

El descubrimiento del bosón de Higgs



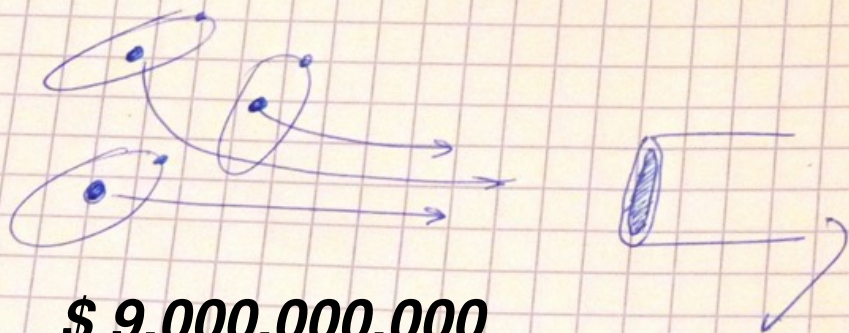
Luis Roberto Flores Castillo
The Chinese University of Hong Kong



Spanish Language Teacher Program

CERN, 24 de Julio de 2024

Soñando en grande



\$ 9,000,000,000



~ 20 países

~ 200 instituciones

~ 30 años



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



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?

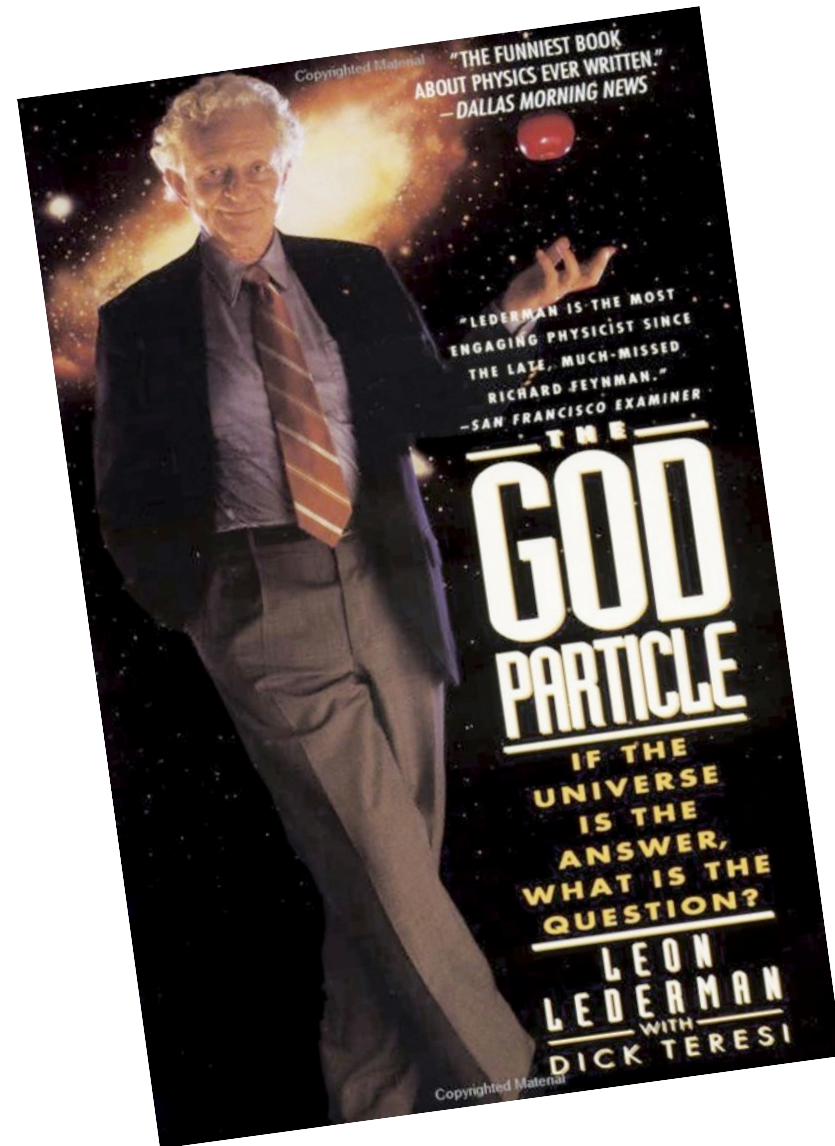
Es una partícula muy famosa,

La llaman
la partícula de Higgs

... o a veces

“la partícula de Dios”

