0 standard deviations, at a mass near  $125 \text{ GeV}$ , signaling the production of a new particle. The expected significance for a standard model Higgs boson of that mass is 5.8 standard deviations. The excess is most significant in the two decay modes with the best mass resolution,  $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ ; a fit to these signals gives a mass of  $125.3 \pm 0.4 \text{ (stat.)} \pm 0.5 \text{ (syst.)} \text{ GeV}$ . The decay to two photons indicates that the new particle is a boson with spin different from one.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

improved analyses of the  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of  $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$  is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of  $1.7 \times 10^{-9}$ , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

$125.3 \pm 0.4 \text{ (stat.)} \pm 0.5 \text{ (syst.)} \text{ GeV}$ .

$126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$

signaling the production of a new particle. The expected significance for a standard model Higgs boson of that mass is 5.8 standard deviations. The excess is most significant in the two decay modes with the best mass resolution,  $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ ; a fit to these signals gives a mass of  $125.3 \pm 0.4 \text{ (stat.)} \pm 0.5 \text{ (syst.)} \text{ GeV}$ . The decay to two photons indicates that the new particle is a boson with spin different from one.

# La partícula de Higgs

## 3. Cómo



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

El LHC funcionó hasta ahora a la mitad de la energía de diseño.

En el 2014 comienza a operar a su energía máxima.

Cada día del 2011 ha tomado tantos datos como todo el 2010, cada día de julio 2012 ha tomado tantos datos como en el 2011.....

Se ha prolongado 7 semanas este año la toma de datos y esto implica 3 veces más datos



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

El descubrimiento de la partícula de Higgs ha abierto un escenario de nuevas propiedades de la materia que el LHC va a explorar en las siguientes décadas.

- ¿Qué propiedades tiene el Higgs?
- ¿Hay uno o varios Higgs diferentes?
- ¿Qué otros fenómenos intervienen partículas tipo Higgs?
- ¿Qué otras partículas aguardan agazapadas....?

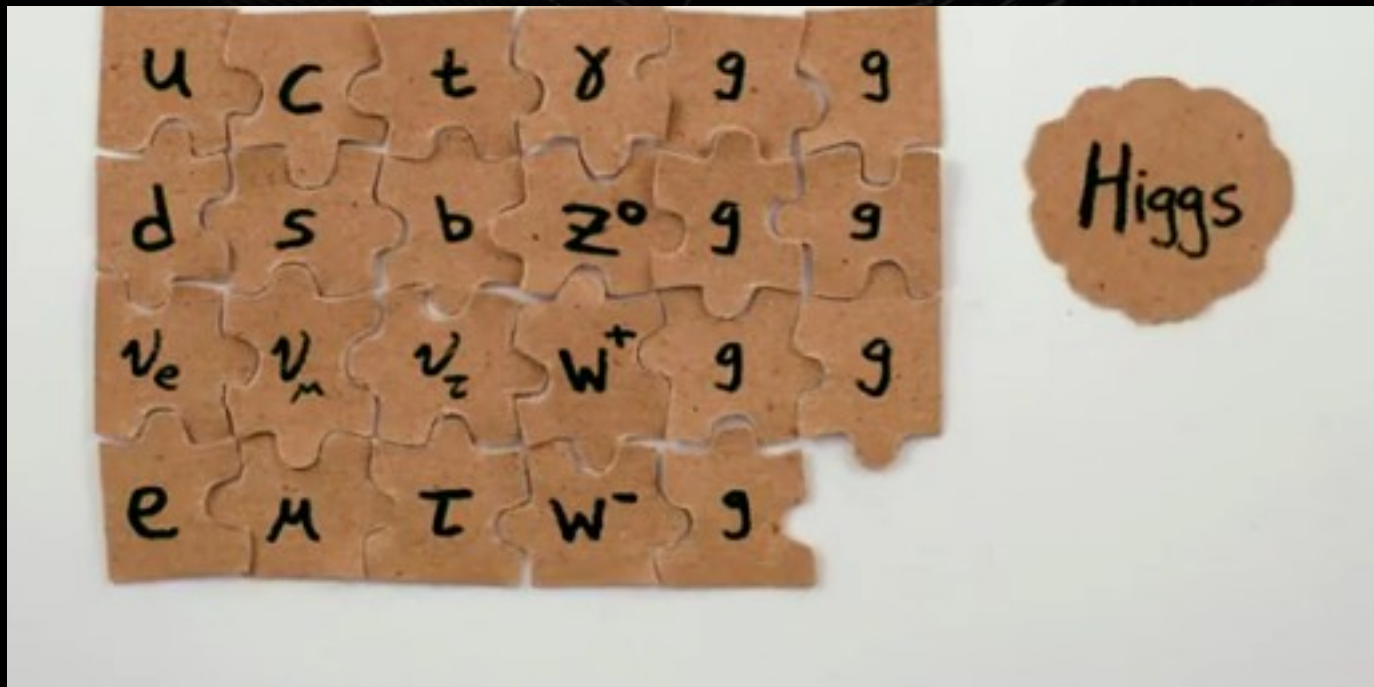
El LHC apenas ha comenzado su vida útil....



