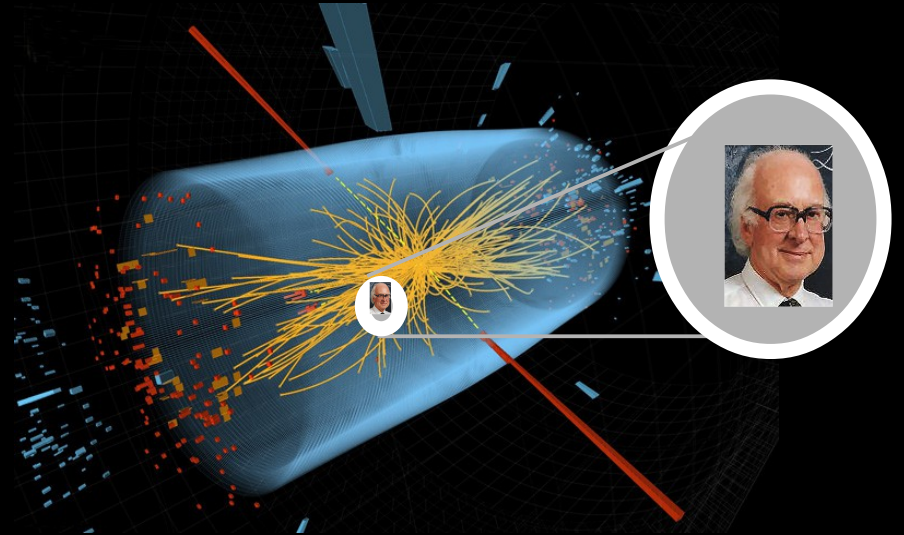


# El Higgs ha llegado



Gabriel González Sprinberg  
Facultad de Ciencias, Uruguay

# El Higgs ha llegado

---

1. Dónde
2. Qué
3. Cómo
4. Futuro

# El Higgs ha llegado

## 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? ↑



# El Higgs ha llegado

## 1. Dónde

### CERN/LHC en números:

- Colisiones **PROTON – PROTON** a muy alta energía, suficiente para crear 14.000 protones en cada choque!
- Potencia consumida LHC: ~120 MW (CERN 230 MW)  
(10% del cantón de Ginebra, de 500.000 habitantes)
- 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
- 300+300 Universidades/Institutos de países miembros / no miembros
- Físicos experimentales, 10.000  
( 6500 de países miembros, 1600 USA, 900 Rusia, 164 A.Latina...)



