

# El CERN, el bosón de Higgs, arte y ciencia



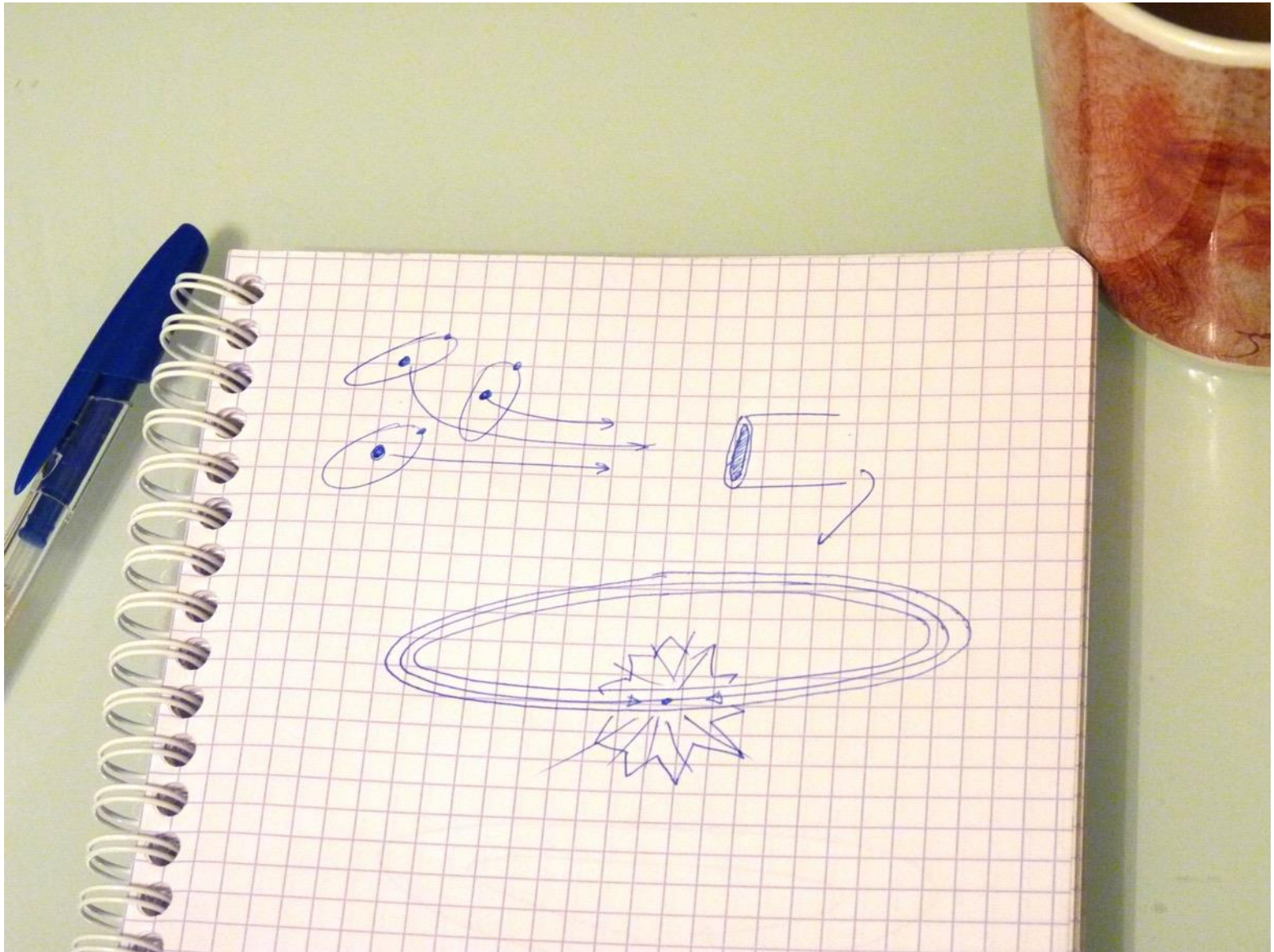
Luis Roberto Flores Castillo  
The Chinese University of Hong Kong



**ORIGIN Network / BUAP**

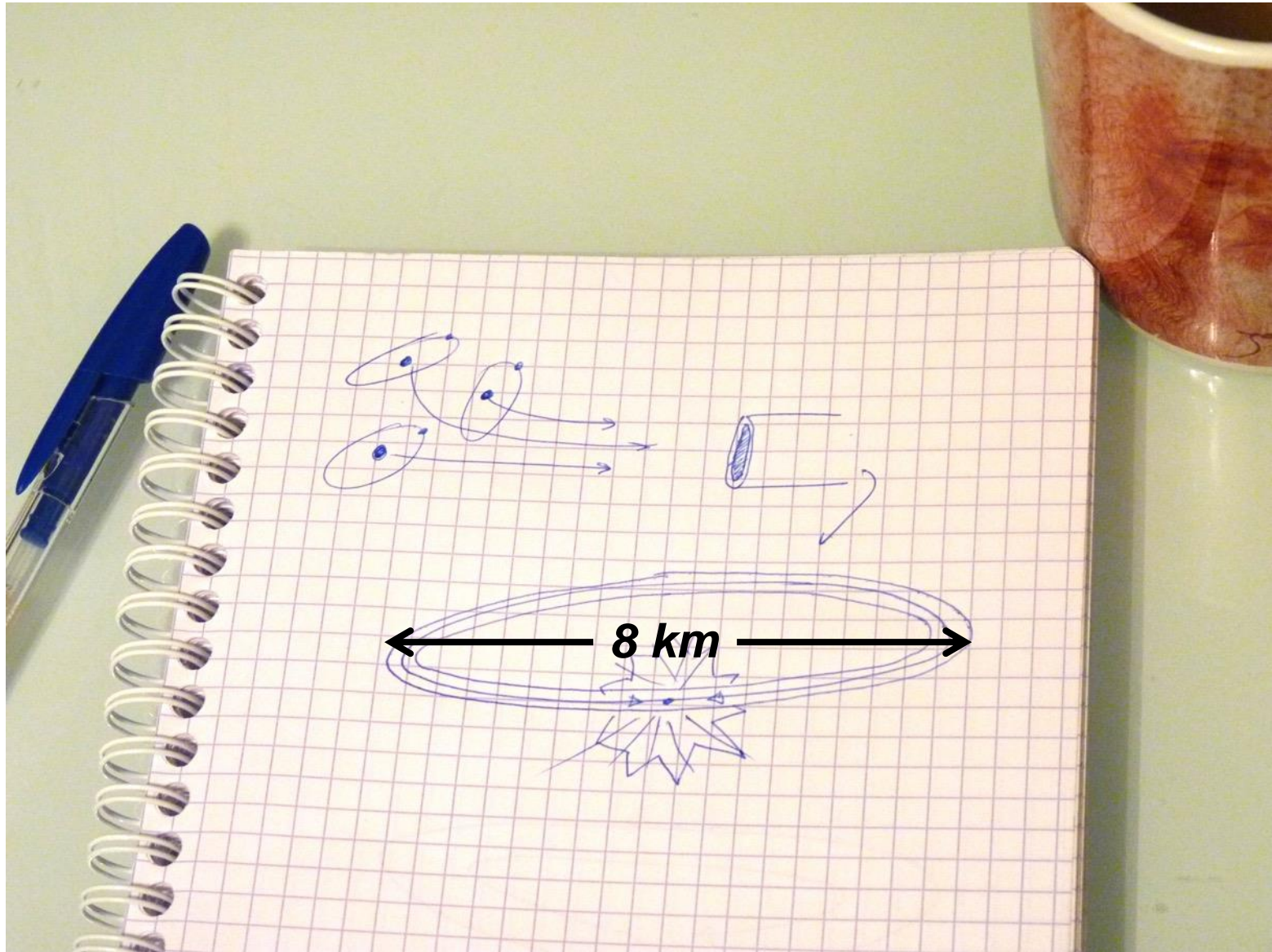
25 de Marzo de 2019

# Soñando en grande

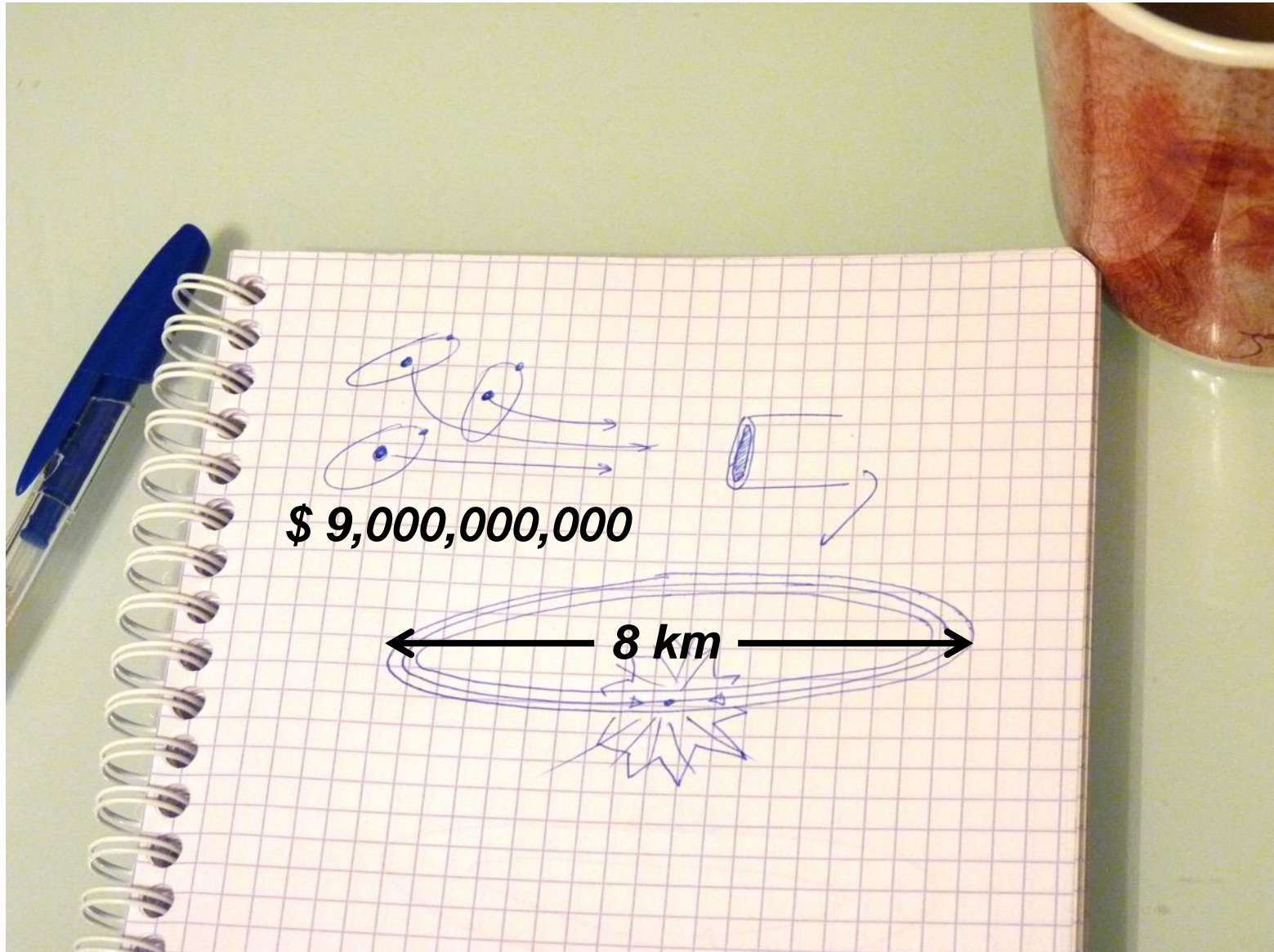




# Soñando en grande



# Soñando en grande





# Soñando en grande









4 de Julio de 2012



***“I think we have it” – Rolf Heuer, Director General de CERN***







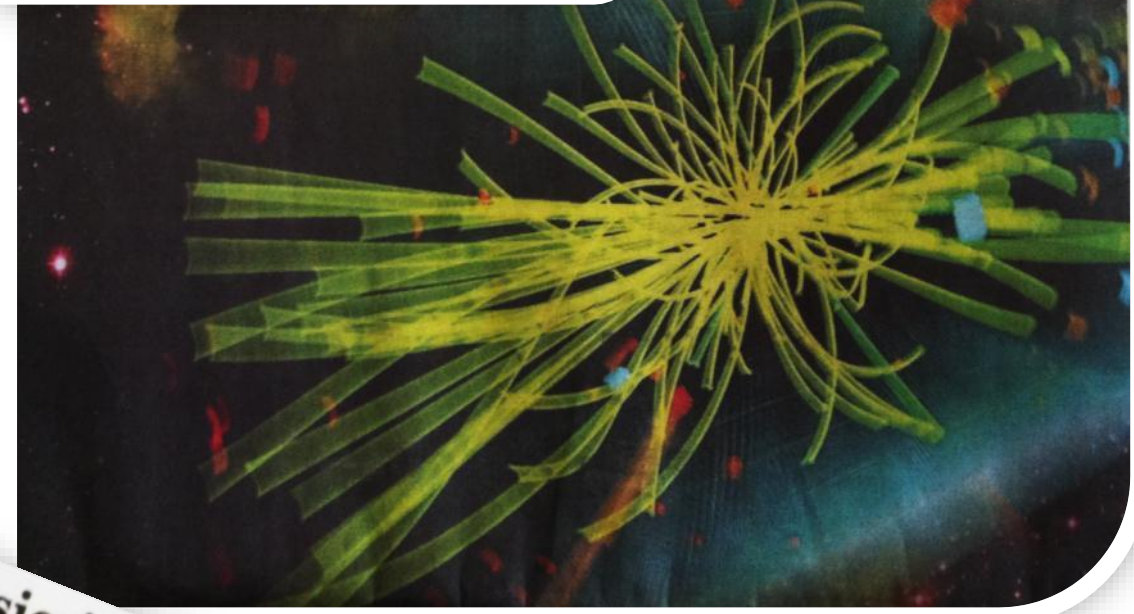
**International Herald Tribune**  
Discovery upends  
world of physics  
JULY 5, 2012

**The New York Times**  
A New Particle Could Be Physics' Holy  
Grail  
JULY 4, 2012

**AUSTRALIA**  
After 50 years – and billions of dollars  
the God particle is no longer a theory  
JULY 4, 2012

**THE AGE**  
THURSDAY, JULY 5, 2012  
NEWSPAPER OF THE YEAR  
Origin of universe revealed

JULY 5, 2012



**TIME**

The elusive Higgs boson is at last found—and  
the universe gets a little less mysterious

BY JEFFREY KLUGER

JULY 23, 2012

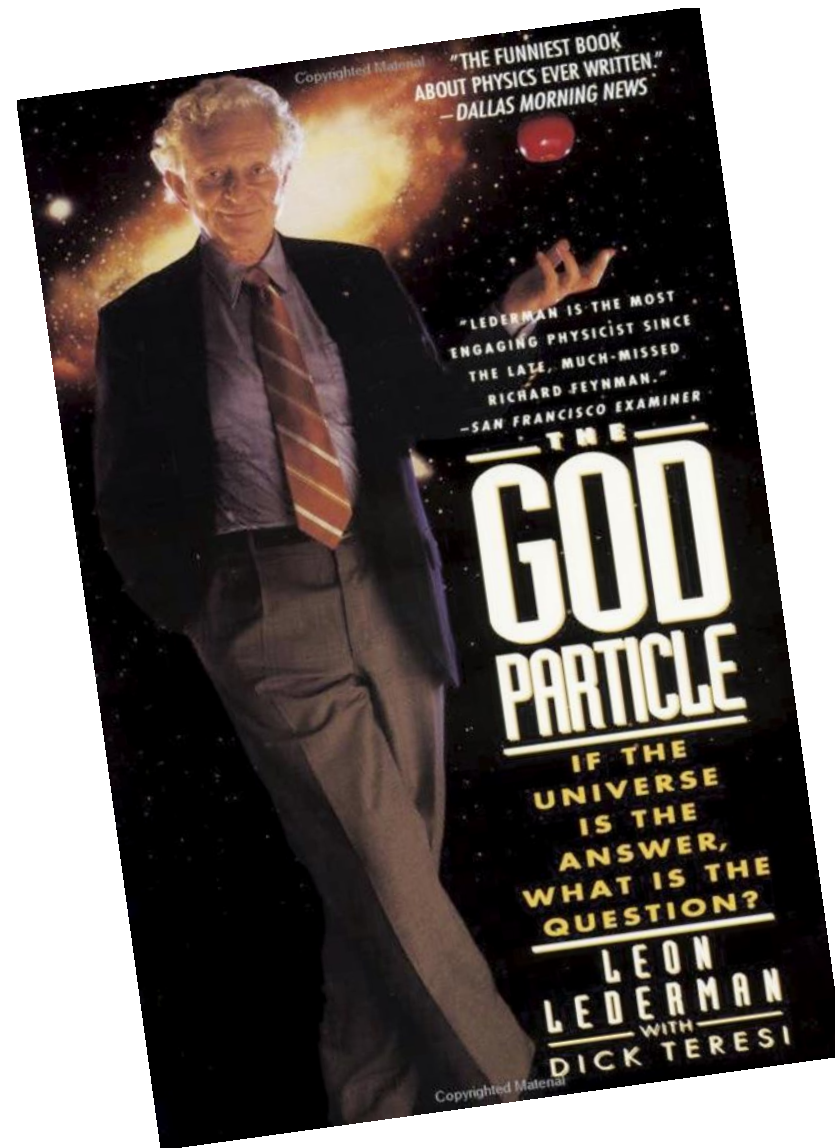
# ¿Por qué tanta atención?