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

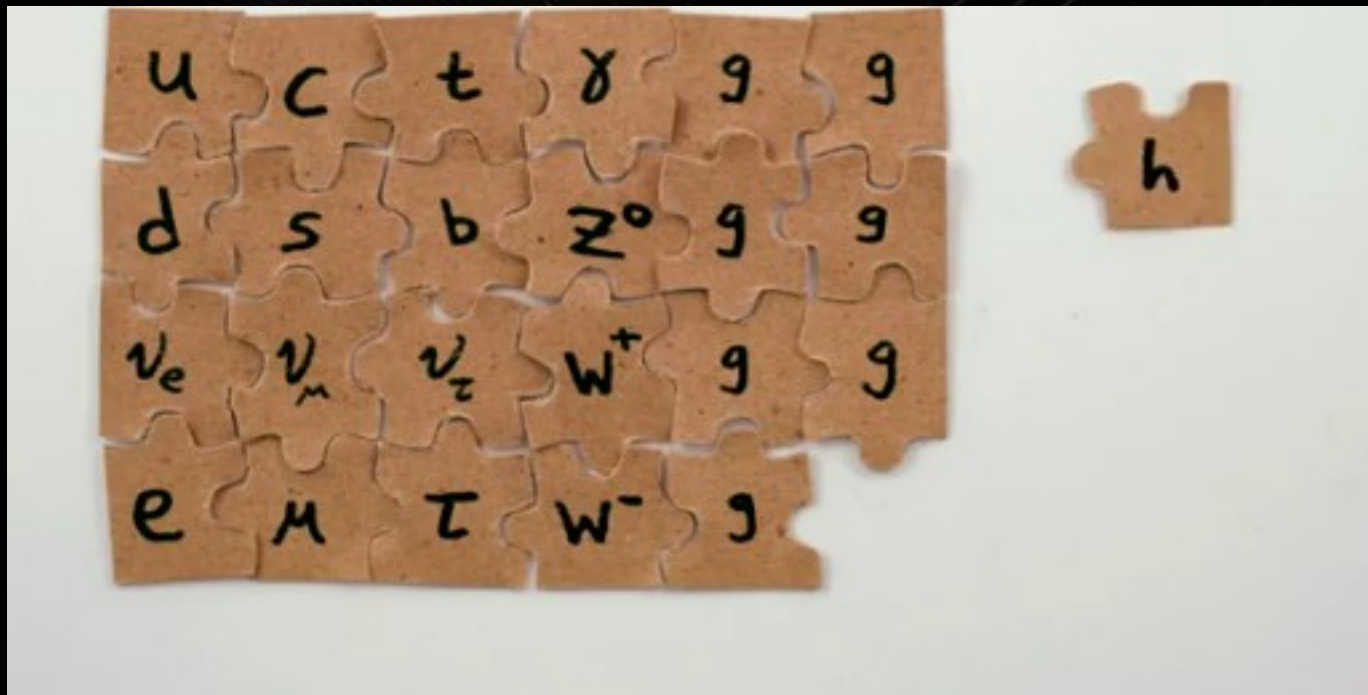
¿ Qué Higgs hemos detectado ?