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



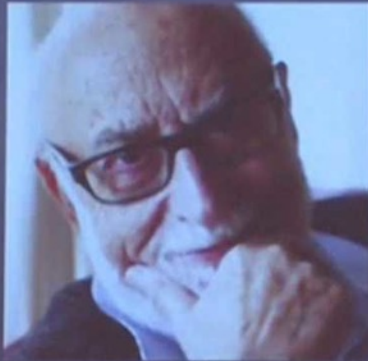
8 de octubre de 2013



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
© 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 |
|----------------|-------------------|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Period 1 | 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| Period 2 | 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| Period 3 | 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| Period 4 | 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| Period 5 | 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| Period 6 | 55 Cs | 56 Ba | 57 *La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| Period 7 | 87 Fr | 88 Ra | 89 + | 104 Rf | 105 Ha | 106 Sg | 107 Bh | 108 Hs | 109 Mt | 110 Ds | 111 Rg | 112 | 113 Uut | 114 Uuq | 115 Uup | 116 Uuh | 117 Uus | 118 Uuo |
| | <i>s-block</i> | | <i>d-block</i> | | | | | | | | | | <i>p-block</i> | | | | | |
| <i>f-block</i> | Lanthanide Series | | 57 *La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | |
| | Actinide Series | | 89 +Ac | 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lr | |

H - Gas **Li - Solid** **Br - Liquid** **Tc - Synthetic**
■ Non-Metals ■ Transition Metals ■ Rare Earth Metals ■ Halogens
■ Alkali Metals ■ Alkali Earth Metals ■ Other Metals ■ Inert Elements

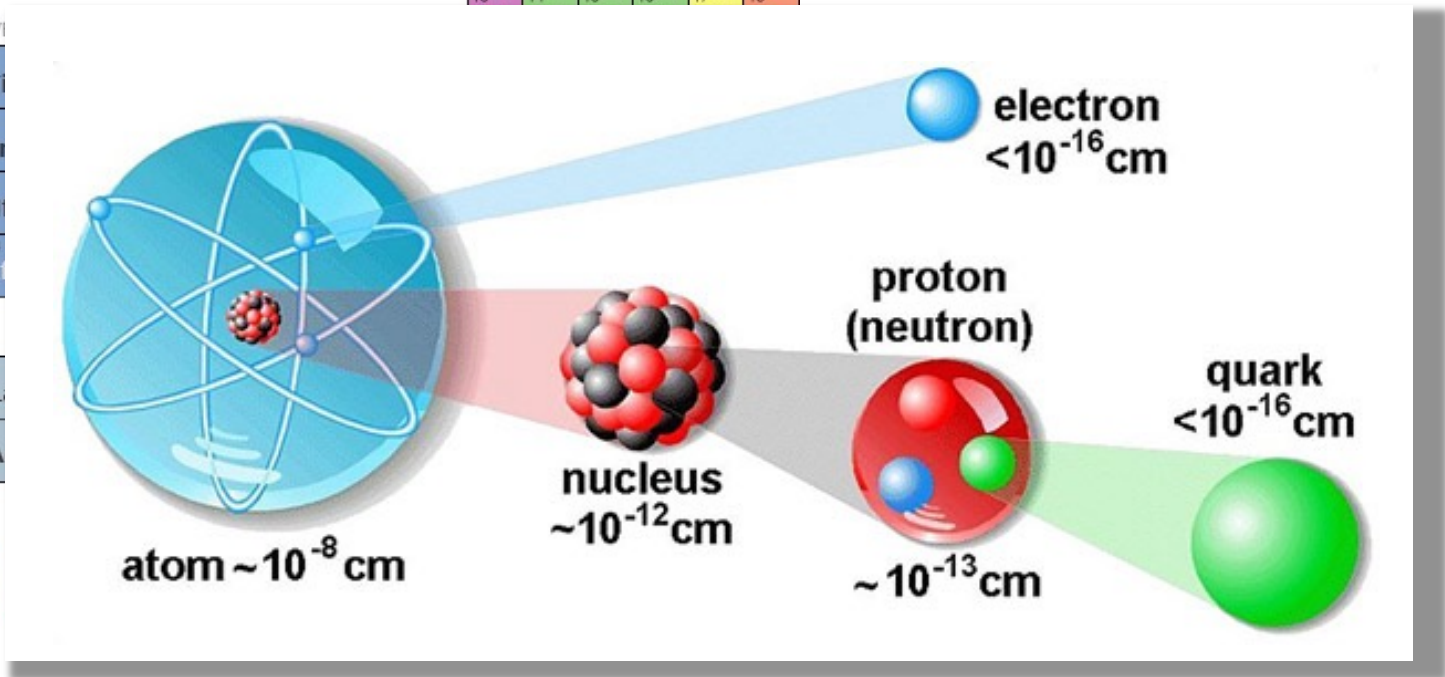
- ~1869, Mendeleev publicó “Principios de la química”
- Toda esa complejidad a partir de ~100 “elementos”