Es una partícula muy famosa,

La llaman  
**la partícula de Higgs**

... o a veces  
**“la partícula de Dios”**

(pero no tiene **nada** que ver con Dios)





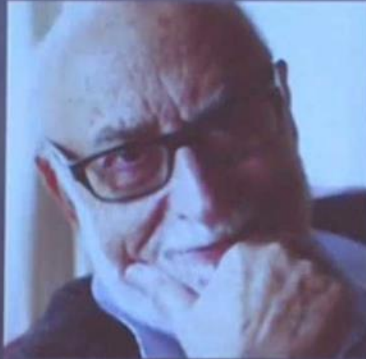
8 de octubre de 2013



Nobelpriset 2013

The Nobel Prize 2013

## The Nobel Prize in Physics 2013



**François Englert**  
Université Libre de Bruxelles, Belgium



**Peter W. Higgs**  
University of Edinburgh, UK

*"För den teoretiska upptäckten av en mekanism som bidrar till förståelsen av massans ursprung hos subatomära partiklar, och som nyligen, genom upptäckten av den förutsagda fundamentala partikeln, bekräftats av ATLAS- och CMS-experimenten vid CERN:s accelerator LHC."*

*"For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider."*

 [Nobelprize.org](http://Nobelprize.org)  
© Kungl. Vetenskapsakademien

¿Qué es el bosón de Higgs?



















# Bloques fundamentales

Periodic Table of Elements  
© AllAboutGemstones.com

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
IA	1																	VIIIA	2
1	H																		He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	+	Rf	Ha	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg		Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	
	<i>s-block</i>		<i>d-block</i>										<i>p-block</i>						
<i>f-block</i>	Lanthanide Series		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
			*La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
	Actinide Series		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
			+Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

<b>H - Gas</b>	<b>Li - Solid</b>	<b>Br - Liquid</b>	<b>Tc - Synthetic</b>
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Elements

- ~1869, Mendeleev publicó “Principios de la química”
- Toda esa complejidad a partir de ~100 “elementos”



# ¿Fundamentales?

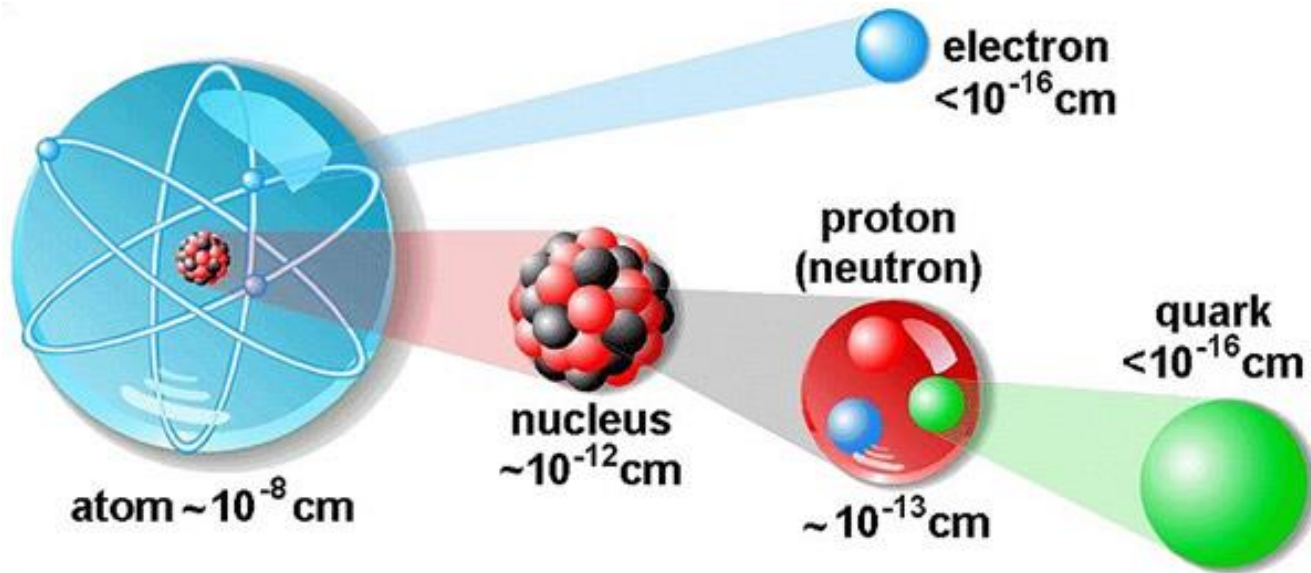
Periodic Table of Elements  
© AllAboutGemstones.com

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 <b>H</b>																		2 <b>He</b>
2	3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>																	10 <b>Ne</b>
3	11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>																	18 <b>Ar</b>
4	19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>															36 <b>Kr</b>
5	37 <b>Rb</b>	38 <b>Sr</b>	39 <b>Y</b>	40 <b>Zr</b>															54 <b>Xe</b>
6	55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57 *	72 <b>Hf</b>															86 <b>Rn</b>
7	87 <b>Fr</b>	88 <b>Ra</b>	89 +	104 <b>Rf</b>															118 <b>Og</b>
Block	s-block																		
f-block	Lanthanide Series		57 * <b>L</b>																
	Actinide Series		89 + <b>A</b>																

**H - Gas**

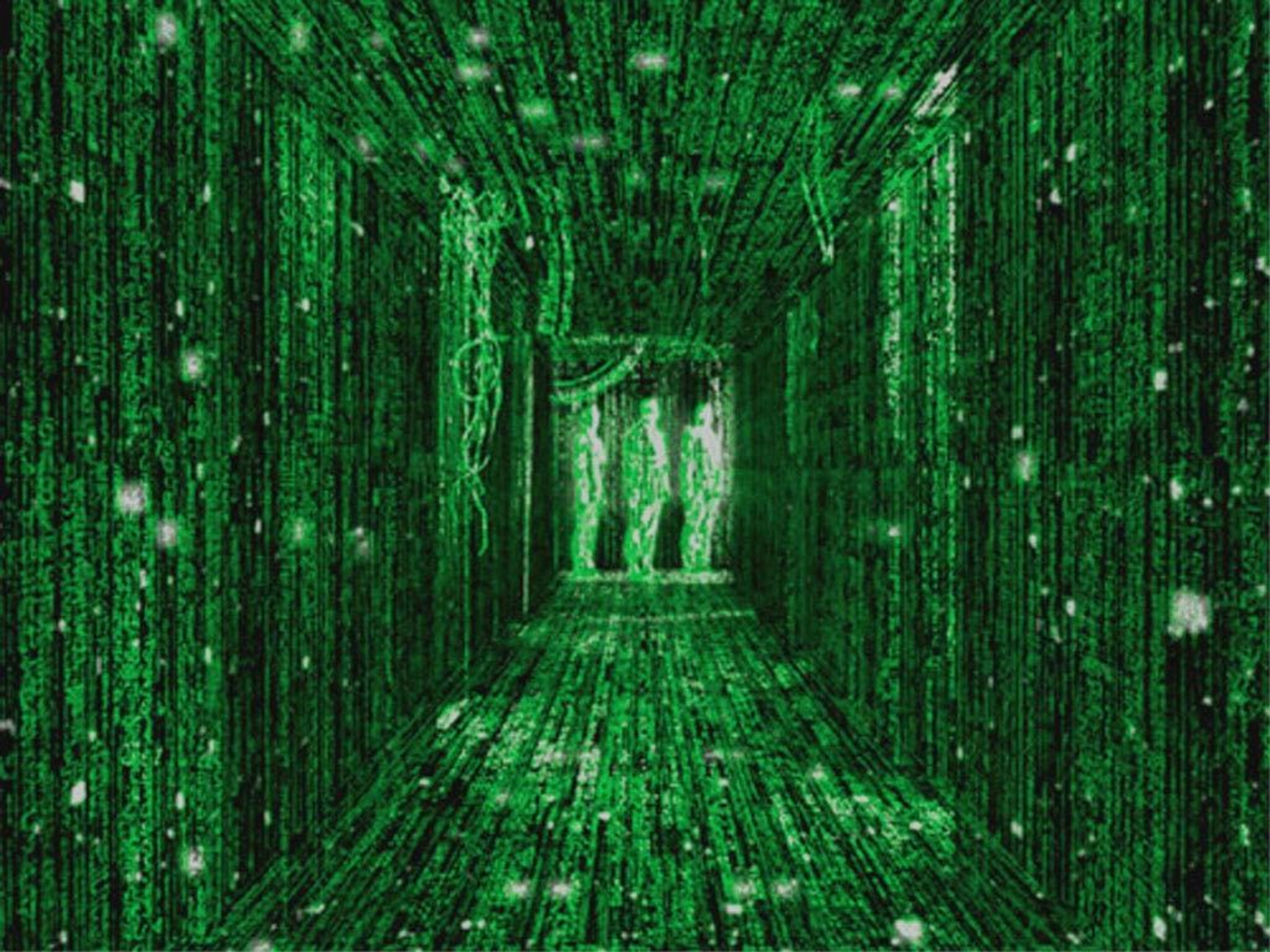
Non-Metals (Green)

Alkali Metals (Yellow)



**TODOS son combinaciones de TRES partículas.**







# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...

*u*  
up

*d*  
down

*e*  
electron

# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...

$u$   
up

$d$   
down

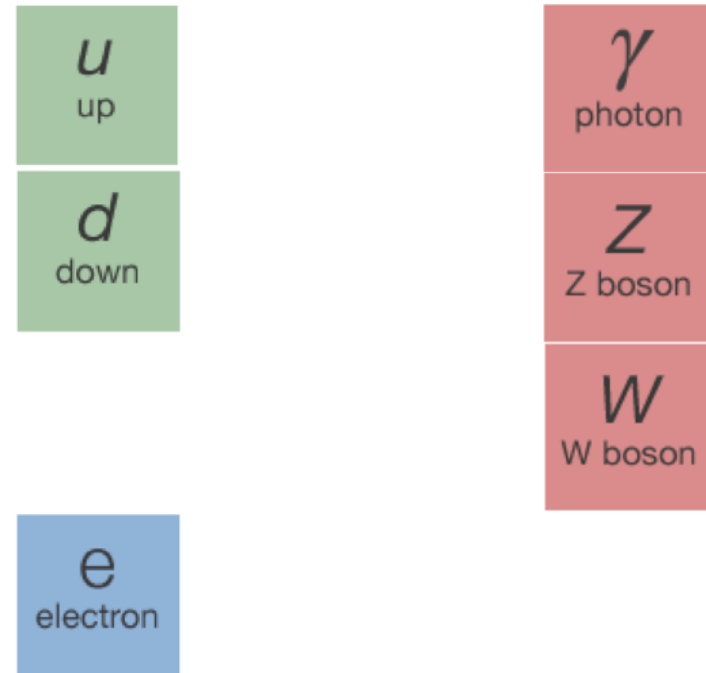
$e$   
electron

$\gamma$   
photon



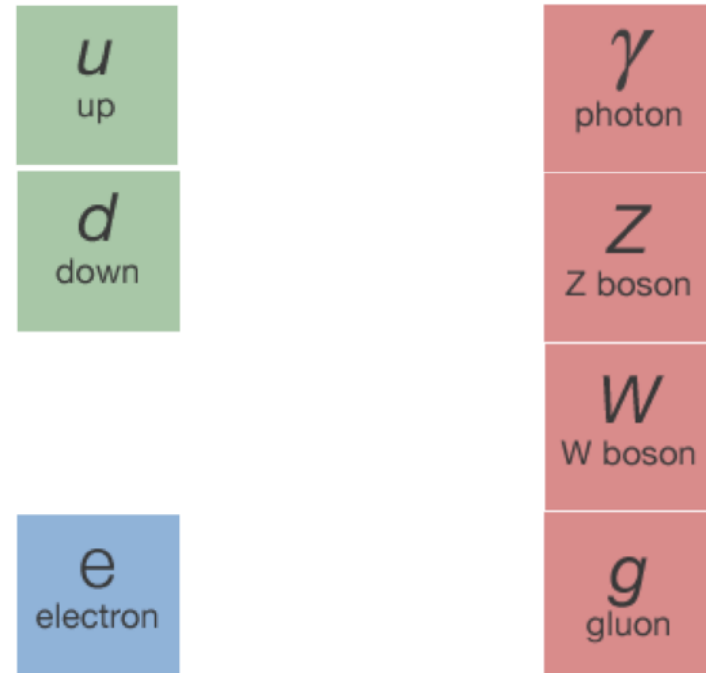
# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...