# El Higgs ha llegado

## 1. Dónde

27 km

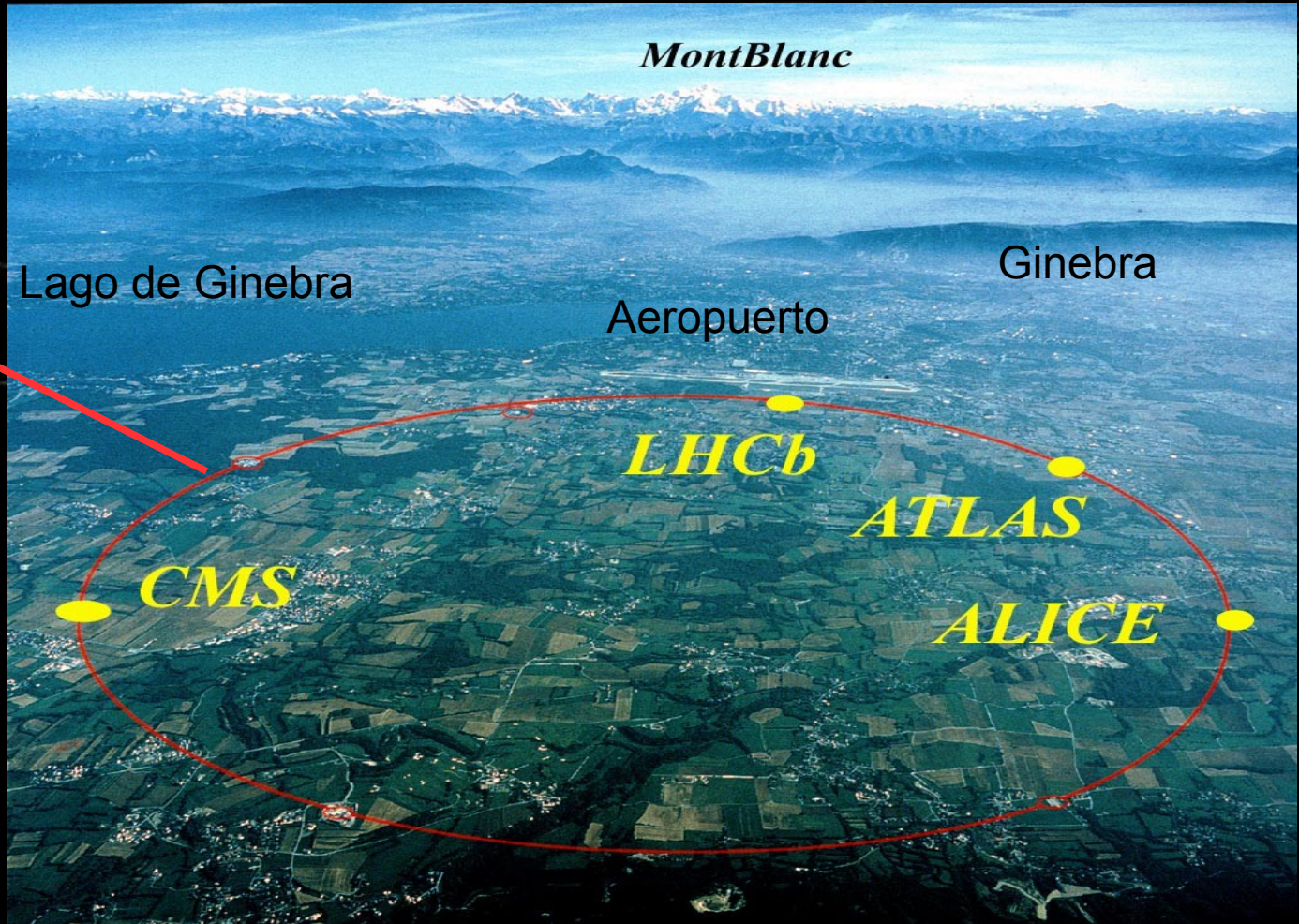
50 a 150 m  
profundidad

11.000 vueltas  
por segundo

800 millones  
colisiones por  
segundo

2800 grupos de  
100.000.000.000  
protones

7 metros entre  
grupos

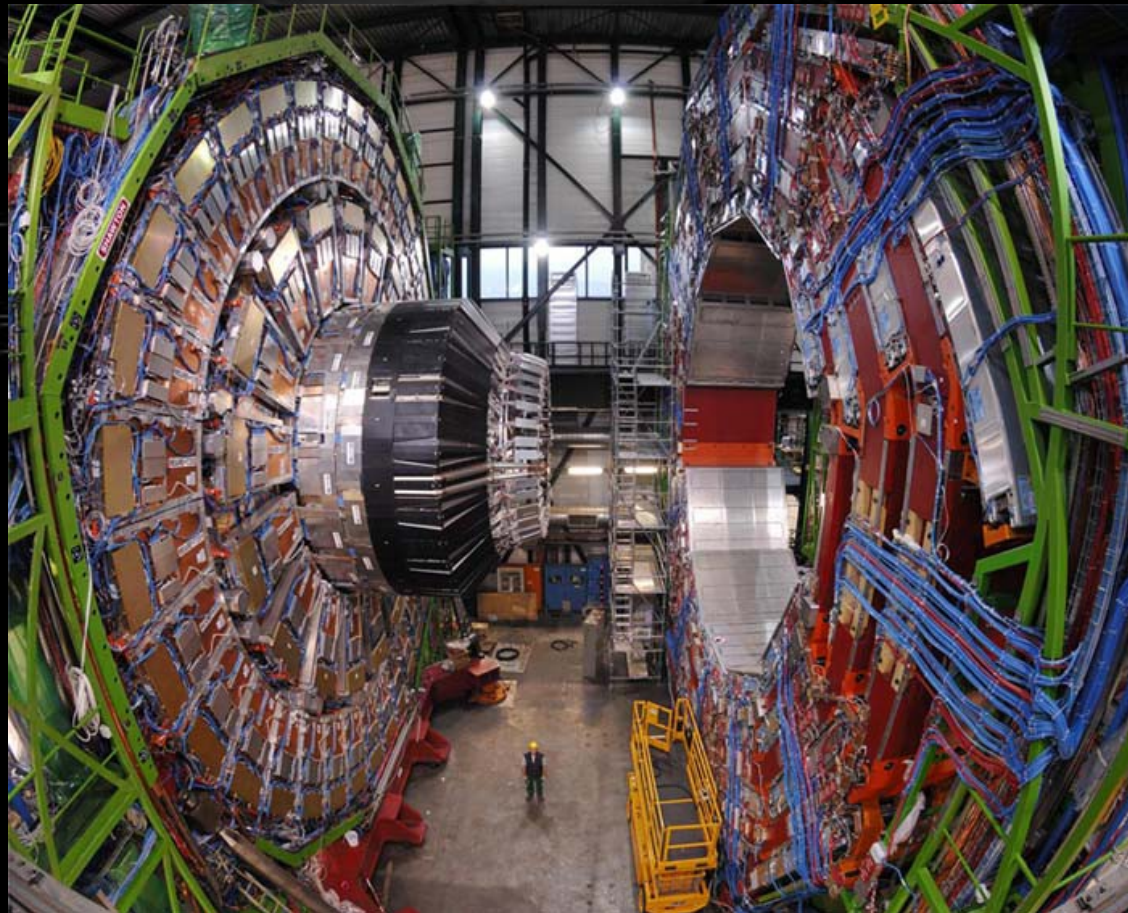




# El Higgs ha llegado

## 1. Dónde

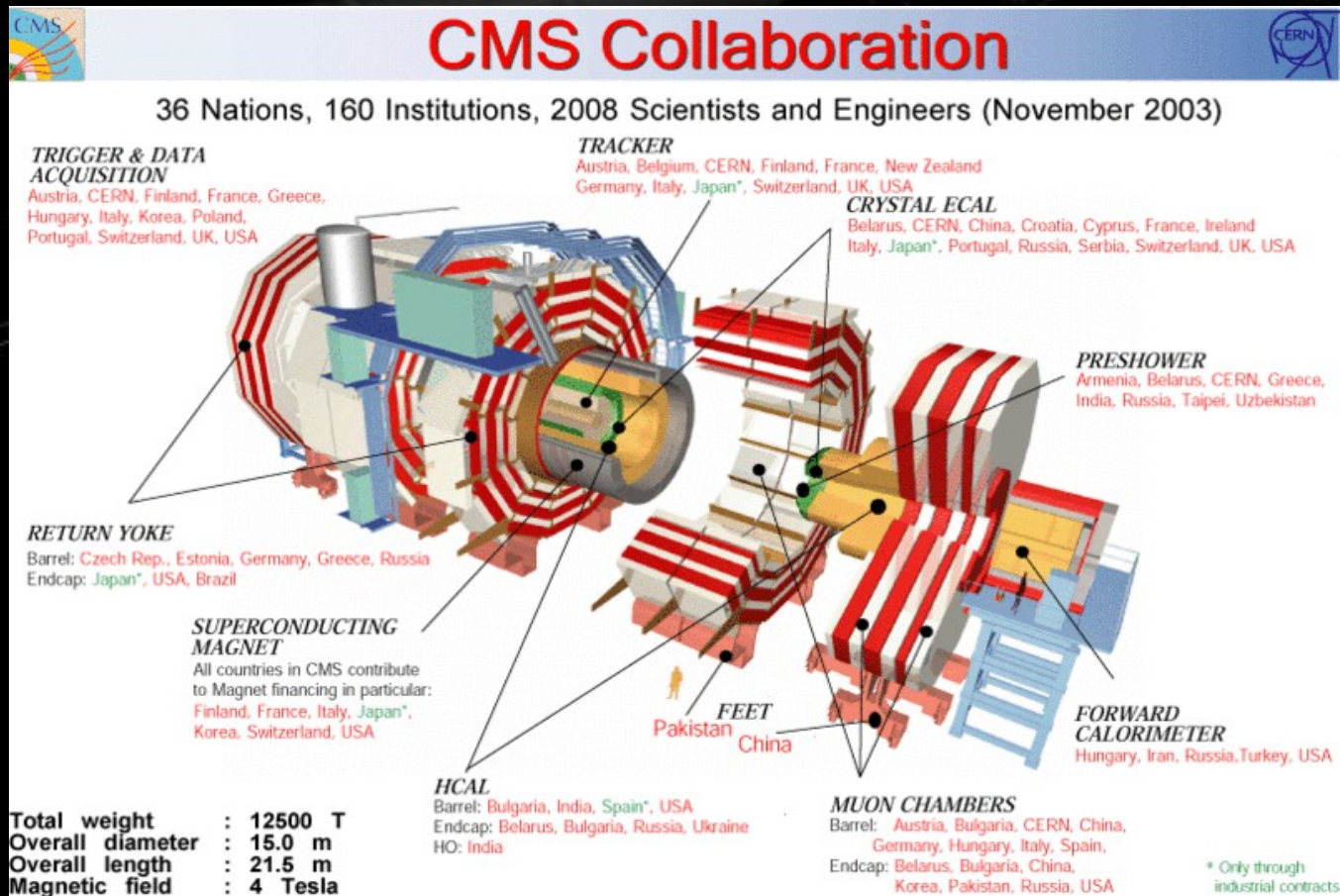
**ATLAS, A Toroidal Large ApparatuS: Higgs + nuevas partículas**



# El Higgs ha llegado

## 1. Dónde

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





# El Higgs ha llegado

## 1. Dónde



ATLAS

**Objetivos generales**

3000 científicos, 34 países



CMS

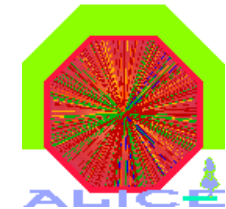
**Objetivos generales**

2500 científicos, 150 instituciones



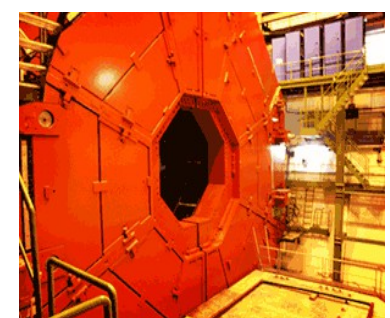
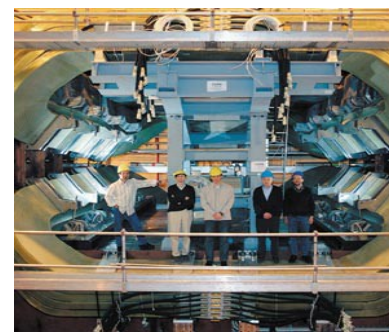
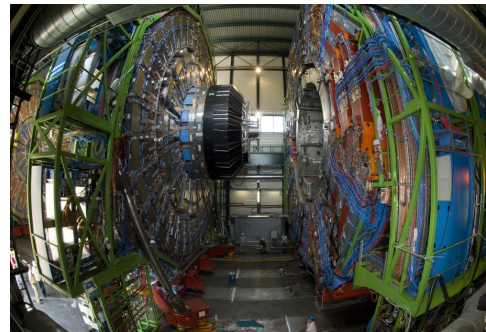
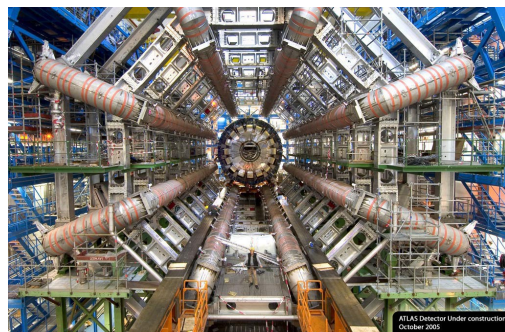
LHCb