¿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 H | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 2 | 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne | |
| 3 | 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar | |
| 4 | 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 55 Cs | 56 Ba | 57 * | 72 Hf | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 87 Fr | 88 Ra | 89 + | 104 Rf | | | | | | | | | | | | | | | |

Legend:
■ Non-Metals
■ Alkali Metals

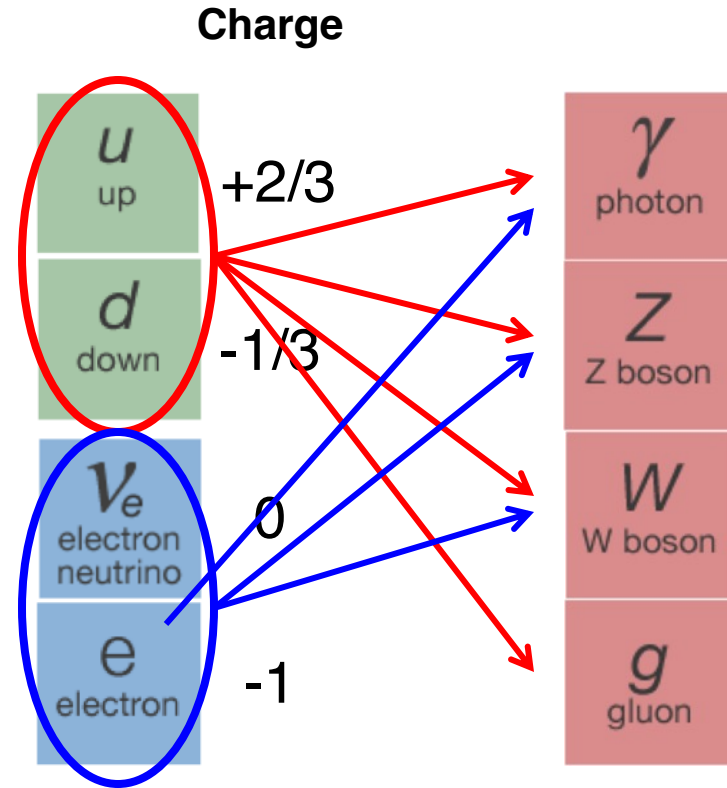


TODOS son combinaciones de TRES partículas.



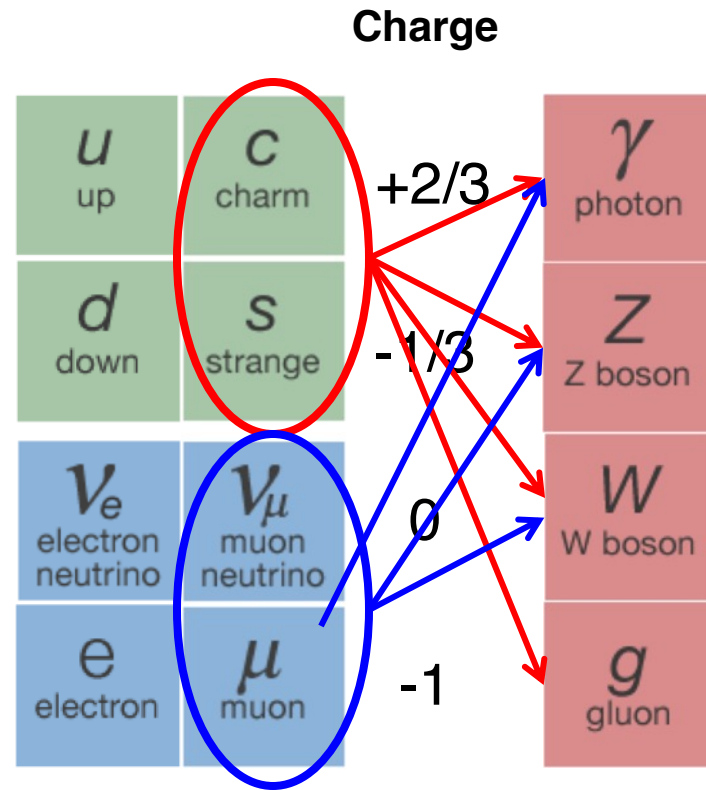
Componentes y estructura

- Además de esas tres, ...