# Componentes y estructura

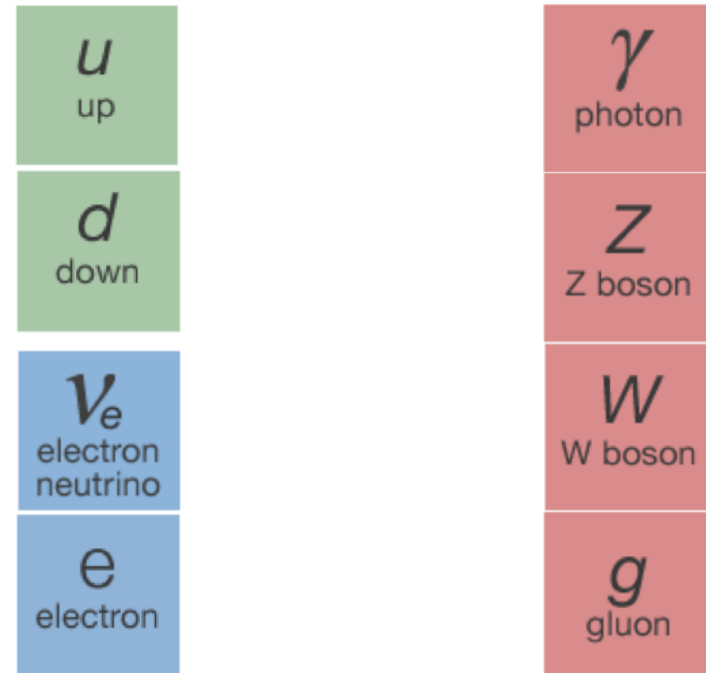
- Además de esas tres ...





# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...



# Componentes y estructura

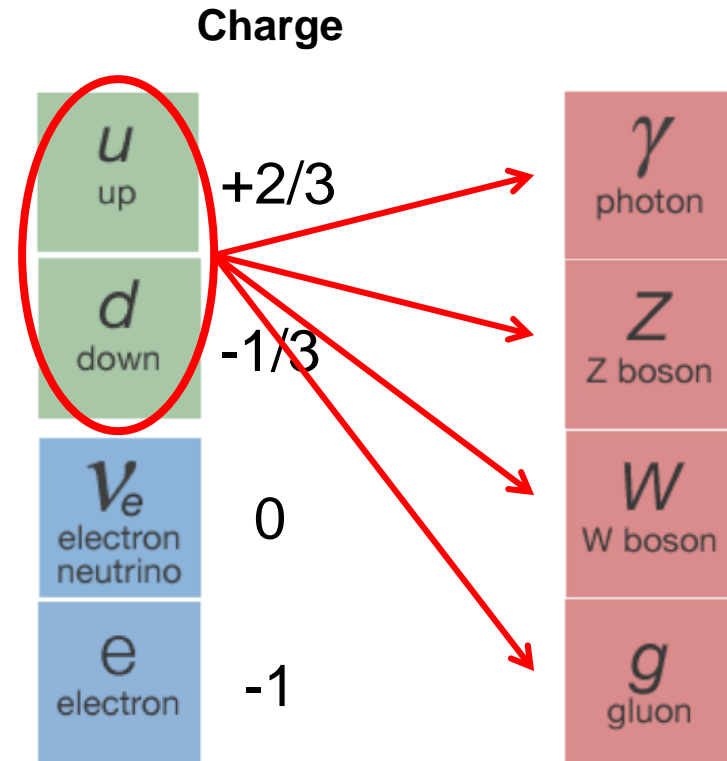
- Además de esas tres ...

Charge		
$u$ up	+2/3	$\gamma$ photon
$d$ down	-1/3	$Z$ Z boson
$\nu_e$ electron neutrino	0	$W$ W boson
$e$ electron	-1	$g$ gluon



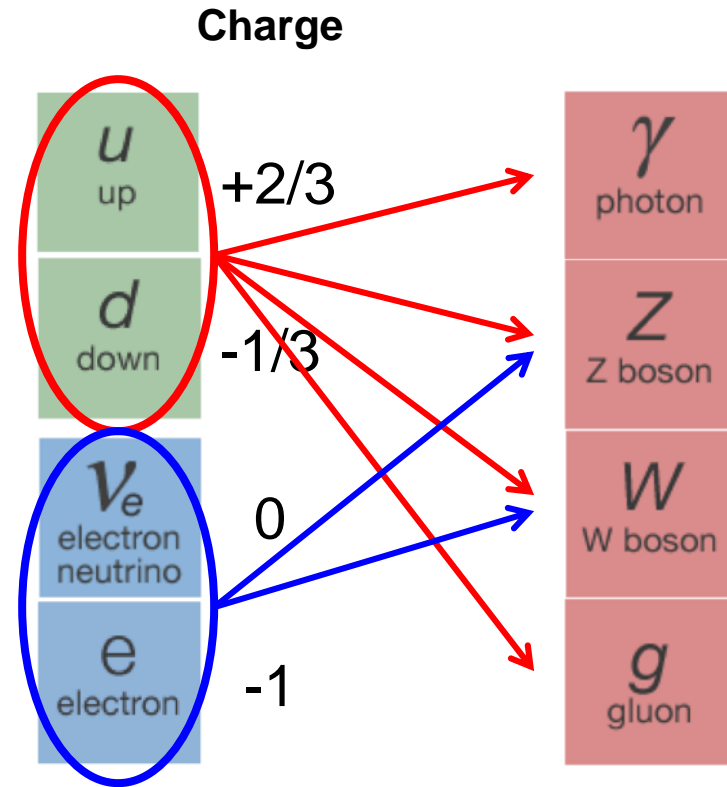
# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...



# Componentes y estructura

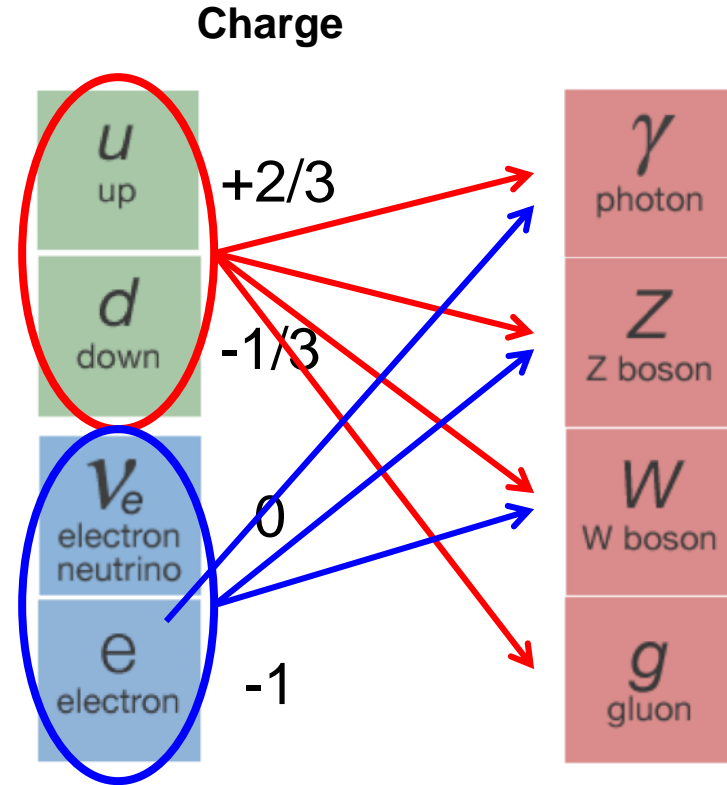
- Además de esas tres ...





# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...



# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...

$u$ up	$c$ charm	$\gamma$ photon
$d$ down	$s$ strange	$Z$ Z boson
$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$W$ W boson
$e$ electron	$\mu$ muon	$g$ gluon



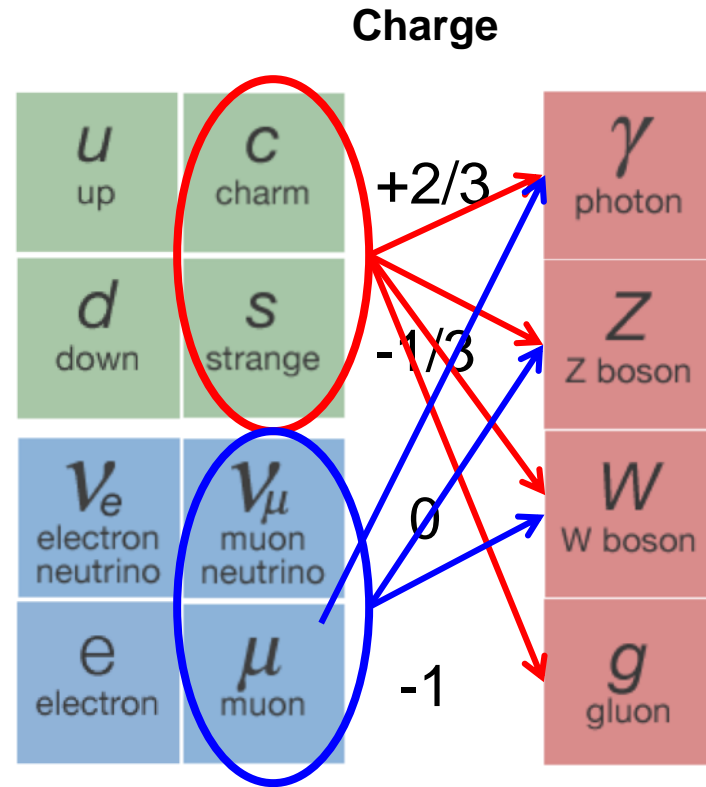
# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...

		Charge	
$u$ up	$c$ charm	$+2/3$	$\gamma$ photon
$d$ down	$s$ strange	$-1/3$	$Z$ Z boson
$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$0$	$W$ W boson
$e$ electron	$\mu$ muon	$-1$	$g$ gluon

# Componentes y estructura

- Además de esas tres ...





# Componentes y estructura

- Además de esas tres, hay **14 adicionales**
- Describen **casi todos los fenómenos físicos** conocidos
- Hacia 1964, había un problema: sólo funcionaba si **las partículas elementales** tuvieran masa **CERO**

	Fermions			Bosons	
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	$\gamma$ photon	Force carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	$W$ W boson	
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$g$ gluon	

Source: AAAS

# ¿Masa = cero?

- La “masa” es la oposición a convertir **energía** en **movimiento**  
Pelota de playa negra vs bola de boliche:  
a menor masa, mayor la velocidad adquirida
- ¿ Hay partículas con masa = 0 ?  
Sí: **fotones** y **gluones** viajan a la velocidad de la luz
- ¿Qué pasaría si todas viajaran a la velocidad de la luz?
  - No habría átomos, estrellas, planetas, ni vida
  - El universo sería como de rayos de luz en todas direcciones
- En 1964, **Higgs**, **Englert+Brout**, **Guralnik+Hagen+Kibble** encontraron una solución postulando un nuevo campo,  
**... y una nueva partícula elemental.**