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

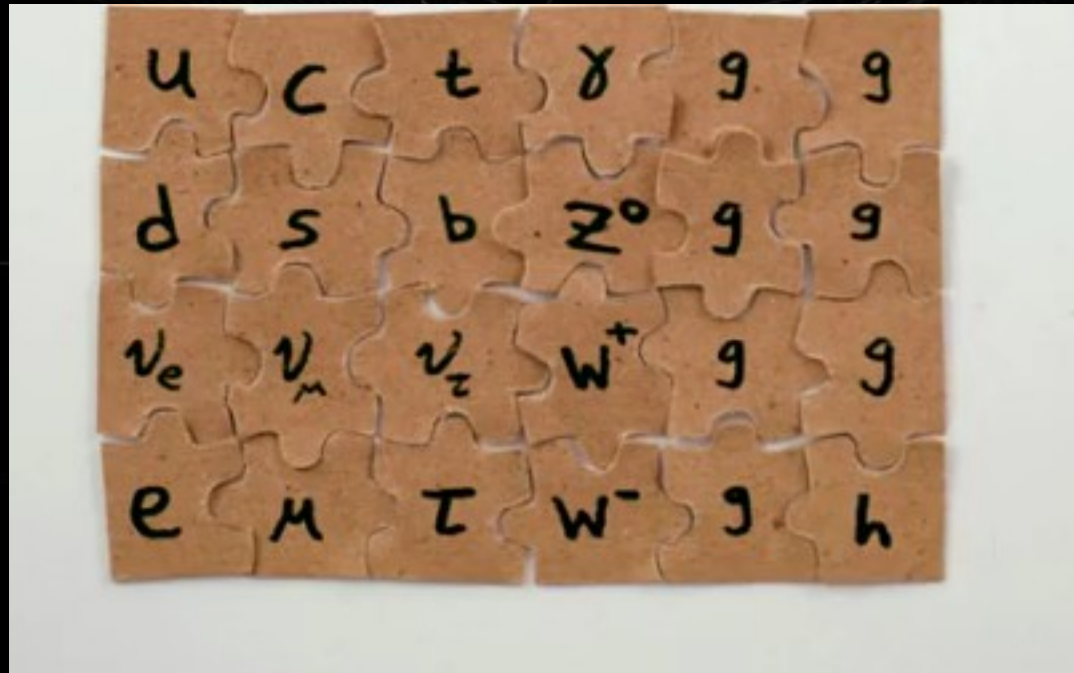
¿ Es el Higgs del Modelo Estándar ?



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

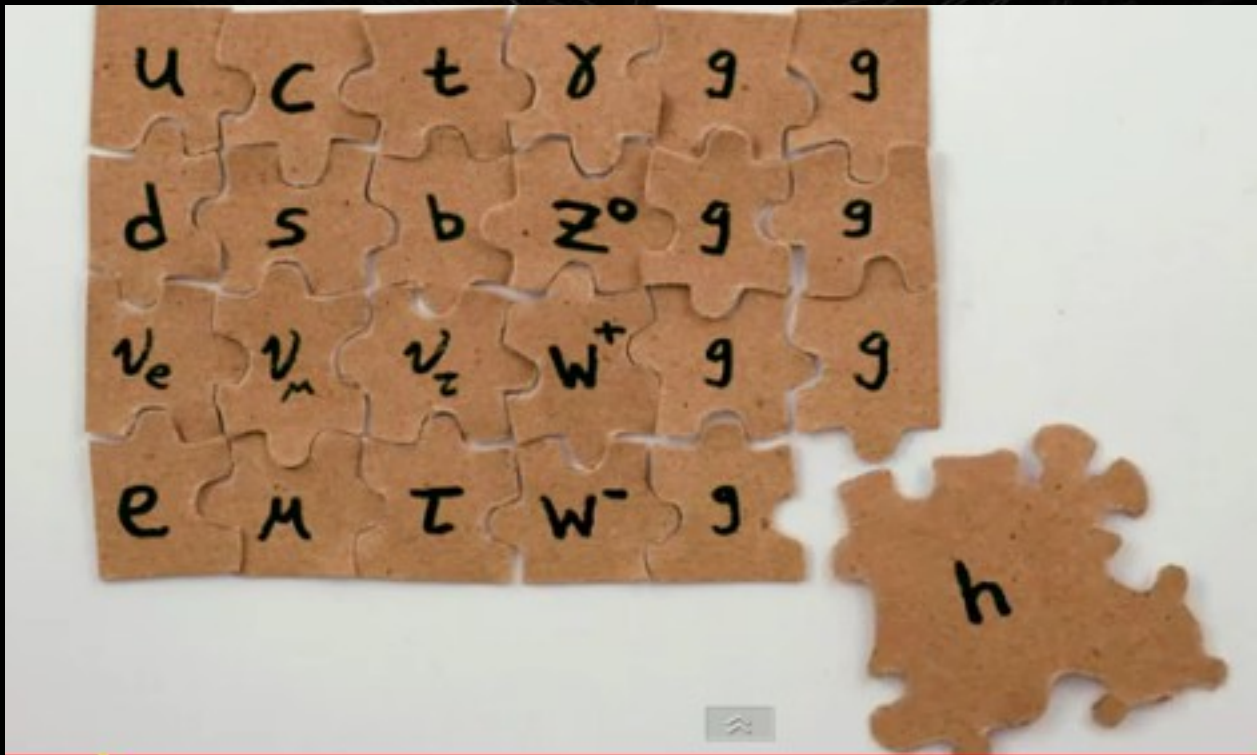
¿ Es el Higgs del Modelo Estándar ?