**Diferencia materia  
antimateria**



ALICE

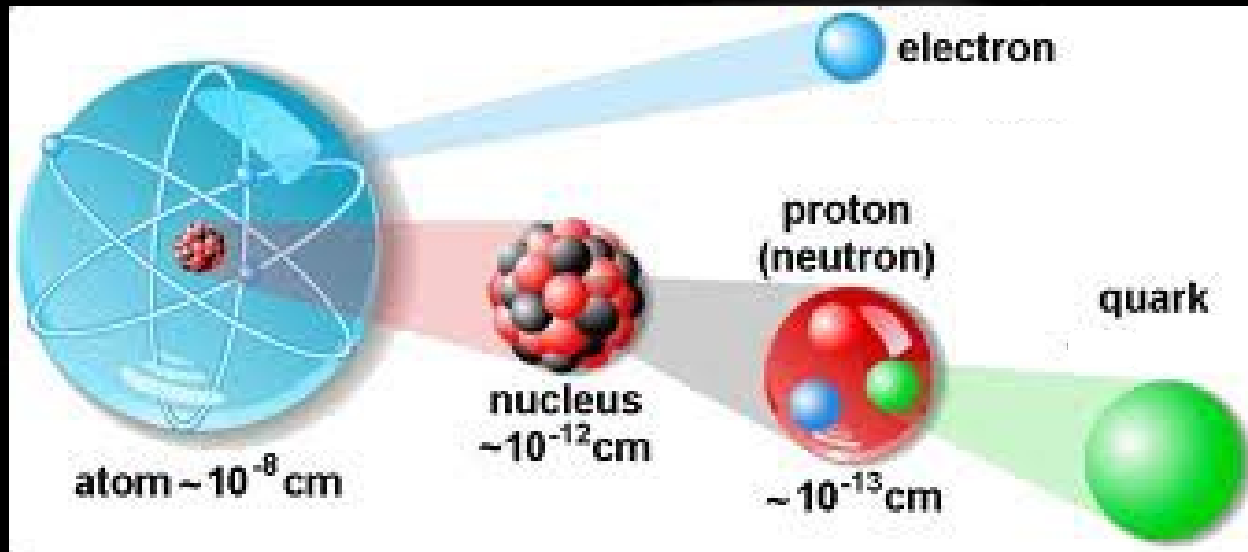
**Iones plomo  
Big Bang**





# El Higgs ha llegado

## 2. Qué



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

Fuerzas: **fotones, ...**

# El Higgs ha llegado

## 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	2/3	2/3	2/3	0
espín	1/2	1/2	1/2	1
nombre	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
	<b>Quarks</b>			
	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	<b>Leptons</b>			
	<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
	1/2	1/2	1/2	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> 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	±1
	1/2	1/2	1/2	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson
				<b>Gauge Bosons</b>

# El Higgs ha llegado

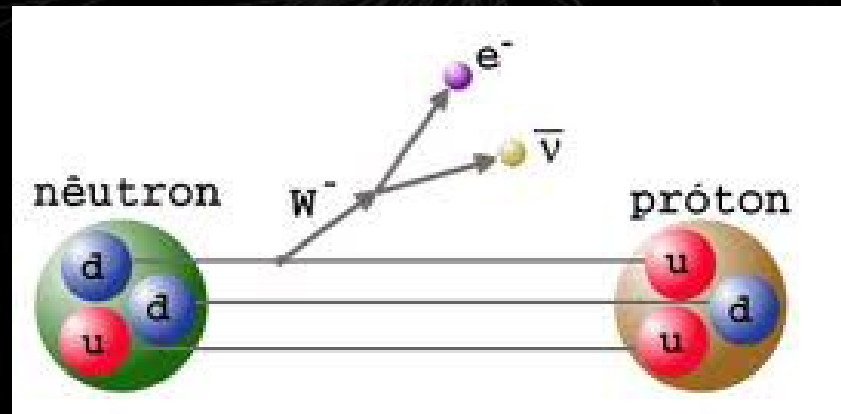
## 2. Qué

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

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

Vida media

neutrón 900 s



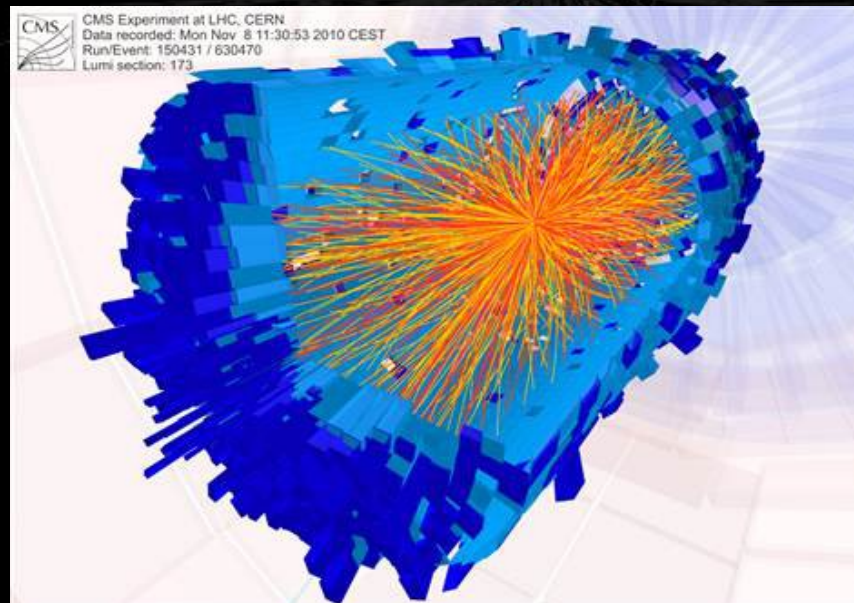


# El Higgs ha llegado

## 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



# El Higgs ha llegado

## 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 !!!!

# El Higgs ha llegado

## 2. Qué

### Modelo Estándar:

Teoría cuántica que describe a las partículas elementales y sus interacciones

#### Fuerzas

electromagnéticas  
débiles (radioactividad)  
fuertes (nucleares)  
¿gravedad?

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

Conservación de la carga eléctrica: electrodinámica cuántica



# El Higgs ha llegado

## 2. Qué

### Modelo Estándar y simetrías

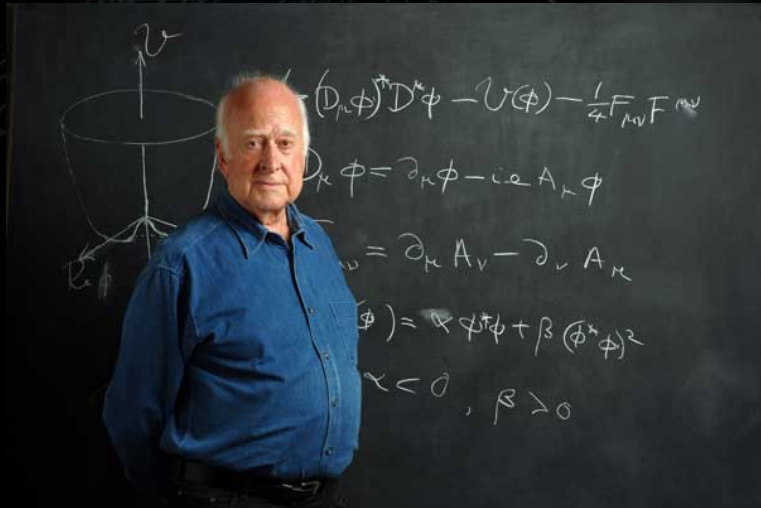
Paridad  $x \rightarrow -x$

$x^2$	$\rightarrow$	$(-x)^2$	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