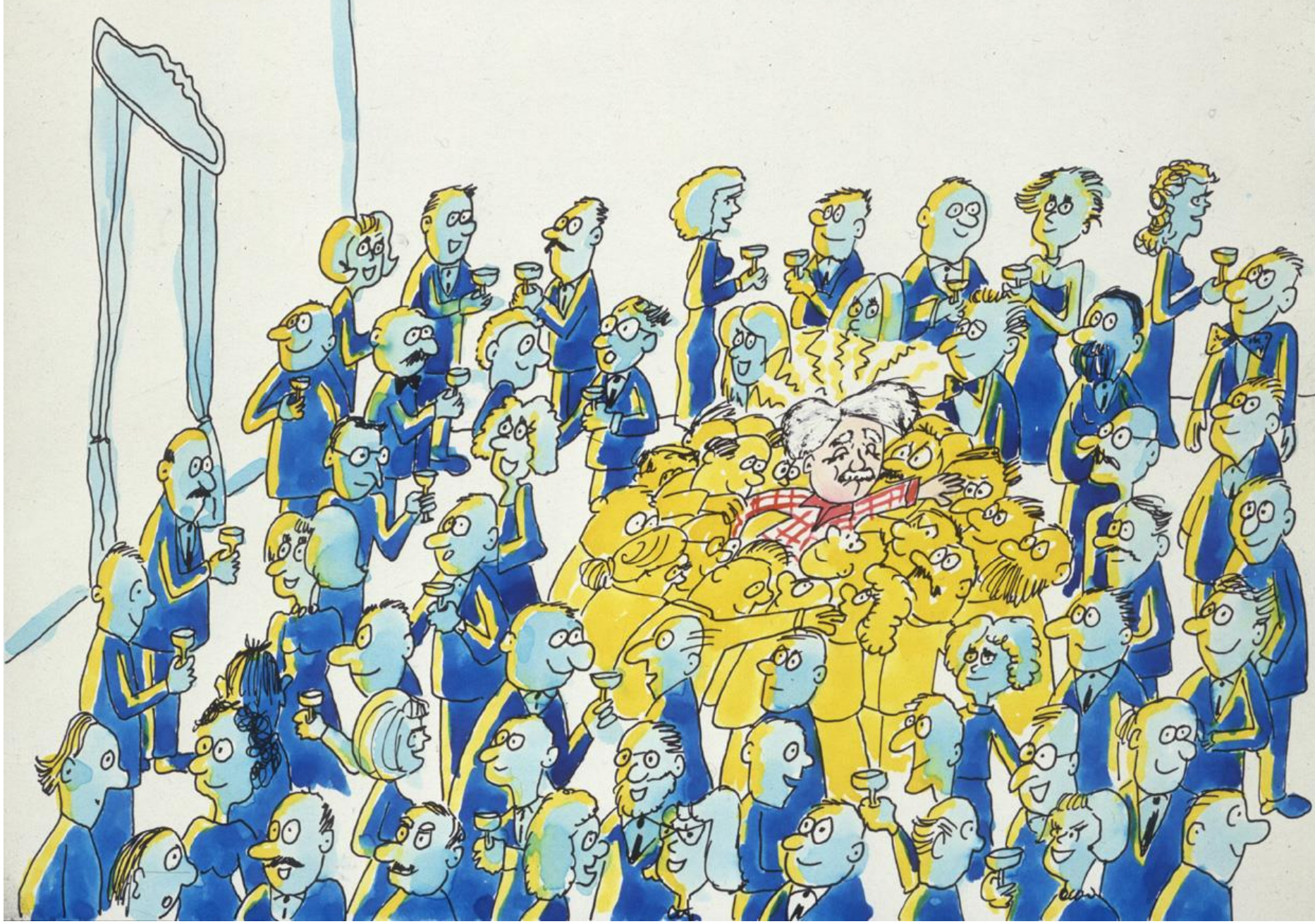
Prof. David J. Miller





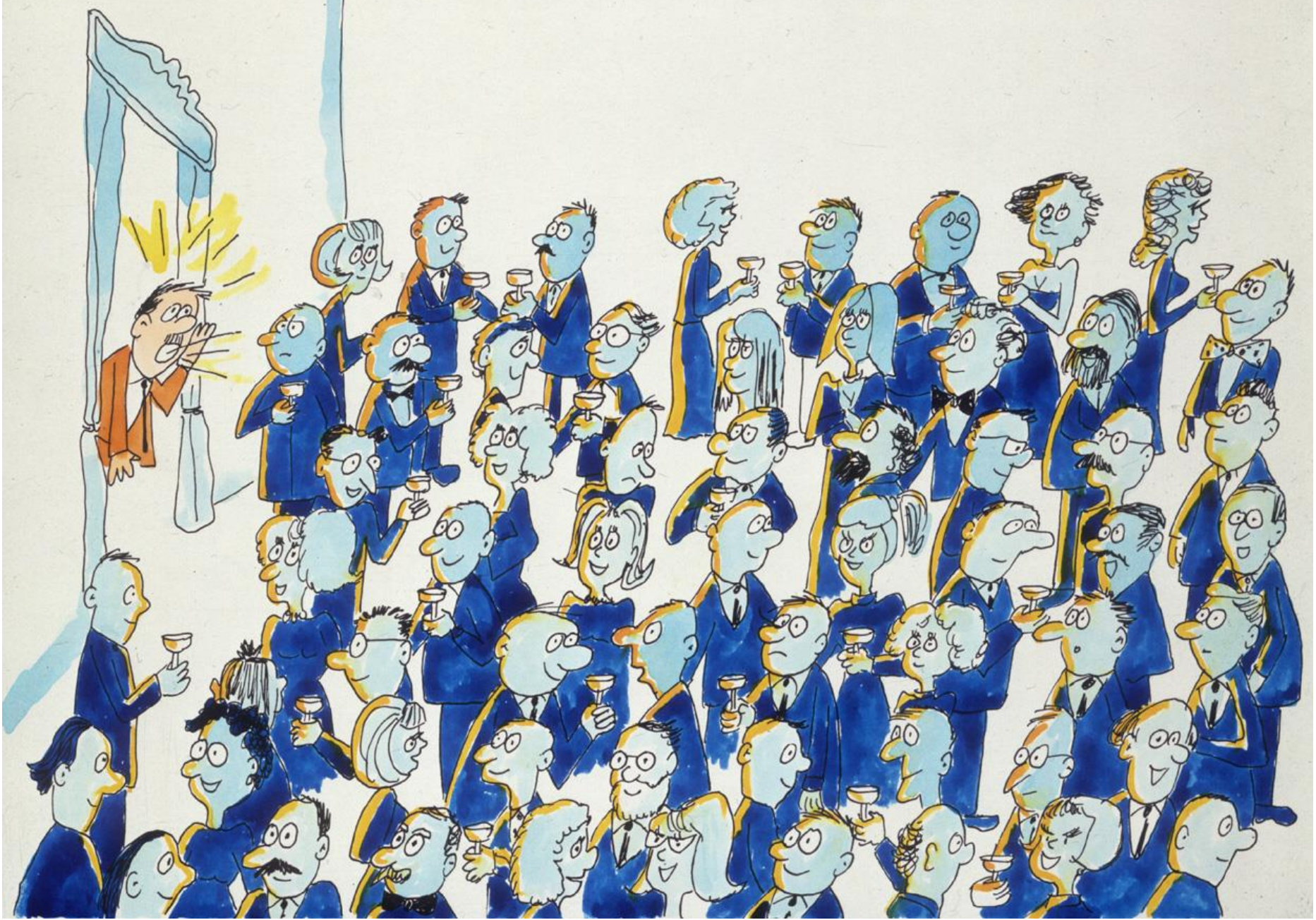
Prof. David J. Miller





Prof. David J. Miller





Prof. David J. Miller





Prof. David J. Miller

“For every complex problem there is an answer that is clear, simple, ...



“For every complex problem there is an answer that is clear, simple, and wrong.”

– H. L. Mencken





¿Cómo se descubre  
una partícula?

# Organización Europea para la Investigación Nuclear

El descubrimiento tuvo lugar en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN).

**CERN: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire**  
[Nombre oficial: Organización Europea para la Investigación Nuclear]

Fundado en 1954 con  
12 países europeos.

Actualmente 21 estados  
miembros.

Hogar del acelerador de  
partículas mas grande y  
potente del mundo.





# LHC

Aeropuerto  
de Ginebra

- 27 km de circunferencia, 50-150 m bajo tierra
- Dos haces de protones casi a la velocidad de la luz
- Energía almacenada: 350 MJ (~TGV a 155 km/h)



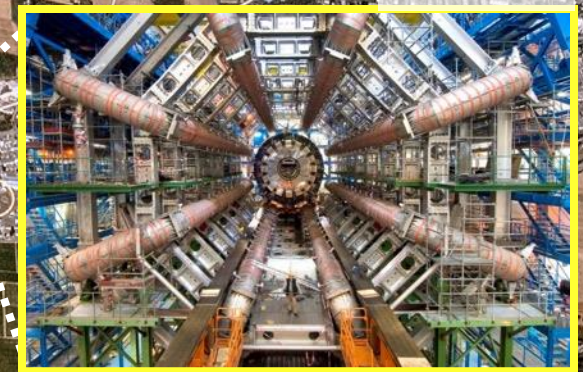
# LHC



- ~1600 magnetos superconductores
- Nubes de  $1.15 \times 10^{11}$  protones: 30 micras por varios cm
- 40 millones de cruces por segundo



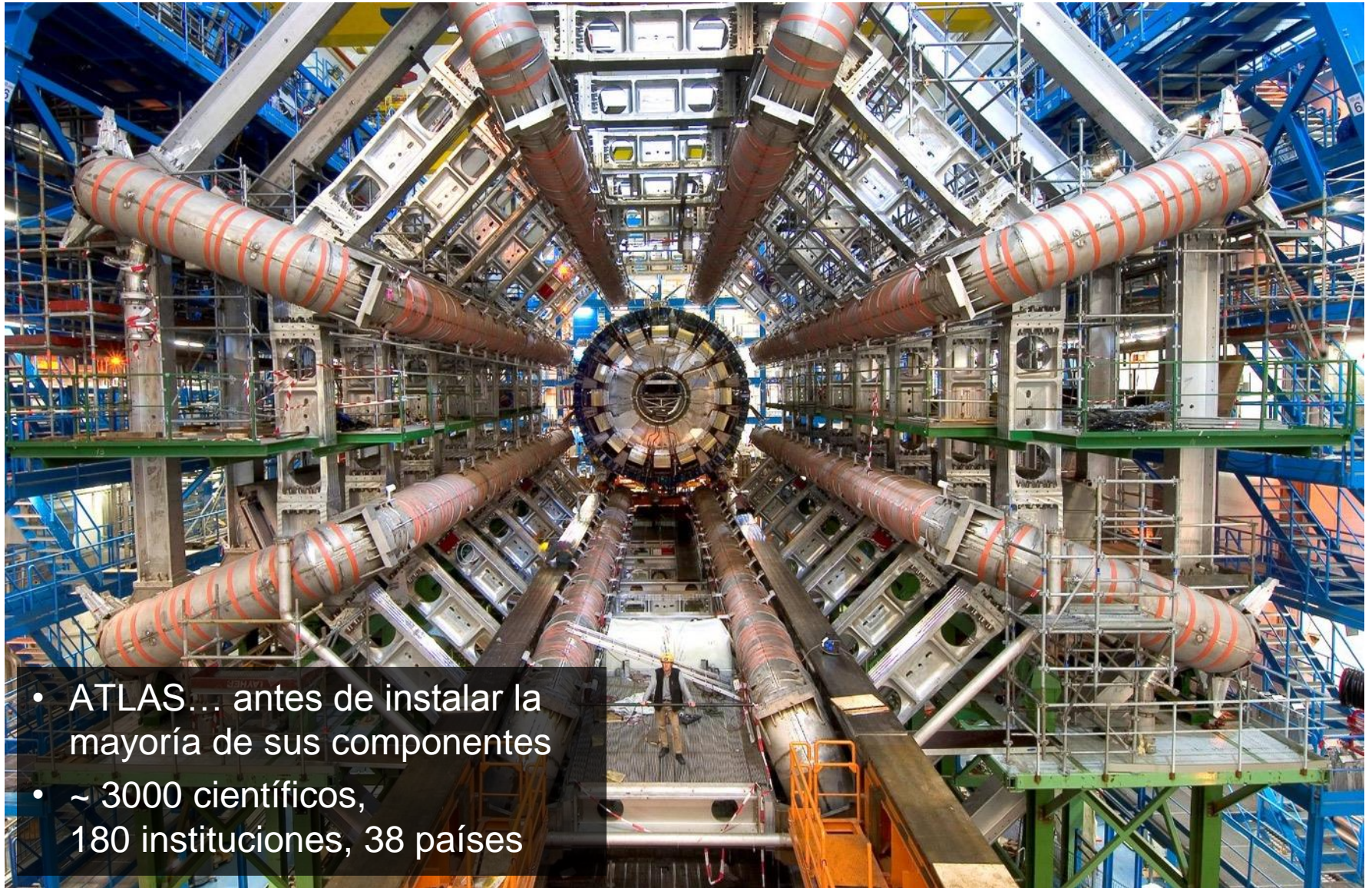
# LHC



- Cuatro puntos de colisión
- Un detector en cada uno
- Descubrimiento: ATLAS, CMS



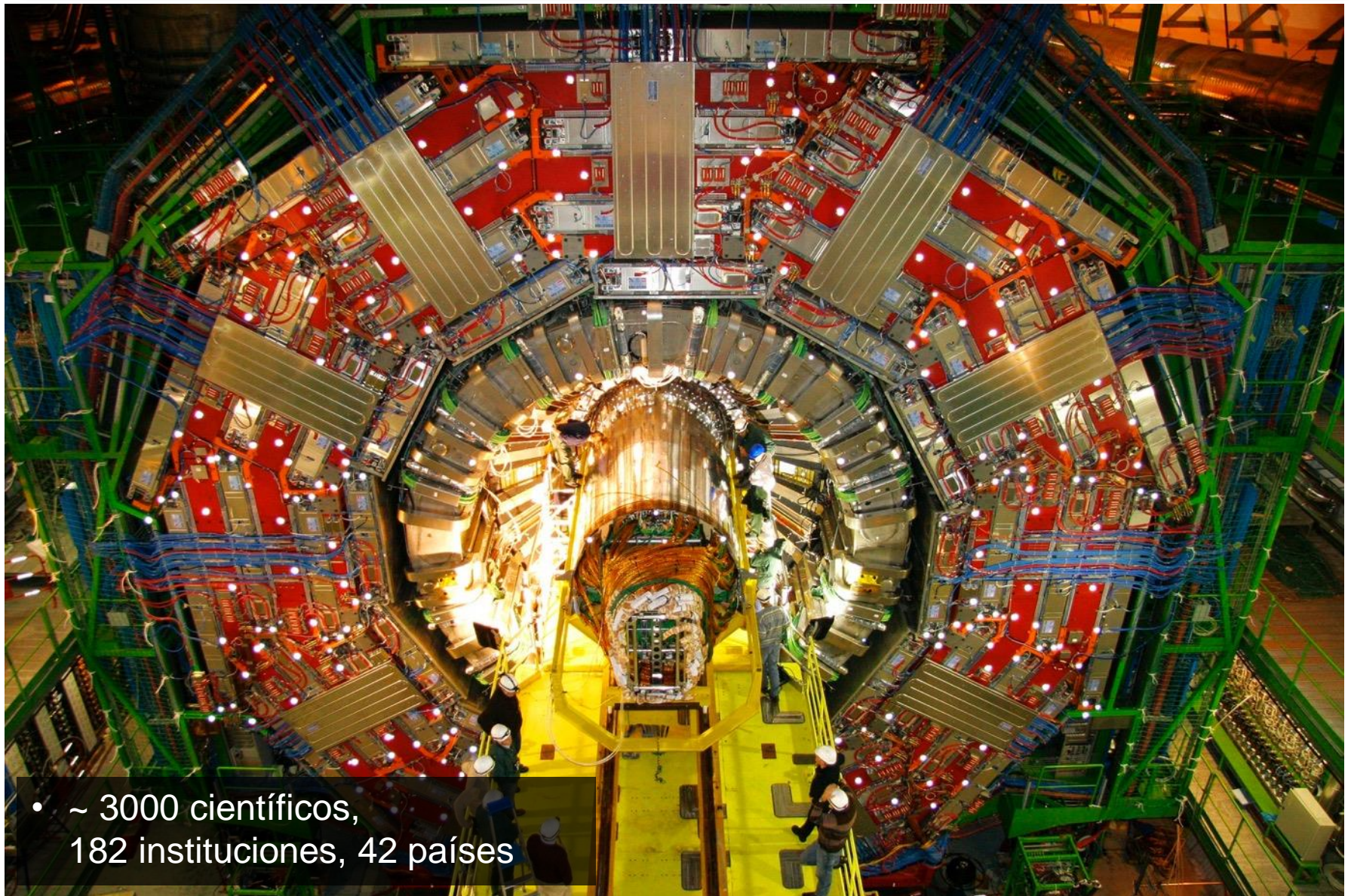
# ATLAS



- ATLAS... antes de instalar la mayoría de sus componentes
- ~ 3000 científicos, 180 instituciones, 38 países