Componentes y estructura

- Además de esas tres, ...



Componentes y estructura

- Además de esas tres, hay **14 adicionales**

| | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| u up | c charm | t top | γ photon |
| d down | s strange | b bottom | Z Z boson |
| ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino | W W boson |
| e electron | μ muon | τ tau | g gluon |

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 | γ photon | Force carriers |
| | d down | s strange | b bottom | Z Z boson | |
| Leptons | ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino | W W boson | |
| | e electron | μ muon | τ tau | g gluon | |

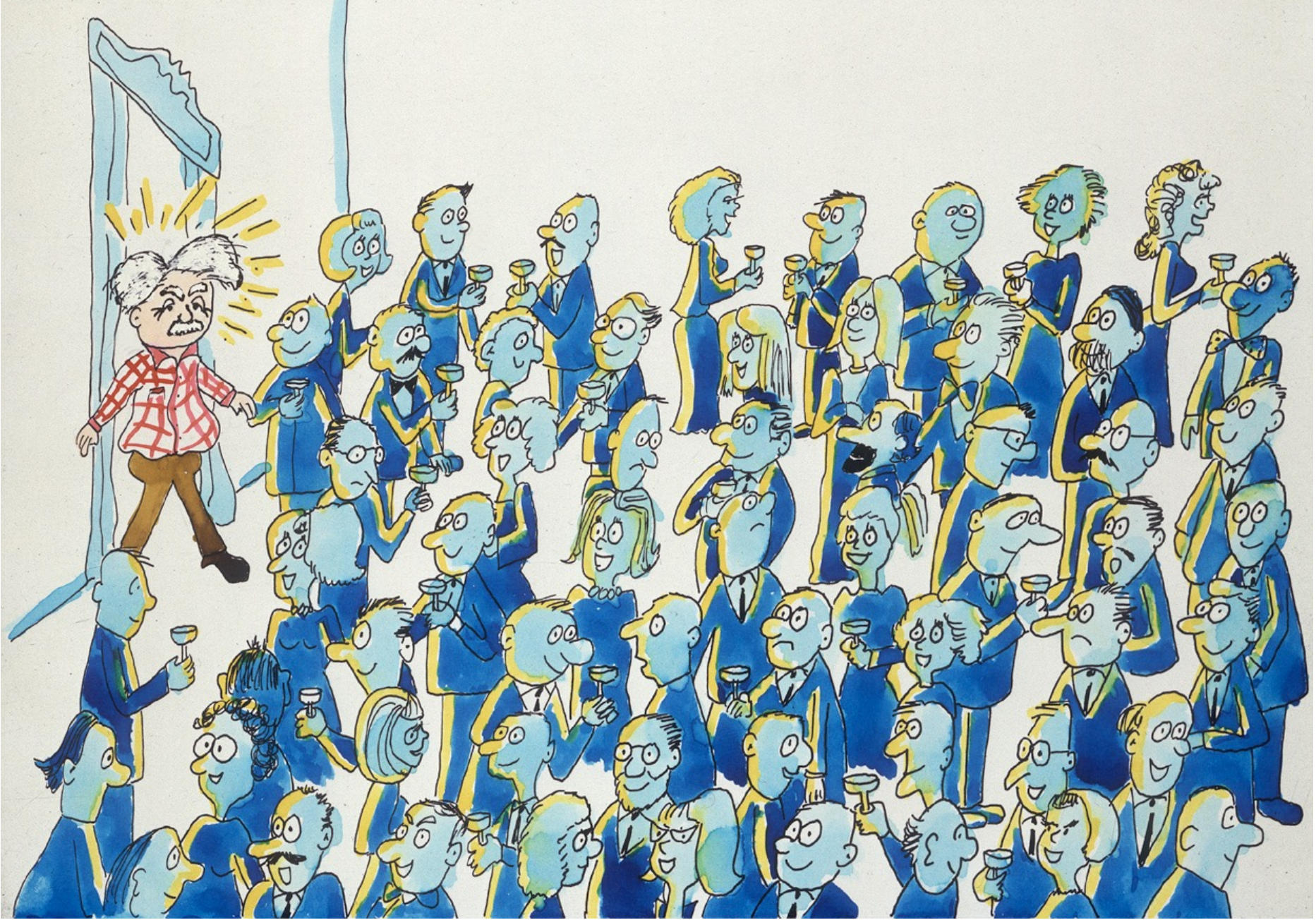
Source: AAAS

¿Masa = cero?