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

# El Higgs ha llegado

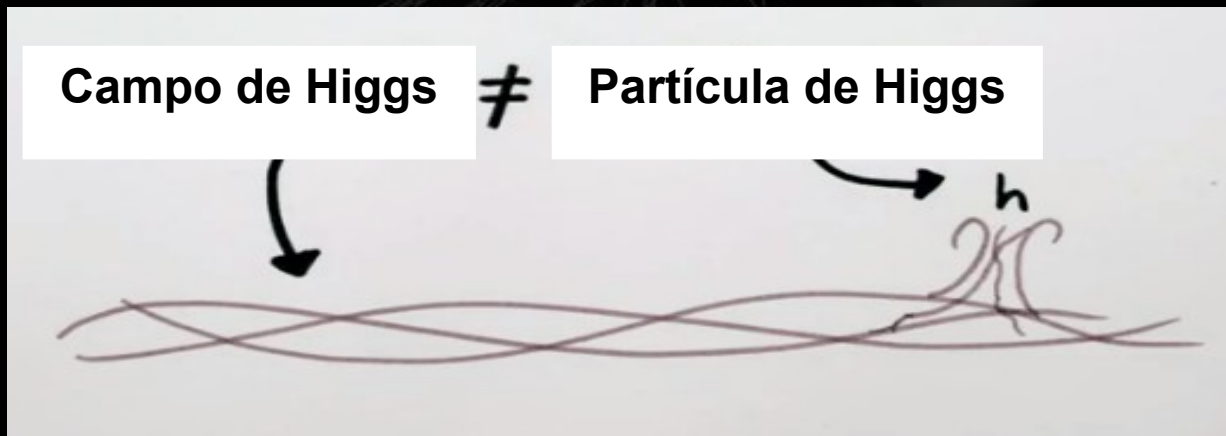
## 2. Qué

### Mecanismo de Higgs:

Permite que las partículas tengan MASA

pero se necesita...

Campo de Higgs  
Partícula de Higgs



# El Higgs ha llegado

## 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



# El Higgs ha llegado

## 2. Qué

La partícula de Higgs:  
bosón

La materia esta  
constituida por fermiones

**MODELO ESTÁNDAR**

	Quarks	Quarks	Quarks	Gauge Bosons
masa	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$	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> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> photon
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b><math>Z^0</math></b> Z boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$
	1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b><math>W^\pm</math></b> W boson

# El Higgs ha llegado

## 2. Qué

### BOSONES:

pueden estar todos  
en un mismo estado



### FERMIONES:

no pueden estar dos de  
ellos en un mismo estado



# El Higgs ha llegado

## 2. Qué





# El Higgs ha llegado

## 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

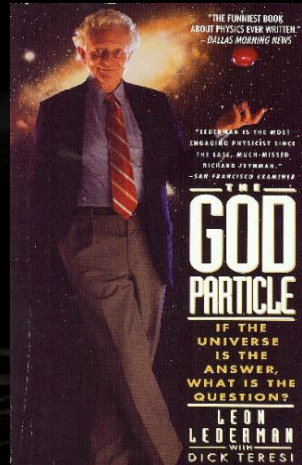
Phys.Rev.Lett. 13, 321



¿ partícula de dios ?

# El Higgs ha llegado

## 2. Qué



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

Leon Lederman

“god particle”