# CMS



- ~ 3000 científicos,  
182 instituciones, 42 países

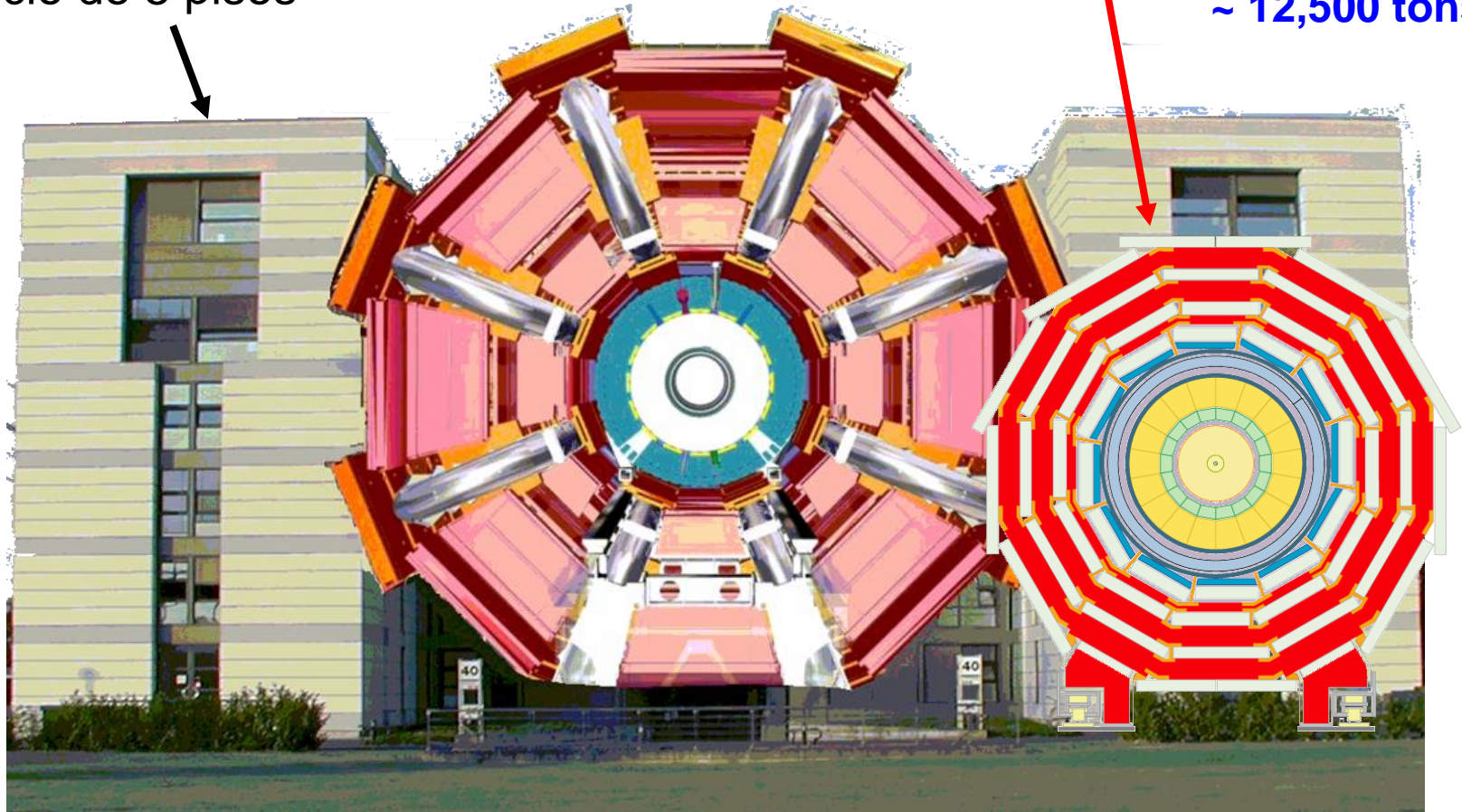


# Detectores

**ATLAS** ~ 25 m × 45 m  
~ 7,000 tons

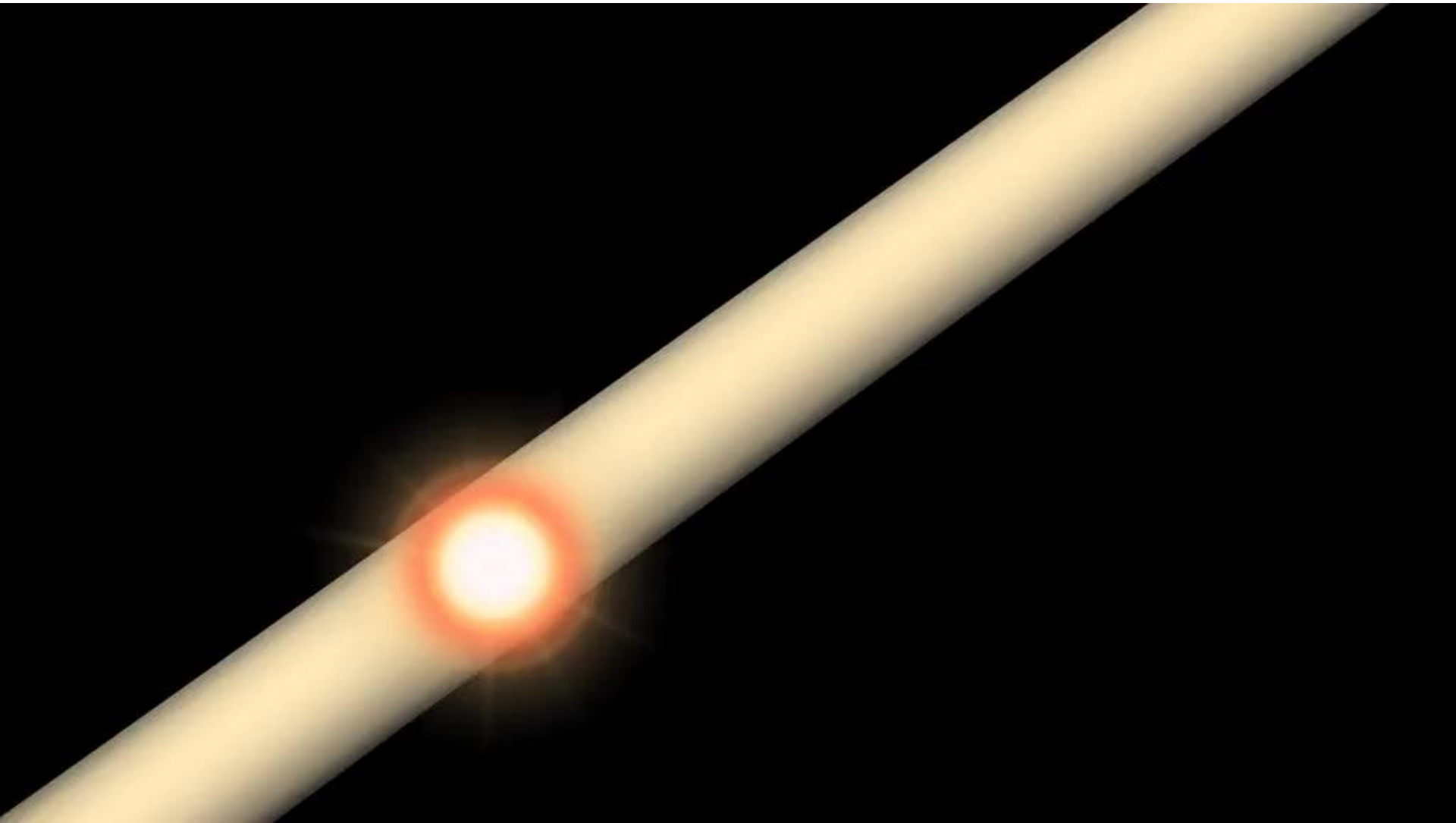
**CMS** ~ 15 m × 21.5 m  
~ 12,500 tons

Edificio de 5 pisos

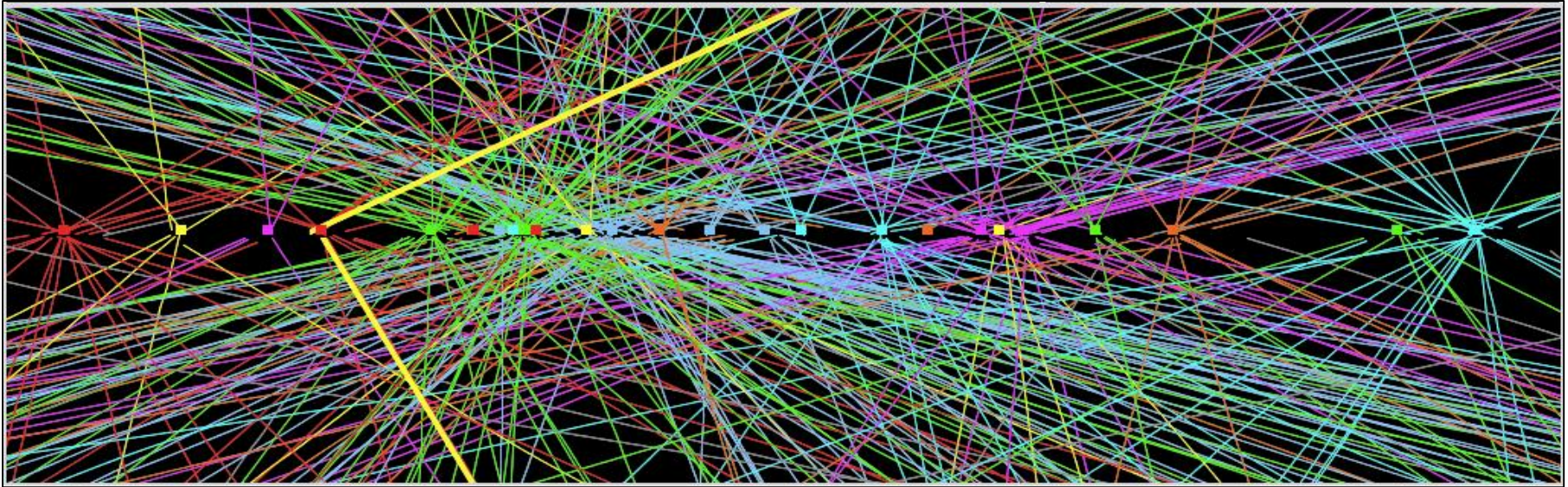


- Alrededor de 100 millones de sensores cada uno
- Mucho más que una cámara de 12 megapíxeles, 40 millones fotos/seg





# Información generada

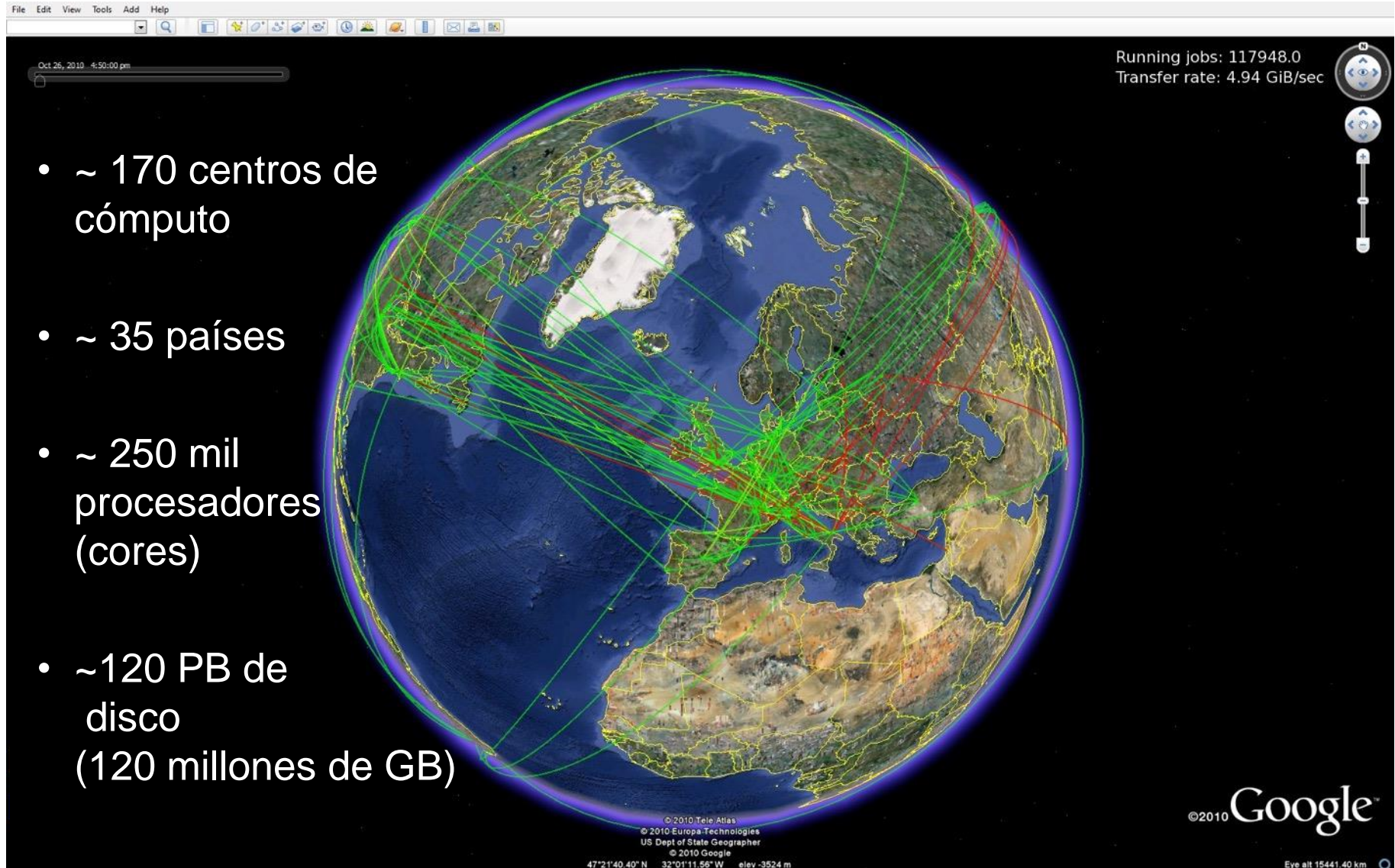


Evento  $Z \rightarrow \mu\mu$  de 2012 con 25 vértices reconstruidos

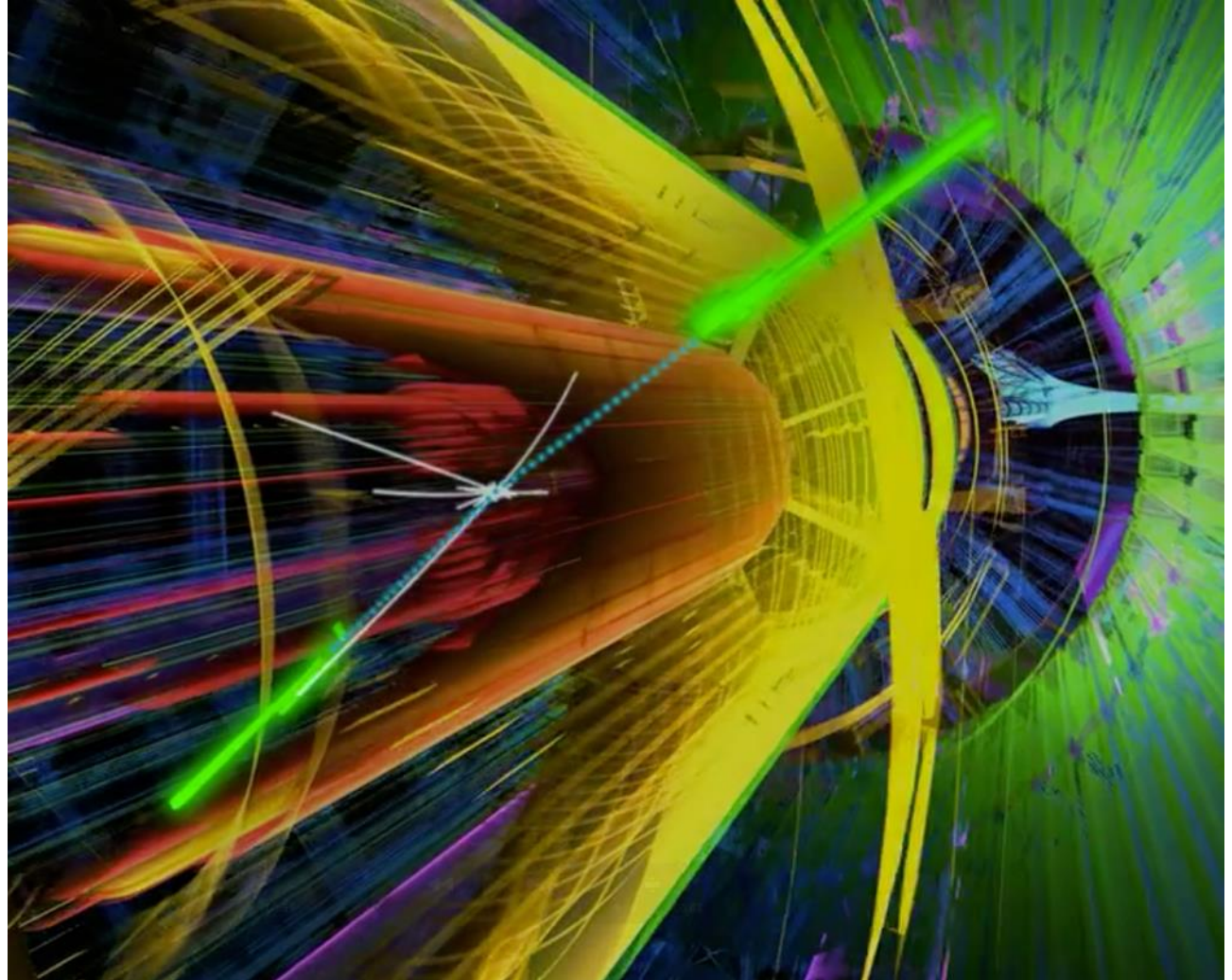
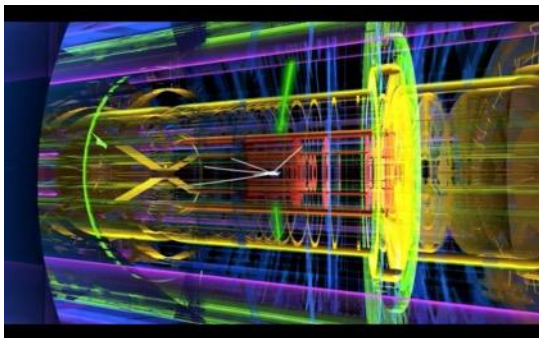
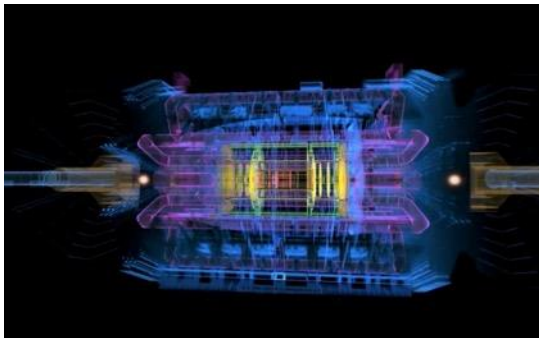
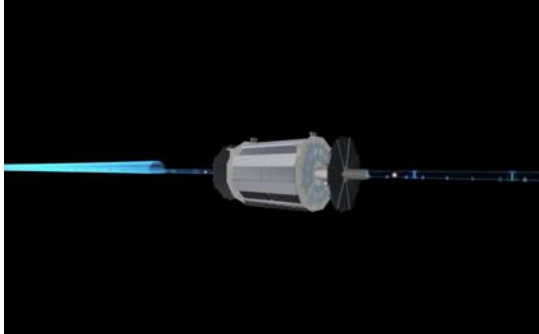
- En cada cruce,  $\sim 20$  interacciones  $pp$
- 40 M de cruces por segundo  $\times$  20 pp por cruce, espacios: 600 M pp/s
- Una primera etapa de proceso escoge “sólo” 400 colisiones/s
- Cada colisión pp produce cientos de partículas que deben almacenarse
- Si lo almacenáramos en CD's de música, ...