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

¿ Es el Higgs de una nueva teoría ?



# La partícula de Higgs

## 4. Futuro

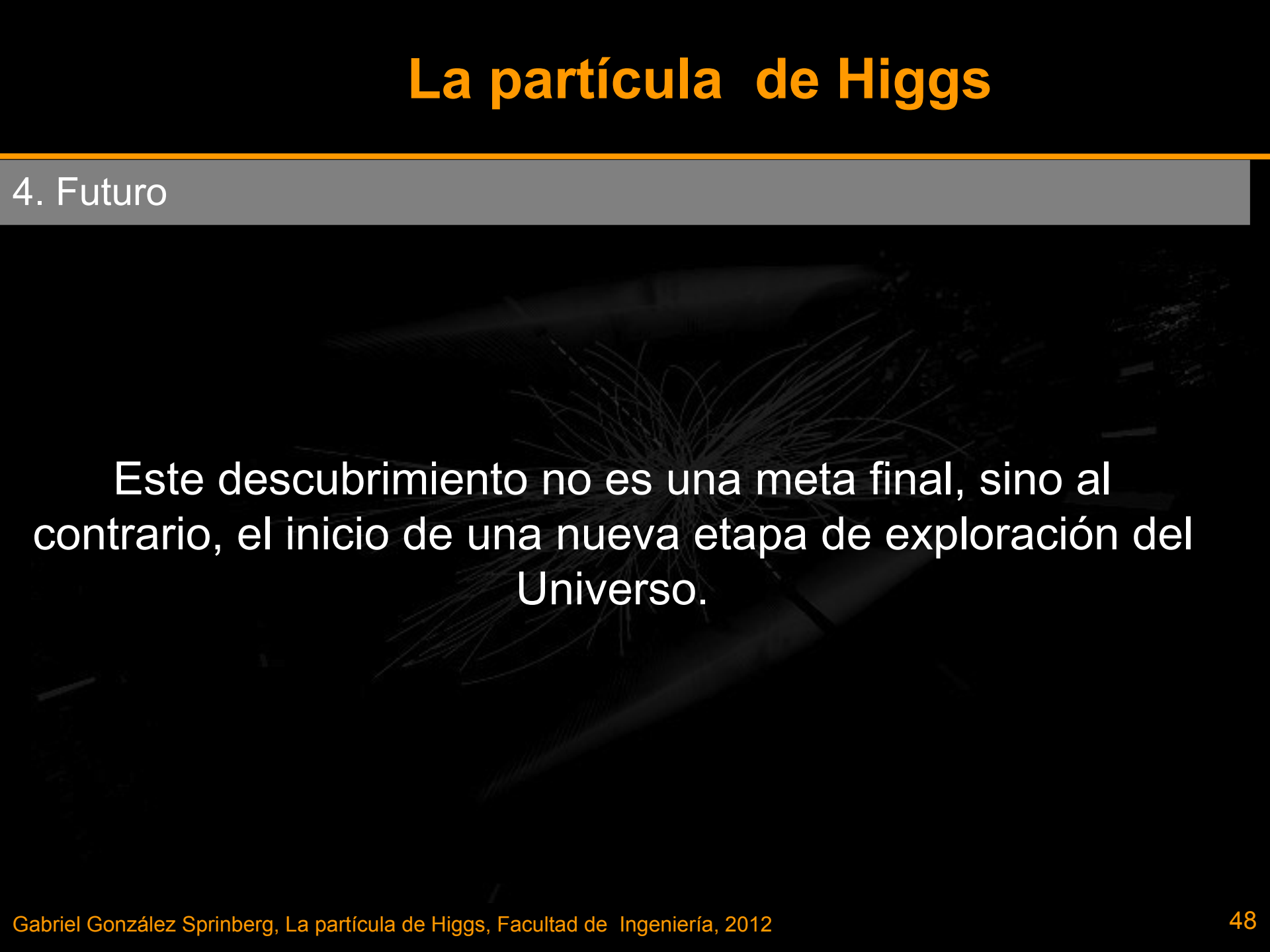
¿ Qué relación tiene el Higgs con otros problemas y con la gravitación ?





# La partícula de Higgs

## 4. Futuro



Este descubrimiento no es una meta final, sino al contrario, el inicio de una nueva etapa de exploración del Universo.

# La partícula de Higgs

## 4. Futuro



# La partícula de Higgs

<http://elpais.com/buscador> (Higgs)

<http://www.i-cpan.es/lhc.php>

<http://www.lhc-closer.es/>

<http://www.interactions.org/LHC/>

<http://cdsweb.cern.ch/record/1165534>  
(LHC The guide)

<http://www.particleadventure.org/spanish/index.html>