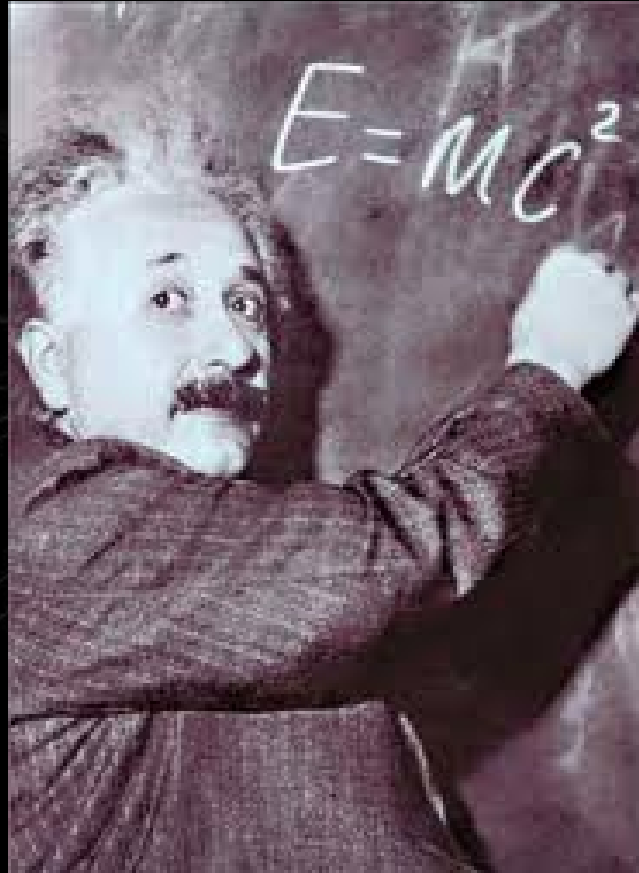
# El Higgs ha llegado

## 2. Qué



# El Higgs ha llegado

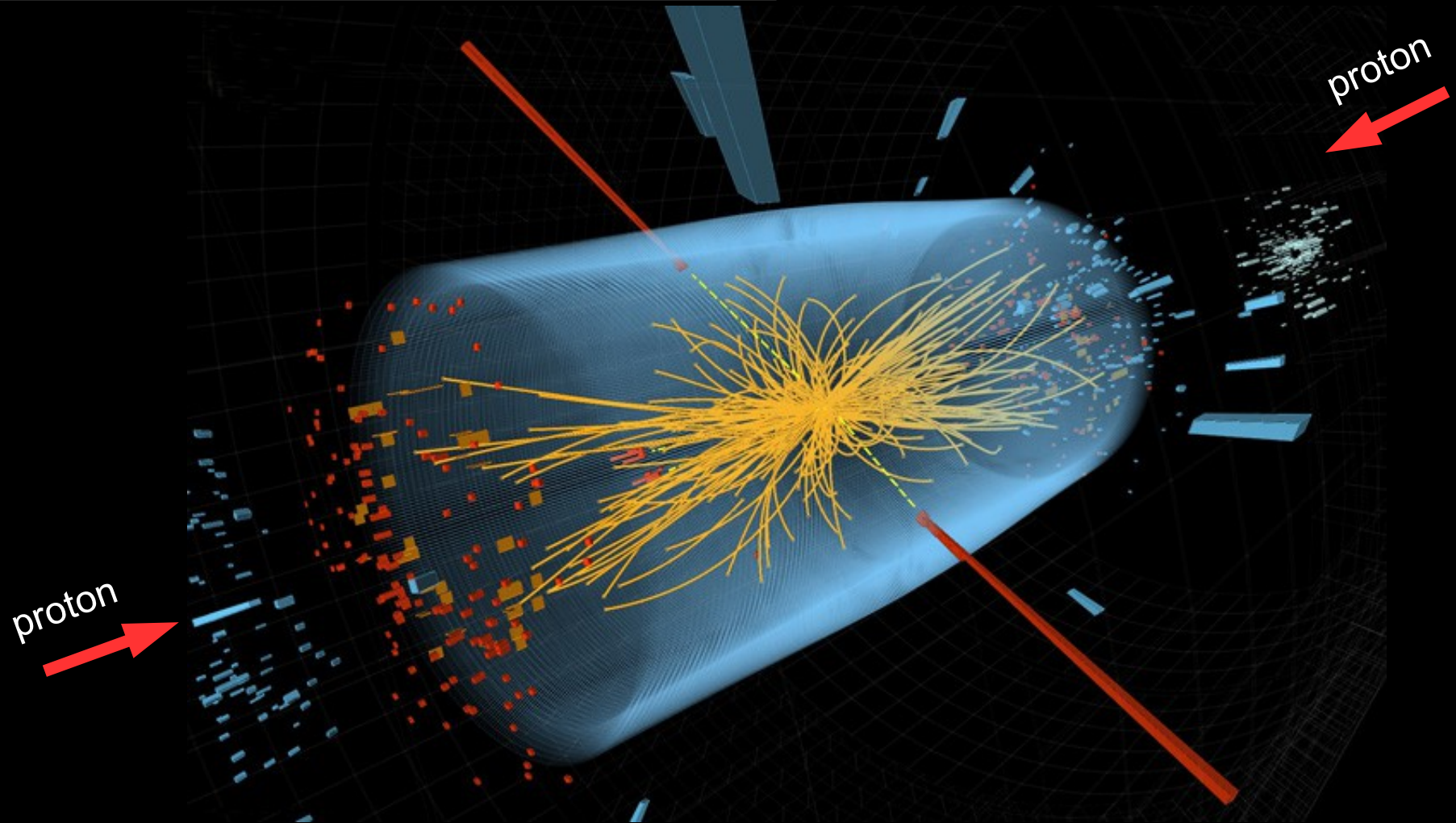
## 3. Cómo





# El Higgs ha llegado

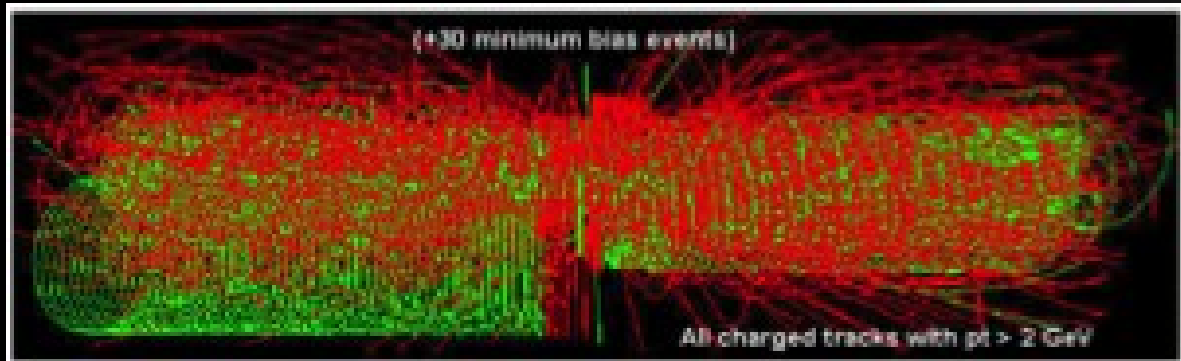
## 3. Cómo



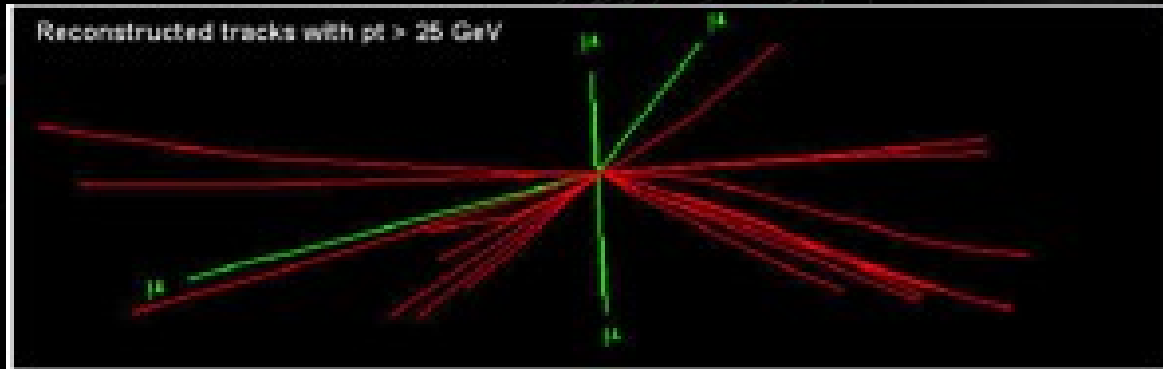
# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

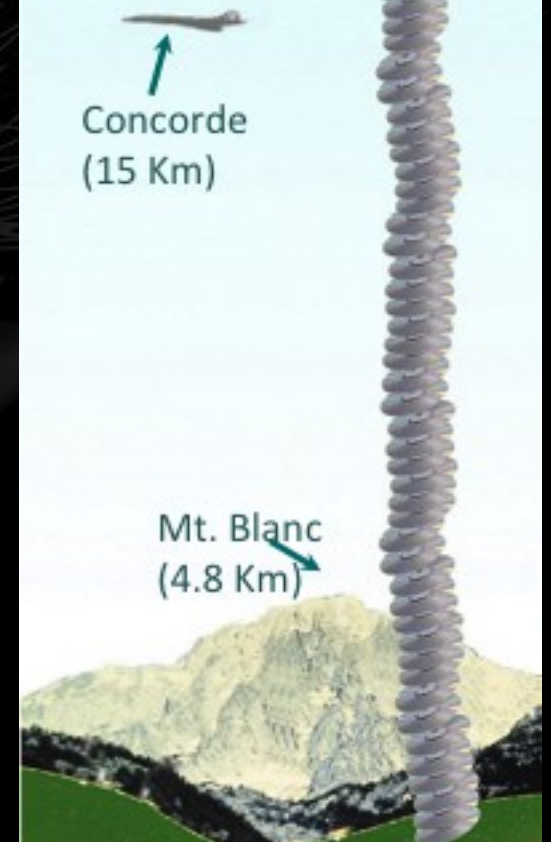
En el LHC ocurre esto....



y queremos reconocer dentro de este choque...



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



# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

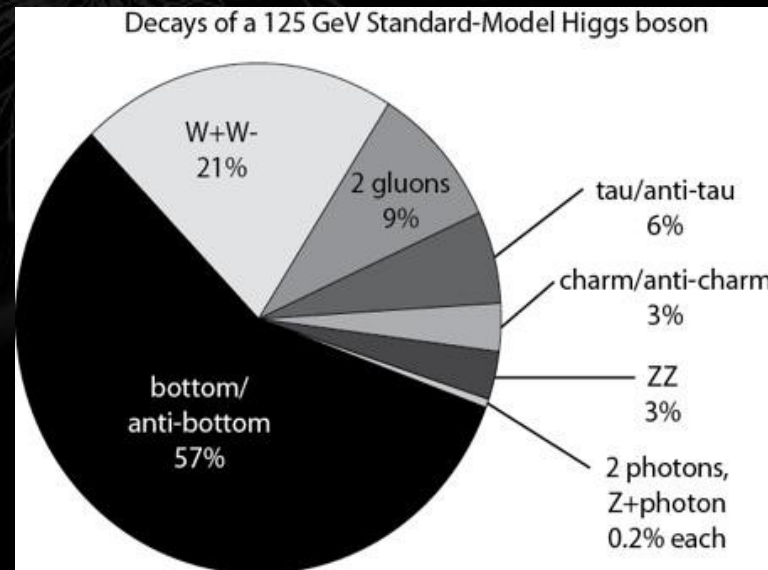
### Descubrimiento del bosón de Higgs: producción y detección

**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 $\gamma$**
- .....



# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

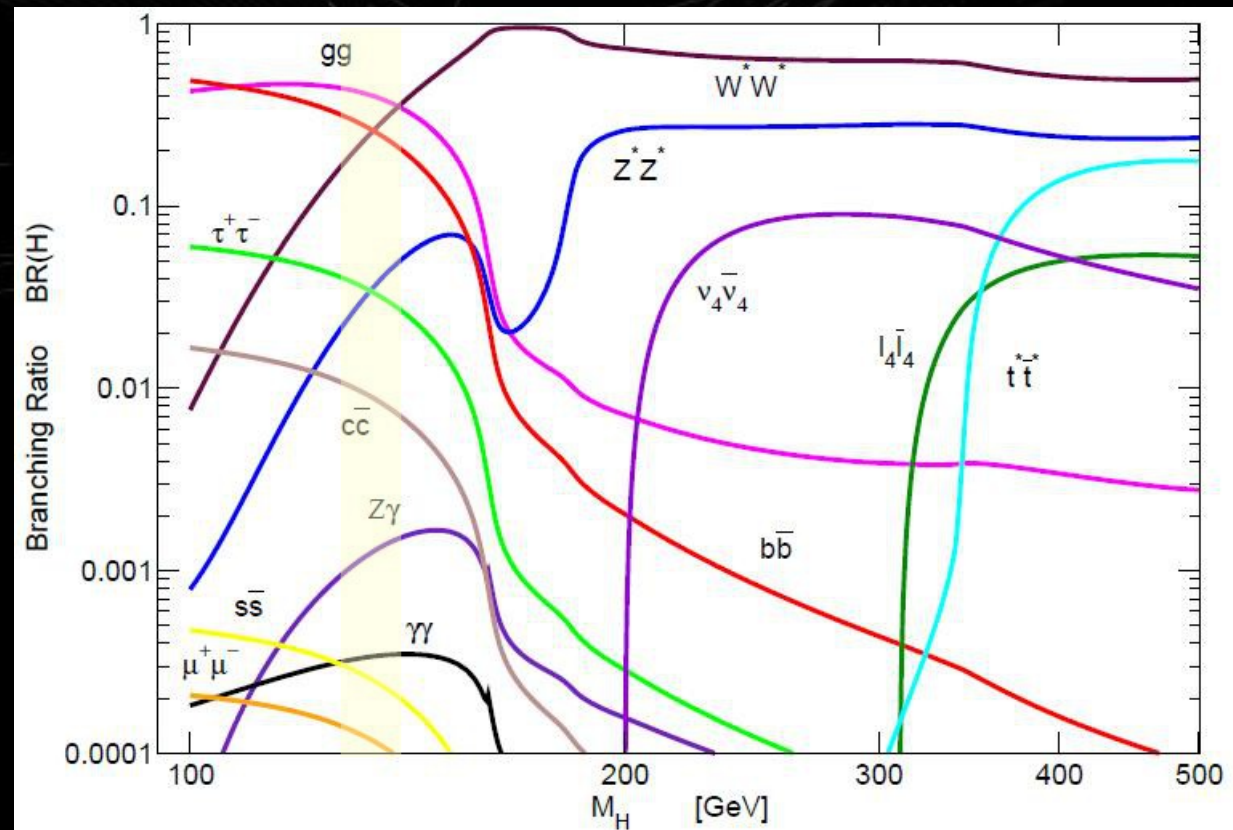
### Descubrimiento del bosón de Higgs:

### producción y detección

$$H \rightarrow ZZ$$

$$H \rightarrow Z\gamma$$

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$





# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

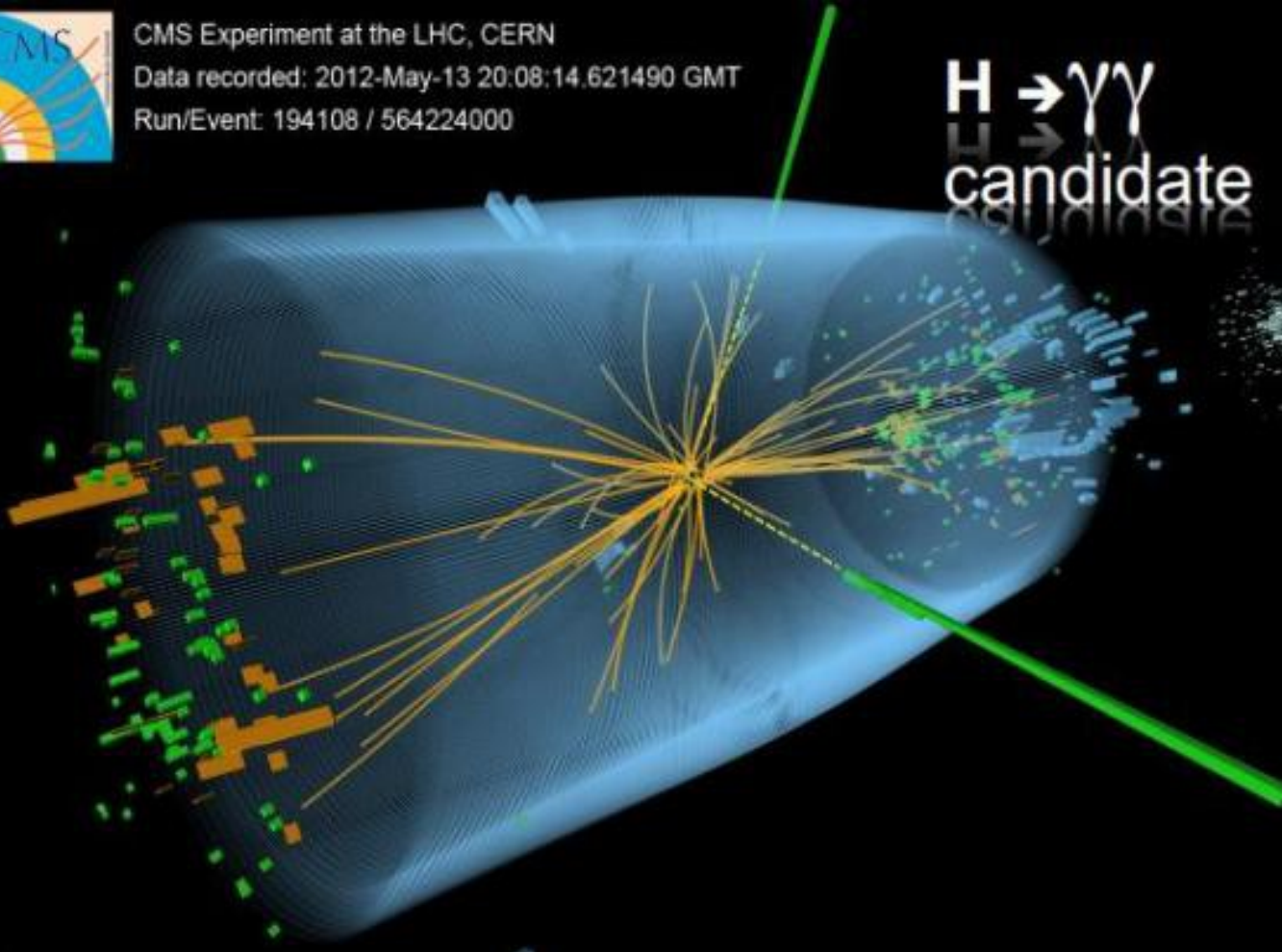


CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run/Event: 194108 / 564224000