# Red mundial de cómputo

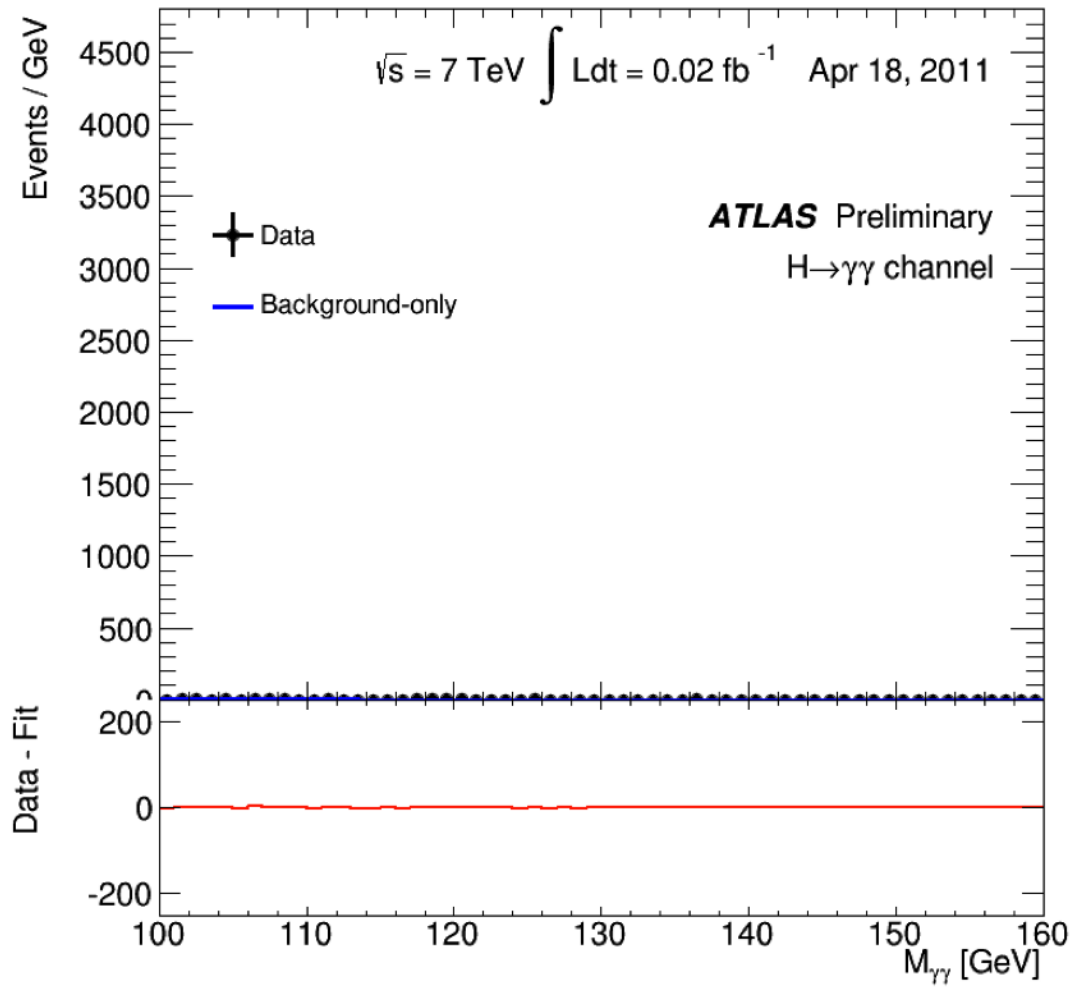


$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

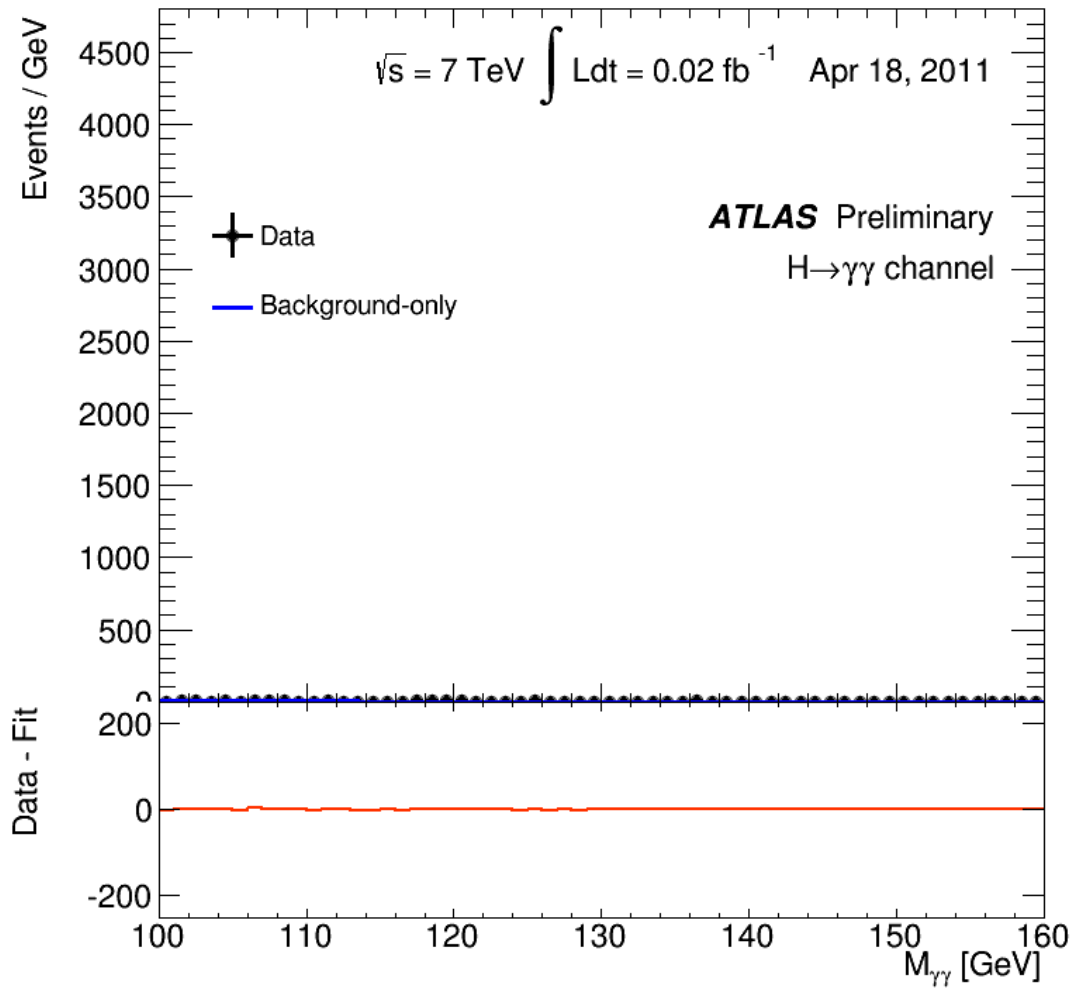




# H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$

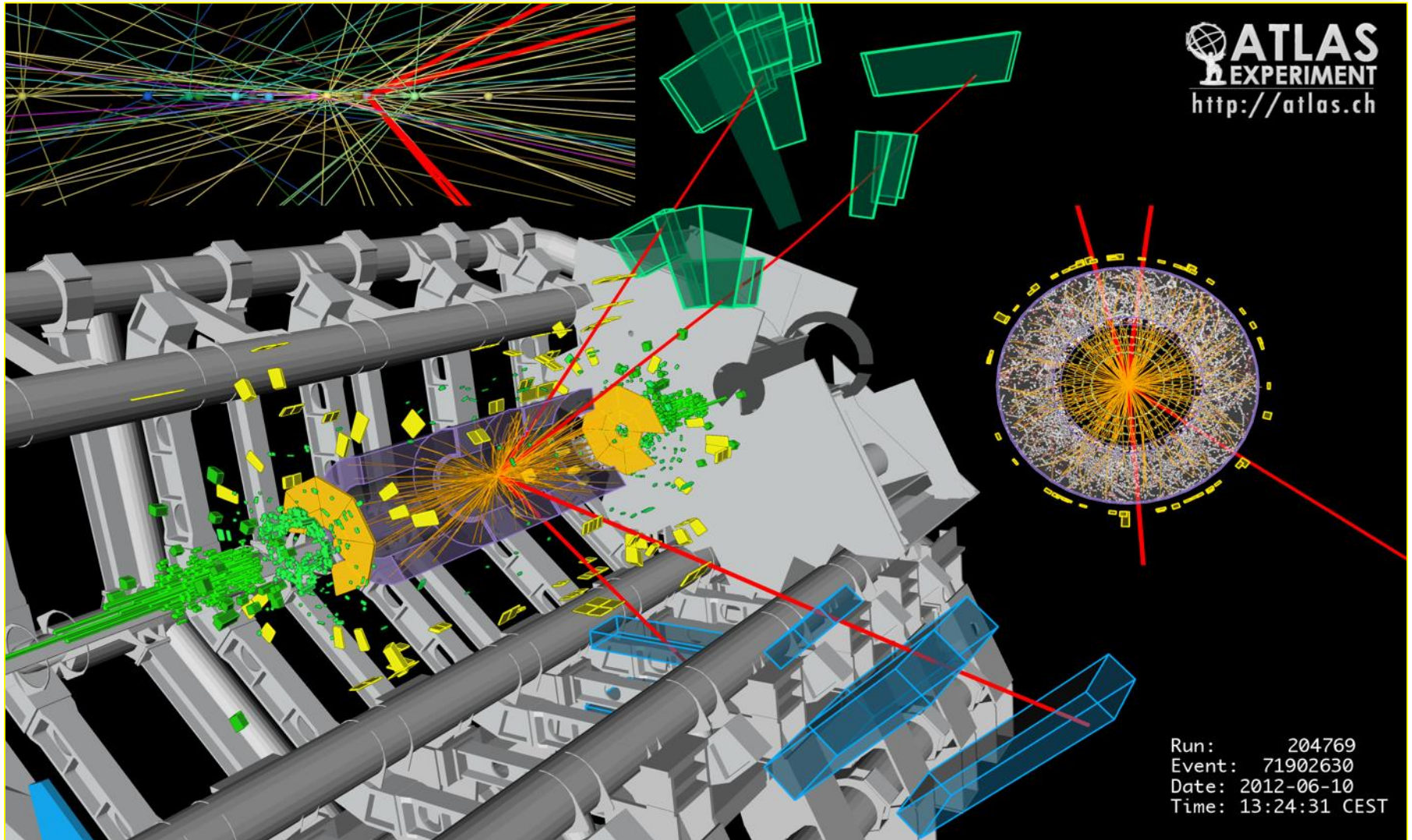


# H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$





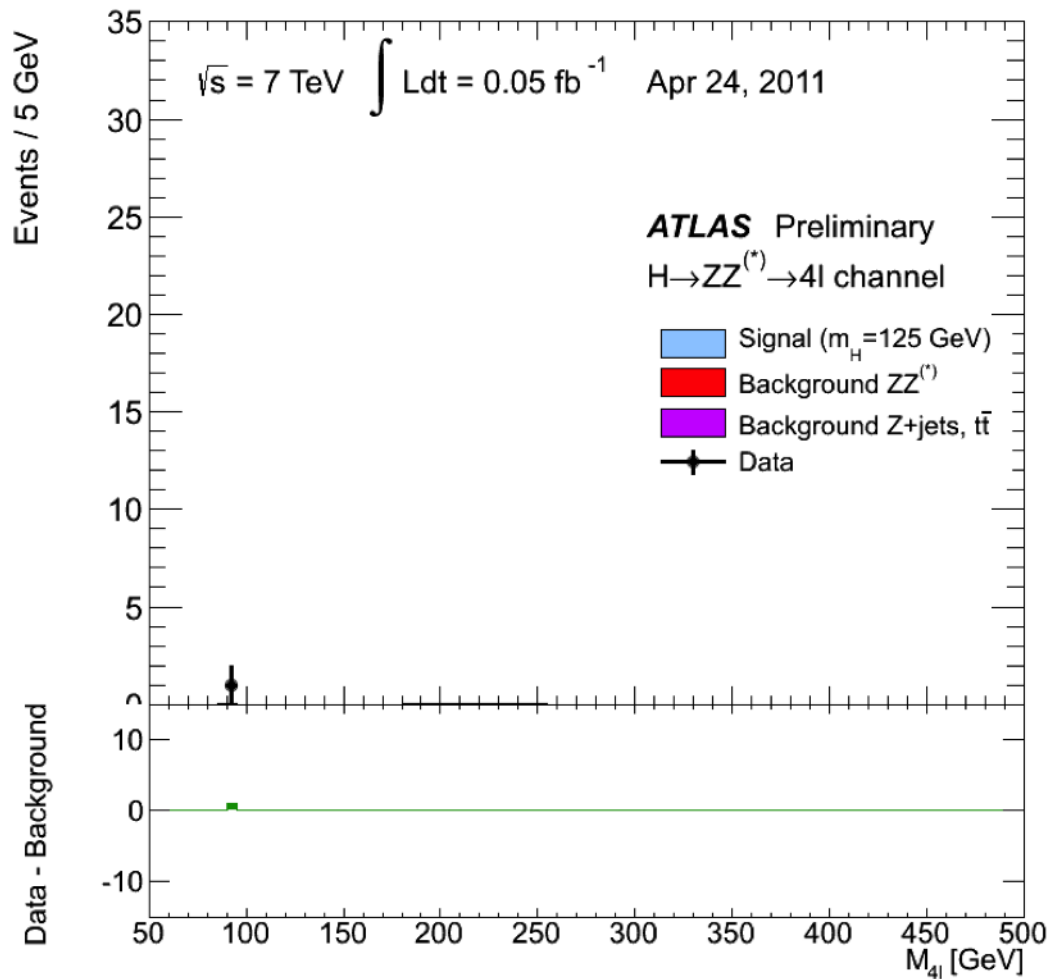
# $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



**Candidato a  $H$  to  $4\mu$ , with  $m_{4\mu}=125.1 \text{ GeV}$**

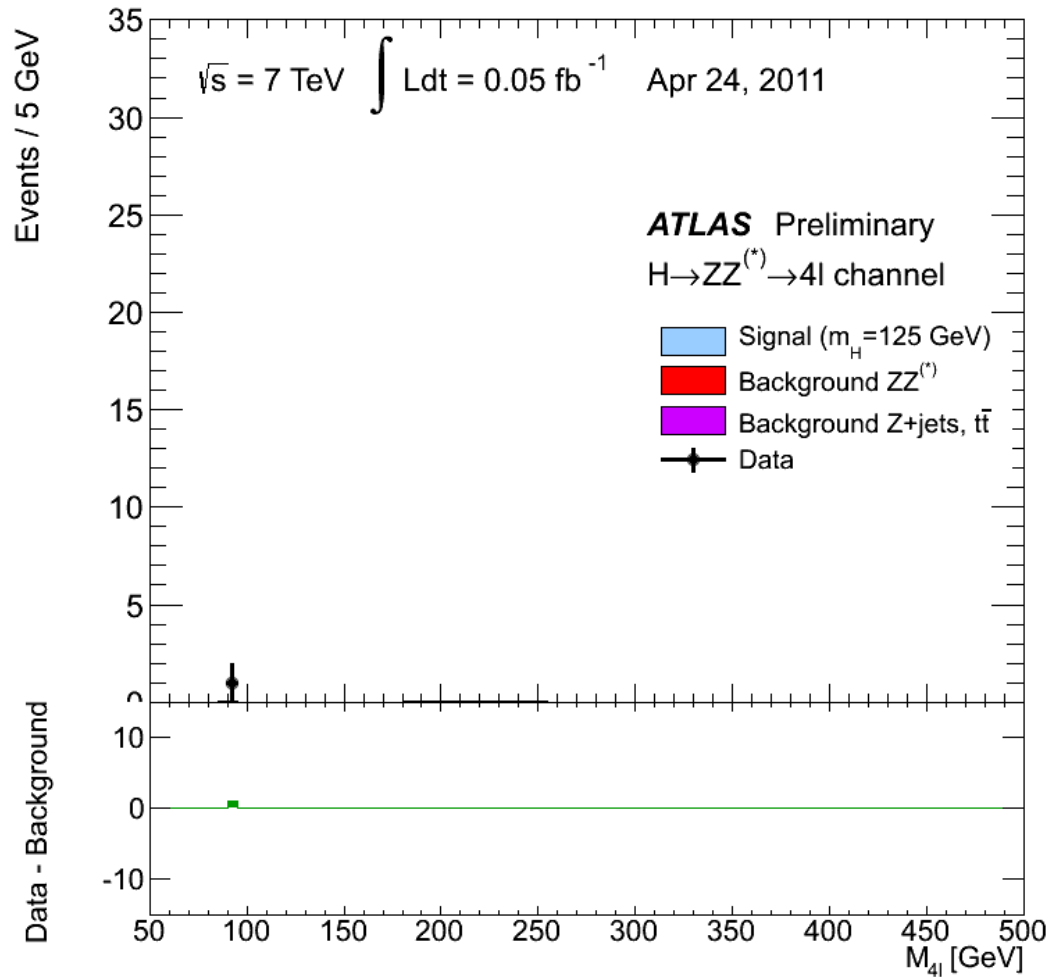
$p_T$  (muones)= 36.1, 47.5, 26.4, 71.7 GeV  $m_{12}= 86.3 \text{ GeV}$ ,  $m_{34}= 31.6 \text{ GeV}$ . 15 vértices reconstruídos

# $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



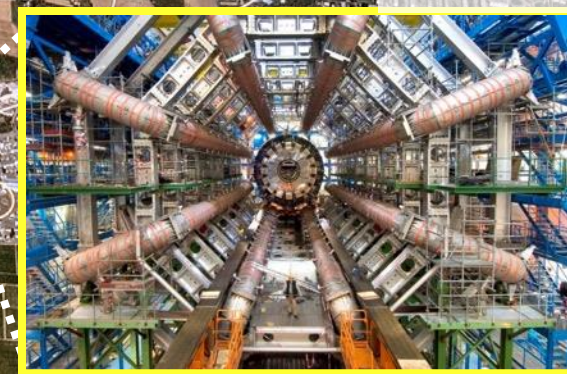
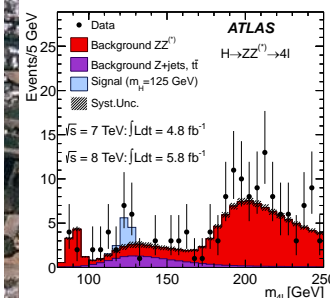
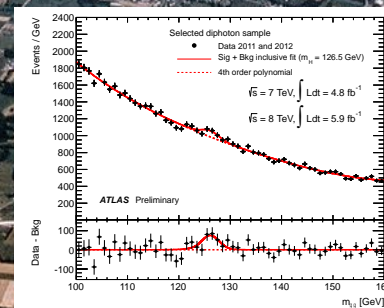


# $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



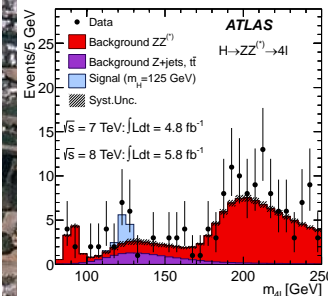
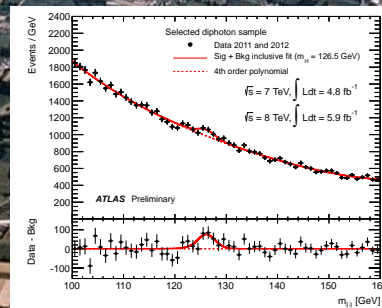
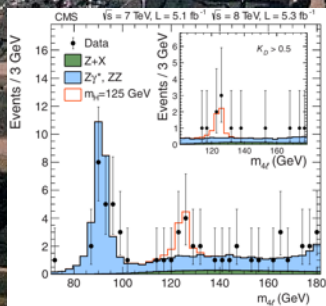
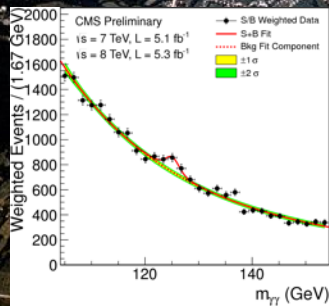


# Verificación independiente





# Verificación independiente

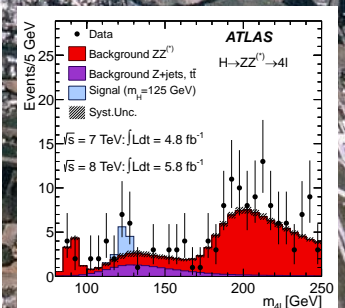
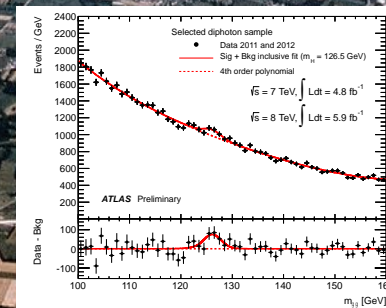
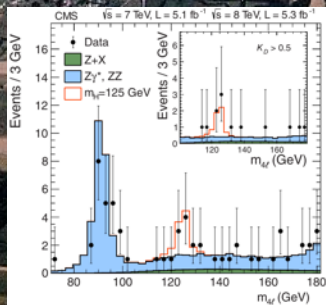
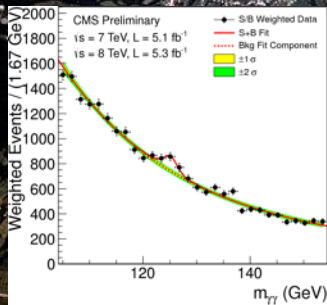




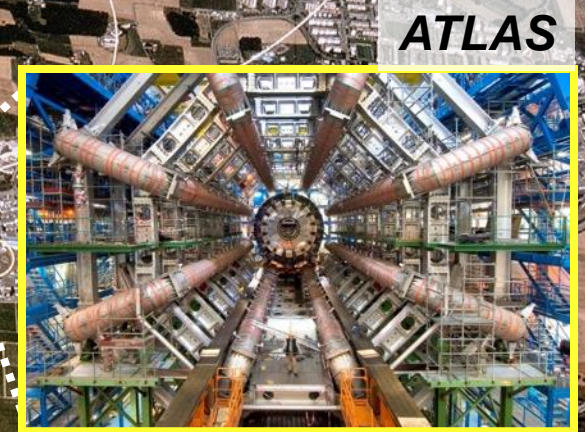
# Combinación



Probabilidad  $< 0.00003\%$   
=  $5\sigma$   $\rightarrow$  Descubrimiento!



Probabilidad  $< 0.00003\%$   
=  $5\sigma$   $\rightarrow$  Descubrimiento!





4 de julio de 2012



Image: NYT





Image: CERN



CERN, Julio 4, 1:30 am





CERN, Julio 4, 2:00am





*CERN, Julio 4, 4:10am*





*CERN, Julio 4, 4:10am*

Muchos de los resultados provistos por estudiantes  
En México tenemos excelentes grupos experimentales  
(CINVESTAV, UA Puebla, SLP, Sinaloa, UIA, UNAM,  
Zacatecas, Michoacán,...) colaboran con CERN, CMS,  
ALICE.





# De física fundamental a vida cotidiana

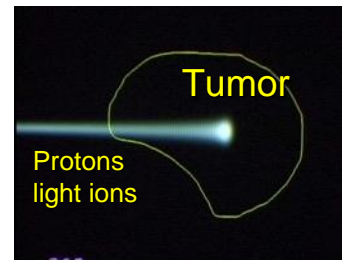
# De física fundamental a vida cotidiana

- *www, GPS, cloud computing.*
- **A largo plazo, aplicaciones inesperadas:** 1897: el electrón.

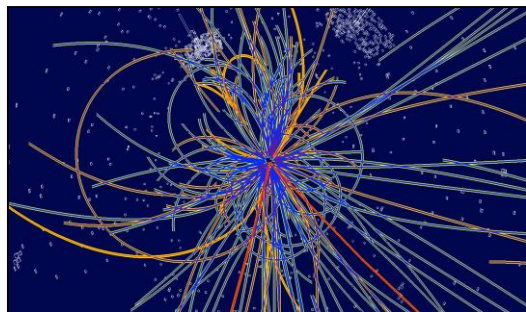
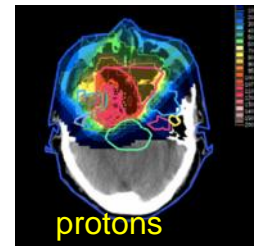
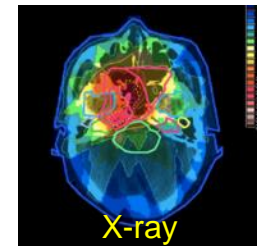
## Terapia hadrónica contra el cancer



~30'000 aceleradores a nivel mundial  
~17'000 para aplicaciones medicas

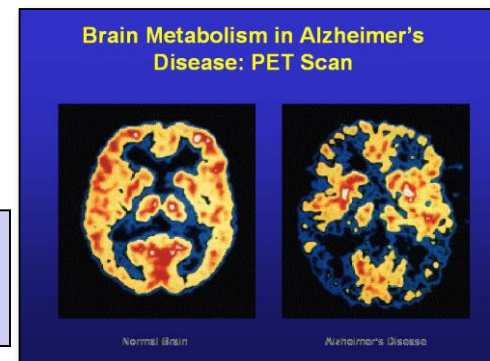


>100,000 pacientes tratados (30 instalaciones)



## Imágenes médicas

e.g. CAT & PET, escáners aeroportuarios, etc.







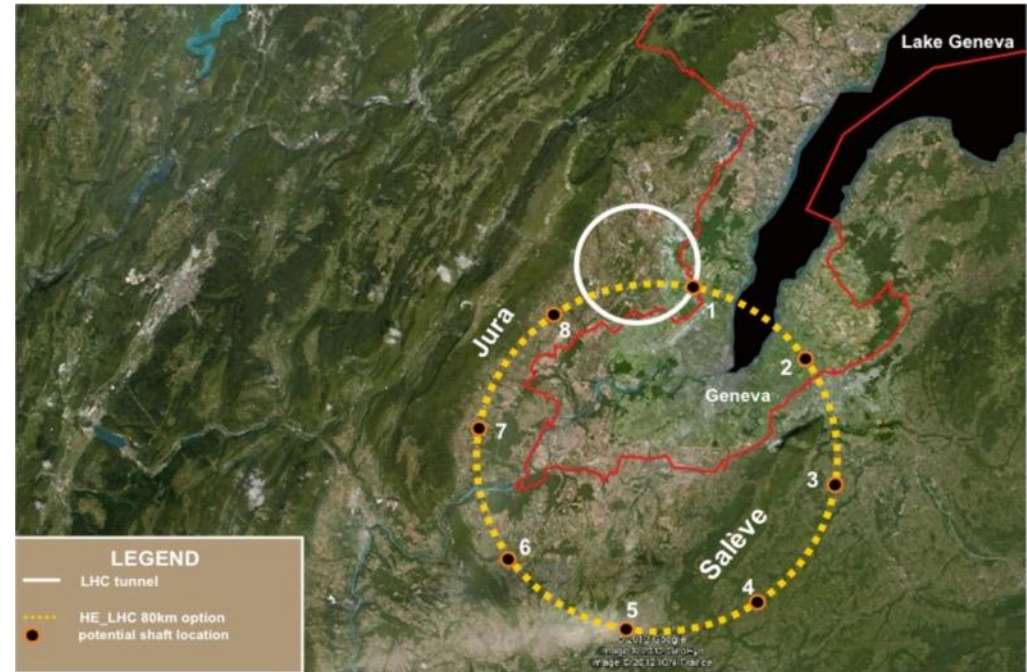
¿Qué sigue?