$H \rightarrow \gamma\gamma$   
candidate





# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

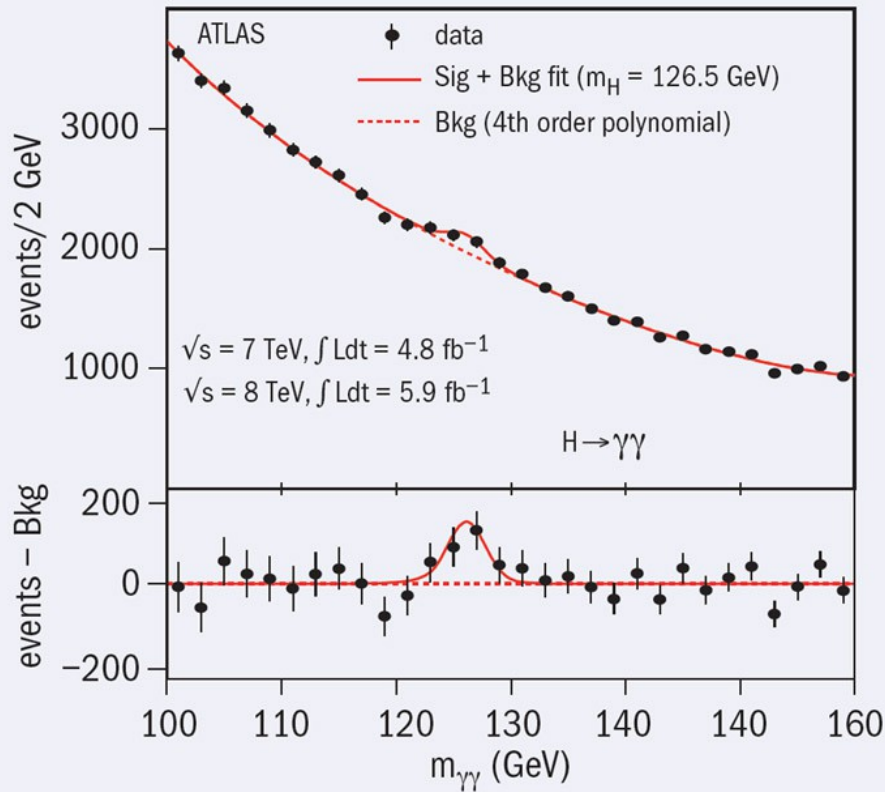
4 de julio 2012 CERN – LHC

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

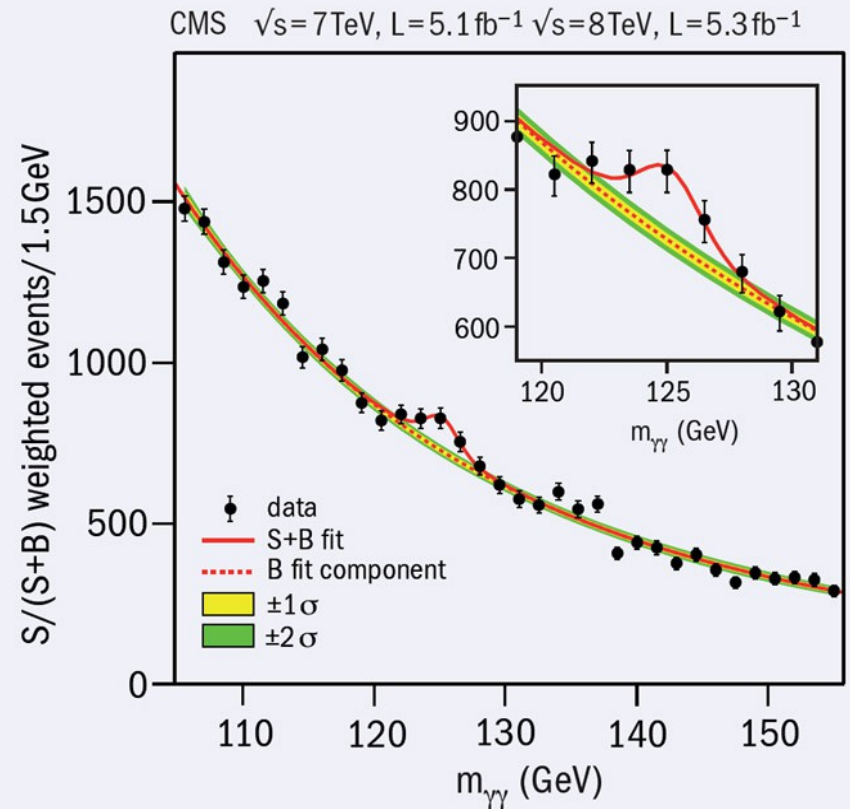
# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

### ATLAS



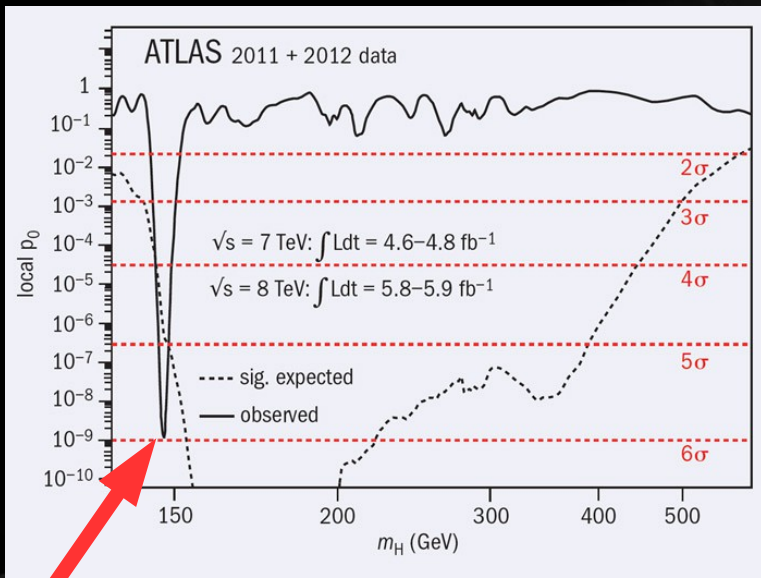
### CMS



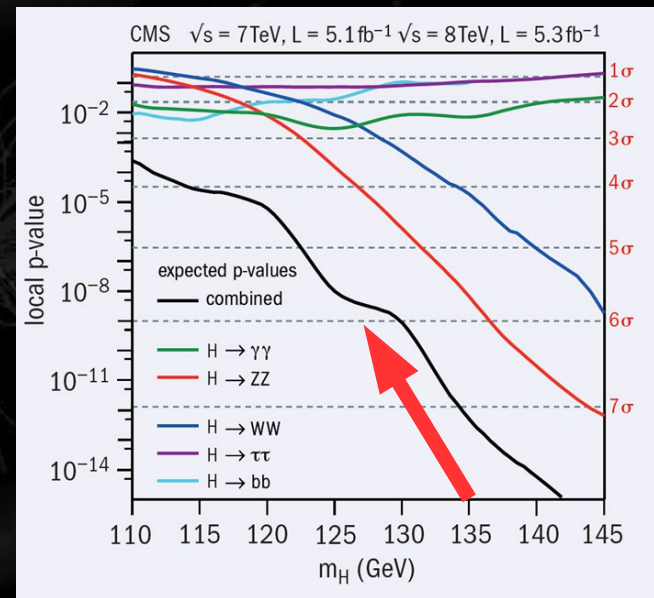
# El Higgs ha llegado

## 3. Cómo

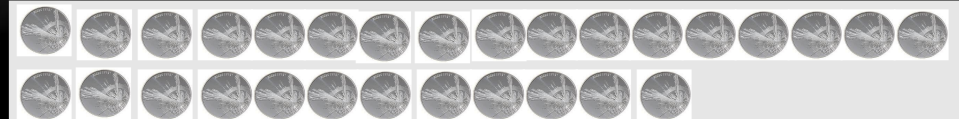
### ATLAS



### CMS



12



29

# El Higgs ha llegado

## 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

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

ABSTRACT

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.

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  $H \rightarrow ZZ^{(*)}$ ,  $WW^{(*)}$ ,  $bb$  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

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

ABSTRACT

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

Key words:  
CMS  
Physics  
Higgs

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  $bb$ . An excess of events is observed above the expected background, with a local significance of 5.0 standard deviations, at a mass near 125 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.



# El Higgs ha Llegado

## 3. Cómo





# El Higgs ha llegado

## 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.

EL LHC ha tomado hasta el momento cerca del 1% de los datos totales que tomará en su vida útil....

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

# El Higgs ha llegado

## 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.

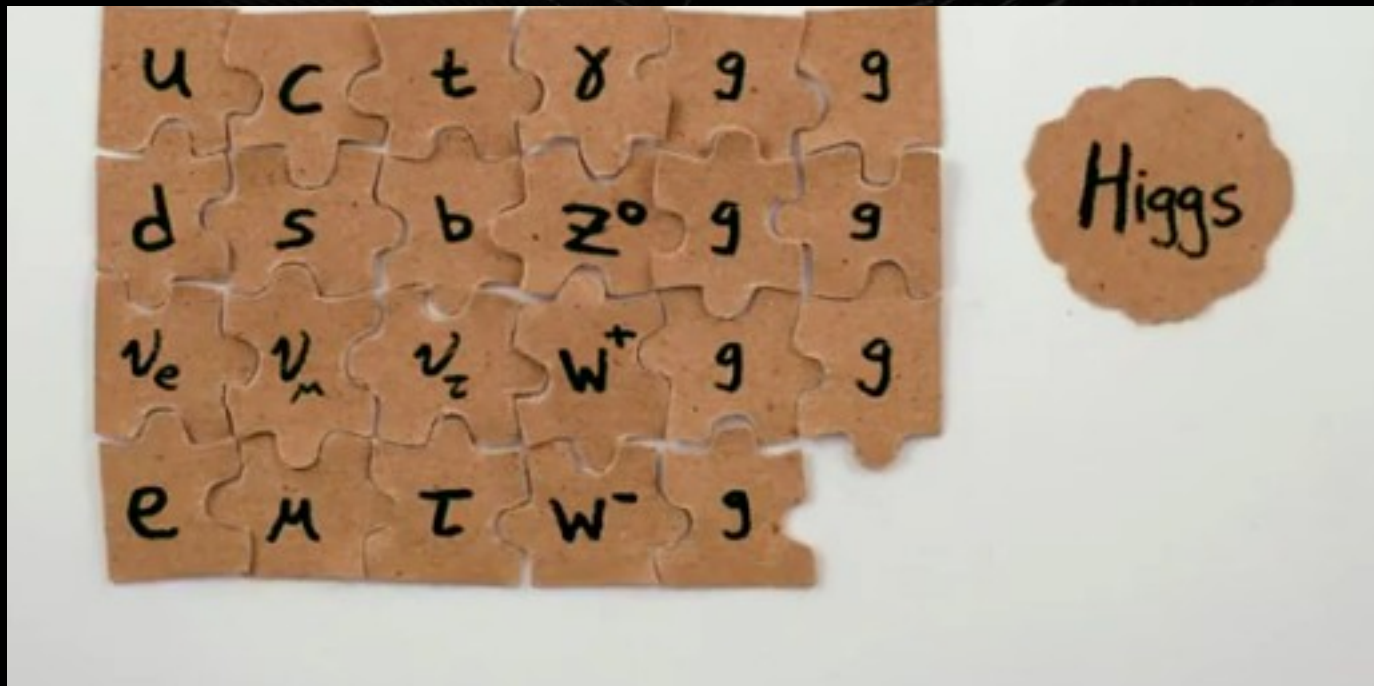
- ¿Qué propiedades tiene el Higgs?
- ¿Hay uno o varios Higgs diferentes?
- ¿En qué otros fenómenos intervienen partículas tipo Higgs?
- ¿Qué otras partículas aguardan agazapadas....?