# ¿Qué sigue?

## CERN:

- Bajo el lago de Ginebra
- 80 – 100 km

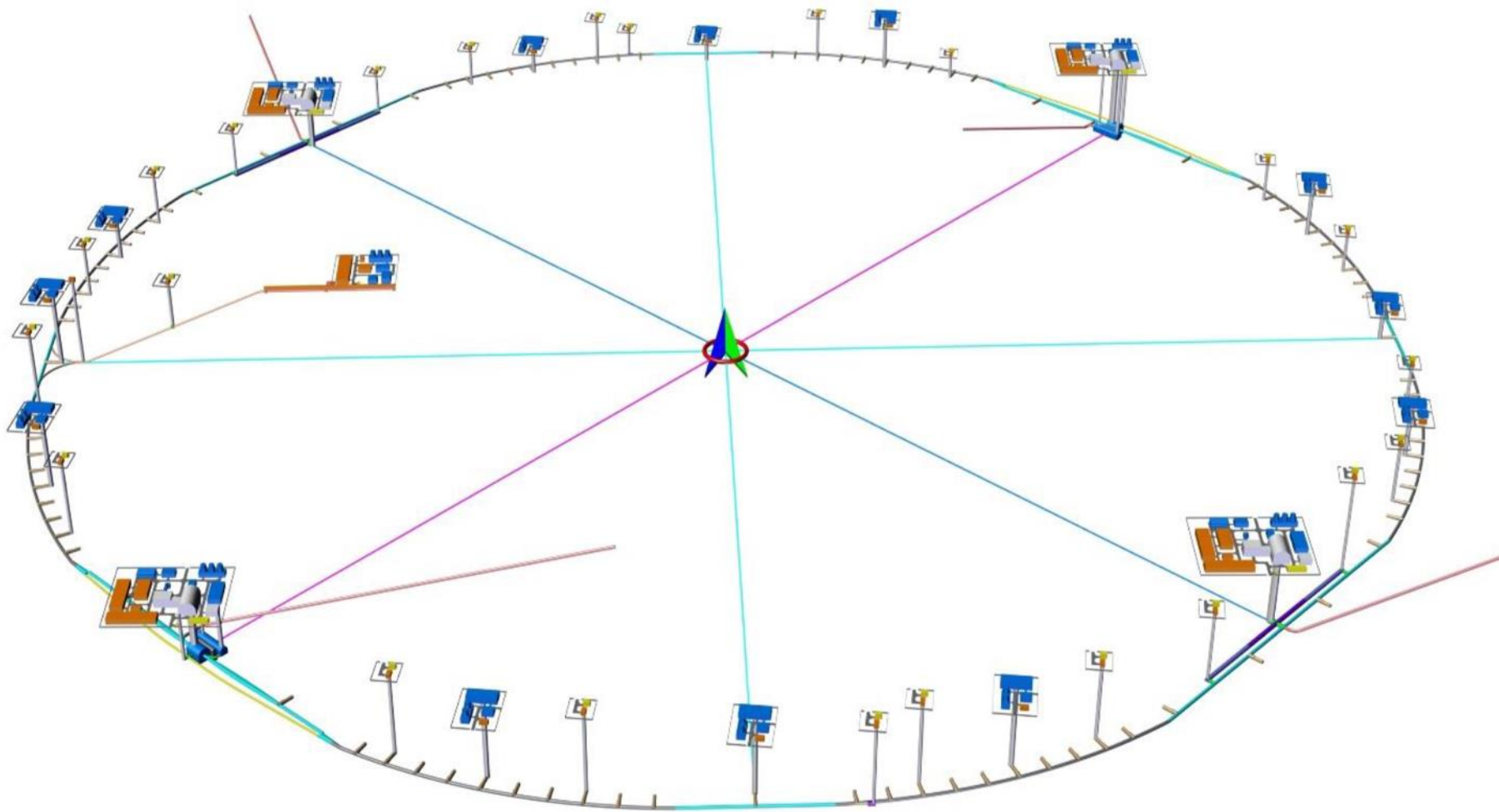


## China:

- Varios sitios en evaluación
- Fuerte apoyo local



# Reporte de Diseño Conceptual del CEPC



Diseño de estructuras superficiales y subterráneas de CEPC.

Imagen: CEPC CDR, Vol 1.





Imagen: CEPC CDR, Vol 1.

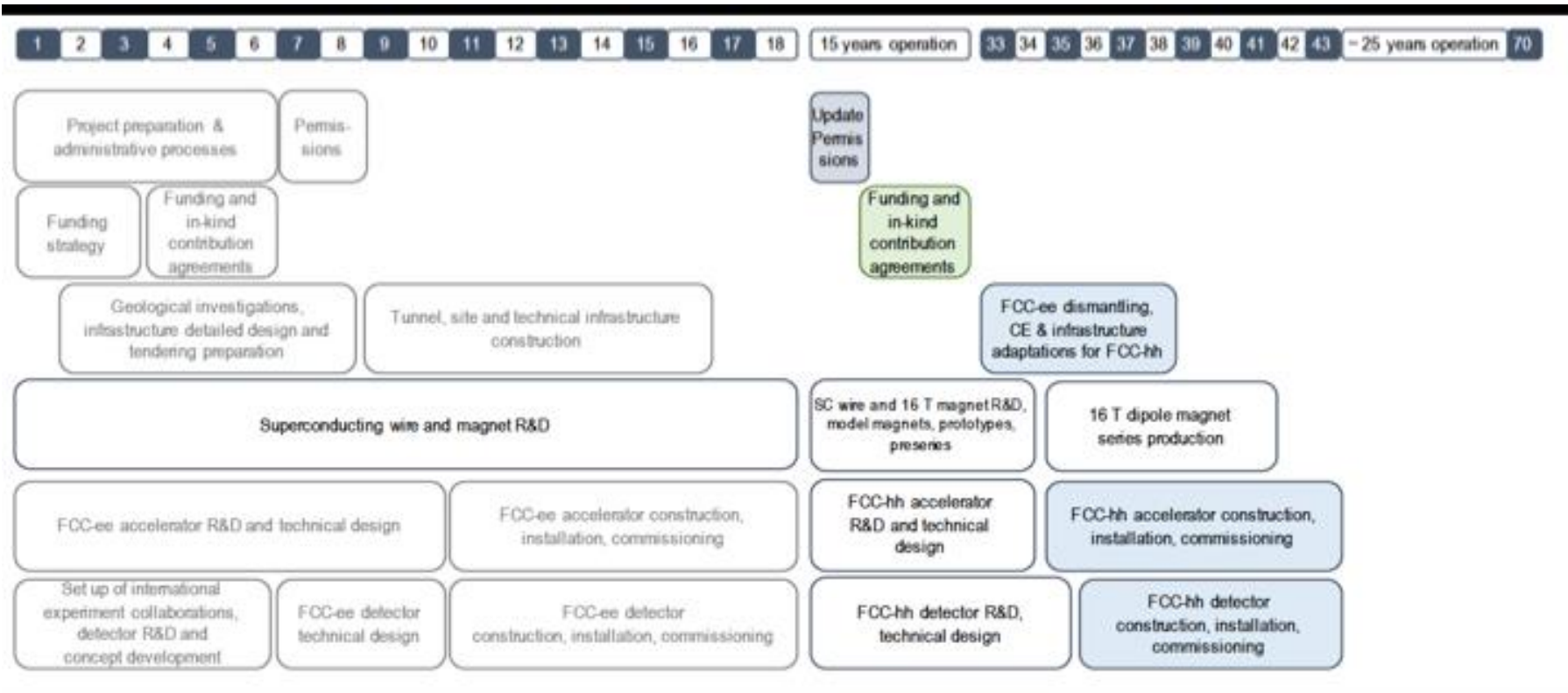
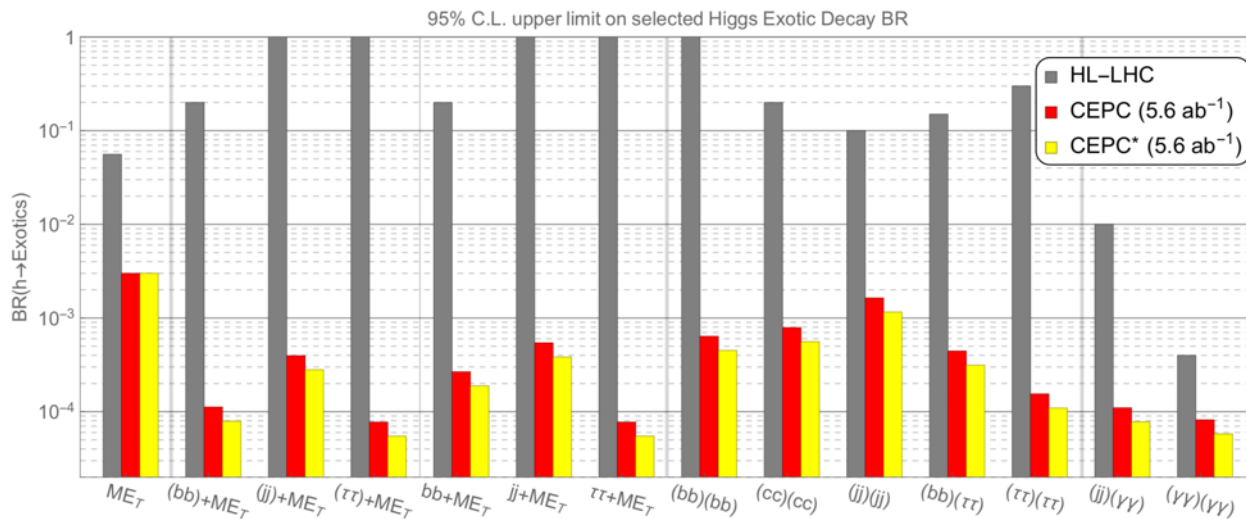
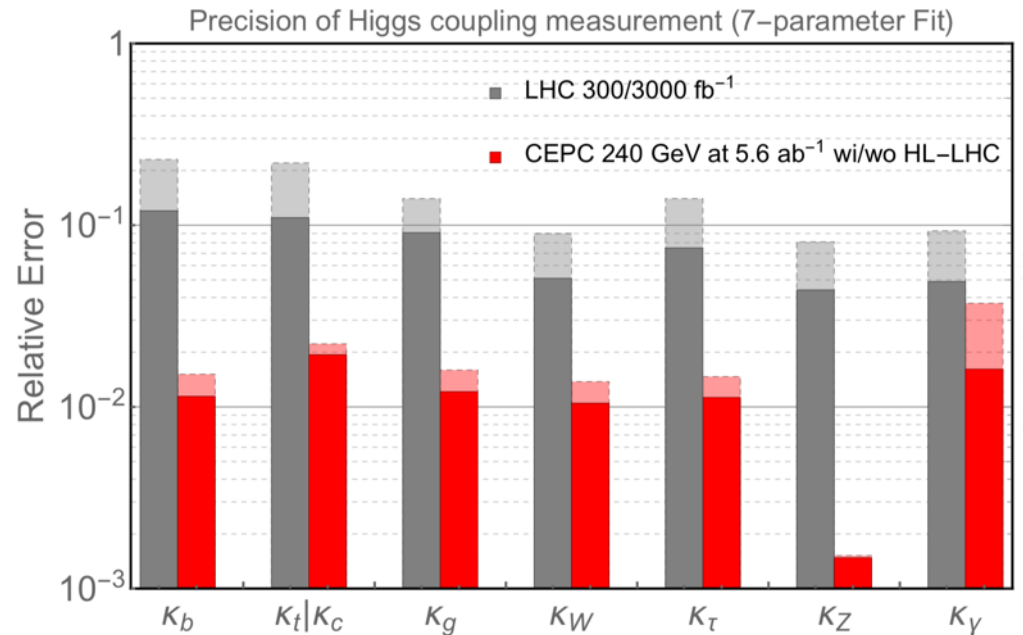


Imagen: Jorgen D'Hondt @ HK IAS Workshop 2019

# Alcance

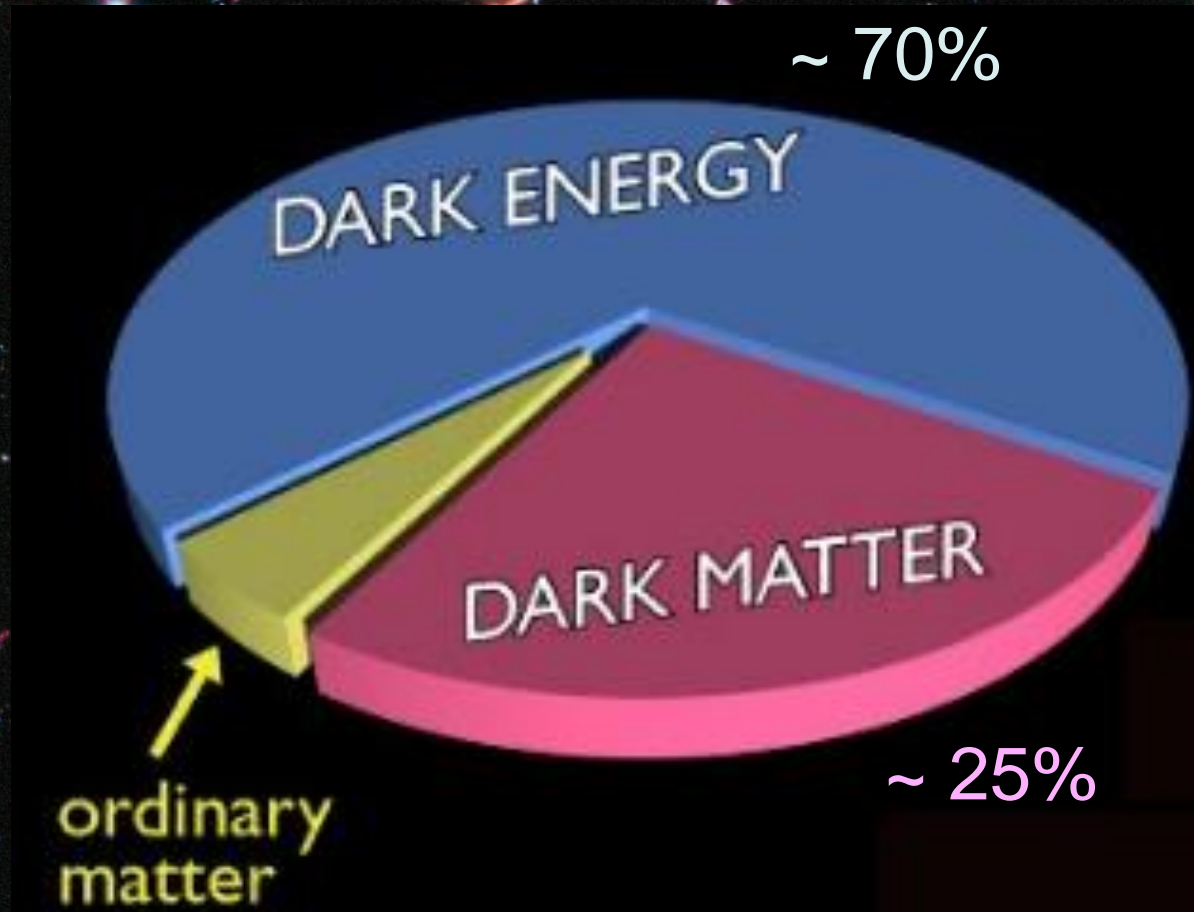


Fuente: CEPC Input to the ESPP 2018 <https://arxiv.org/pdf/1901.03170.pdf>



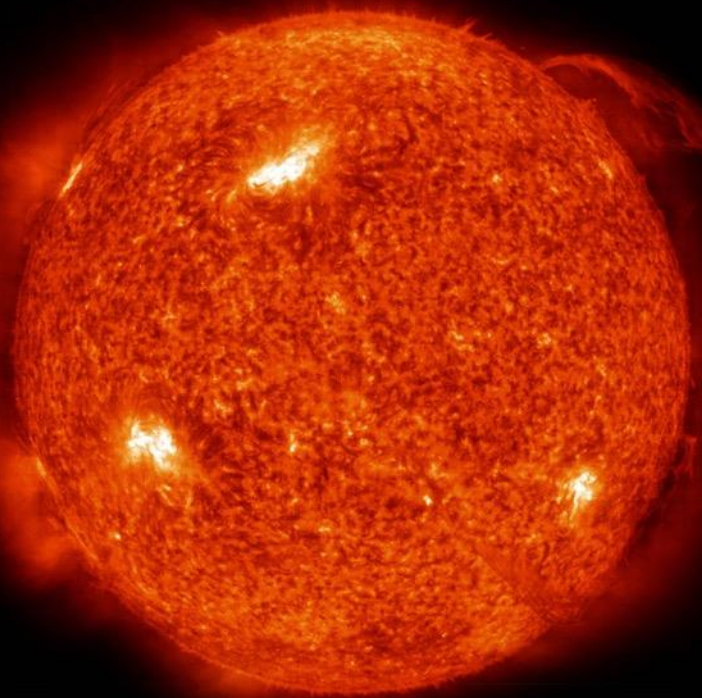






~ 5%





# Projecting pARTicles