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

# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

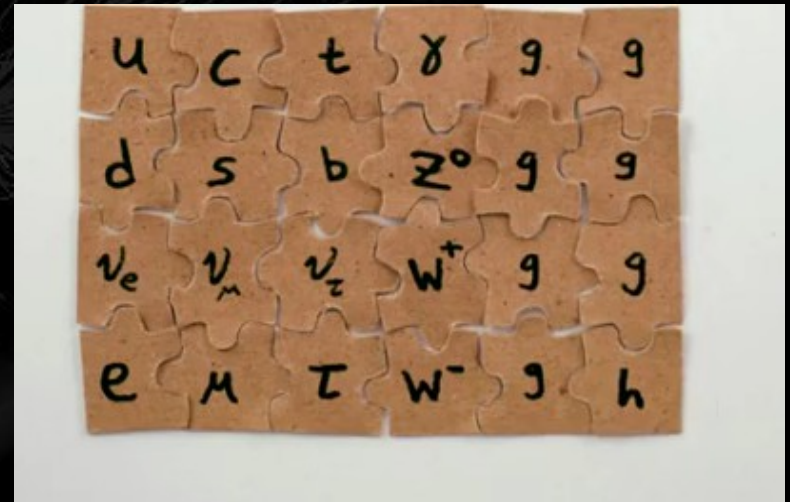
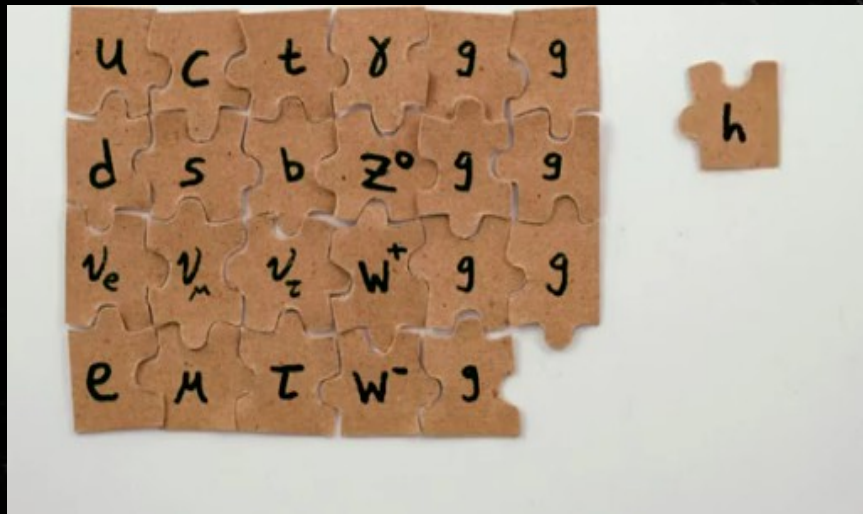
¿ Qué Higgs hemos detectado ?



# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

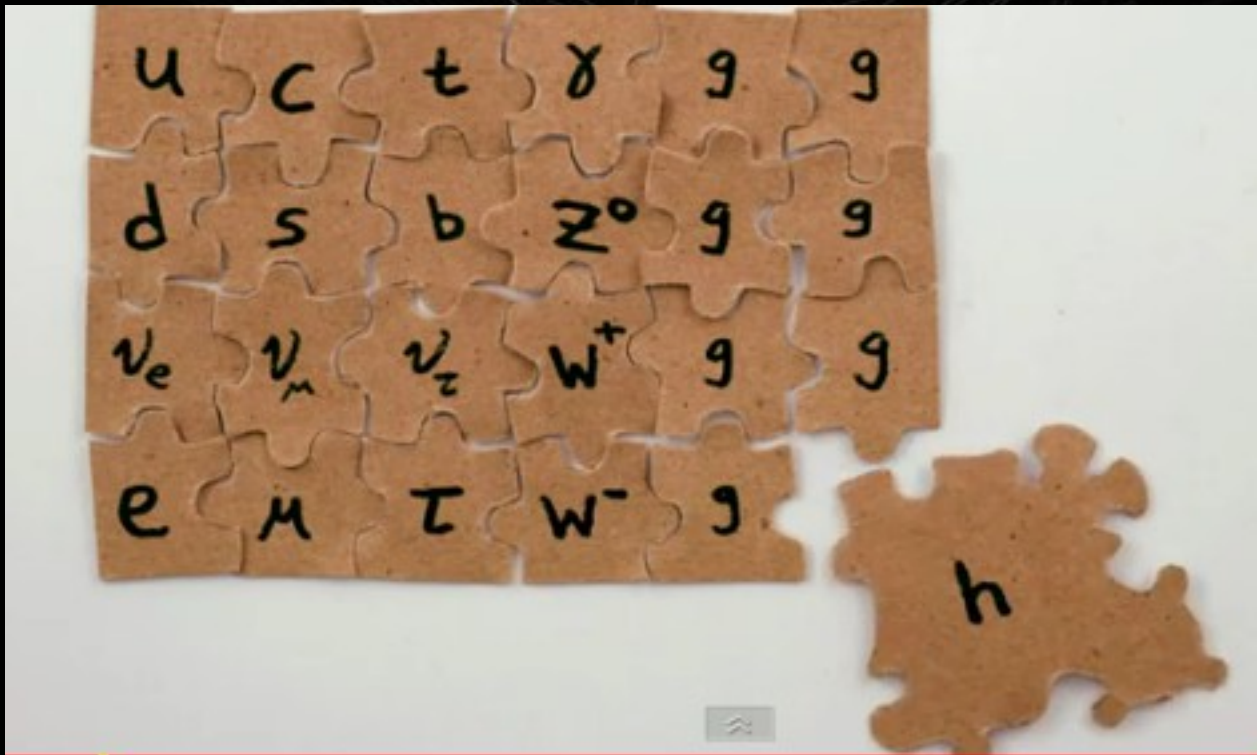
¿ Es el Higgs del Modelo Estándar ?



# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

¿ Es el Higgs de una nueva teoría ?





# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

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



# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

### Higgs

Ahora sabemos que existen bosones elementales.

Tal como predicen una gran variedad de teorías, pueden tener enorme significación en problemas actuales.

Asimetría materia – antimateria

Materia oscura

Energía oscura

# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

### Asimetría materia- antimateria

El campo de Higgs permite nuevos mecanismos de ruptura de la simetría CP

Bariogénesis

Leptogénesis

# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

### Asimetría materia- antimateria

Mecanismos de ruptura de simetría CP en las interacciones fuertes

Axiones

# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

Materia oscura

Bosones candidatos

Neutralino en SUSY

(fermiones socios-supersimétricos del Z-fotón-Higgs)

LSP



# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

Energía oscura

Energía del campo de Higgs/ similares

# El Higgs ha llegado

## 4. Futuro

### HIGGS

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

# El Higgs ha llegado

<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>

# El Higgs ha llegado

---



FIN