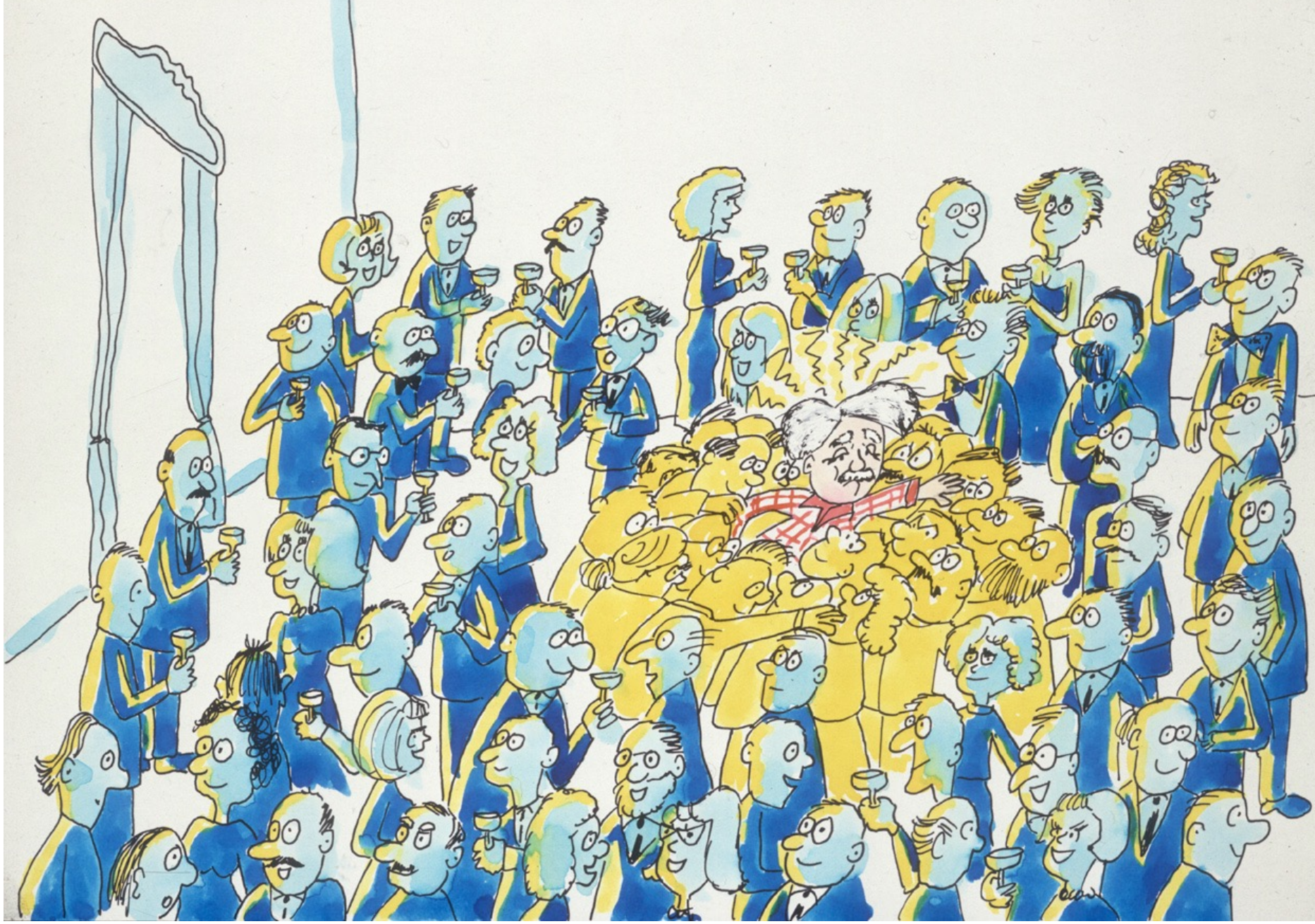
- La “masa” es la oposición a convertir **energía** en **movimiento**
Pelota de playa negra vs bola de boliche:
a menor masa, mayor la velocidad adquirida
- ¿ Hay partículas con masa = 0 ?
Sí: **fotones** y **gluones** viajan a la velocidad de la luz
- ¿Qué pasaría si todas viajaran a la velocidad de 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

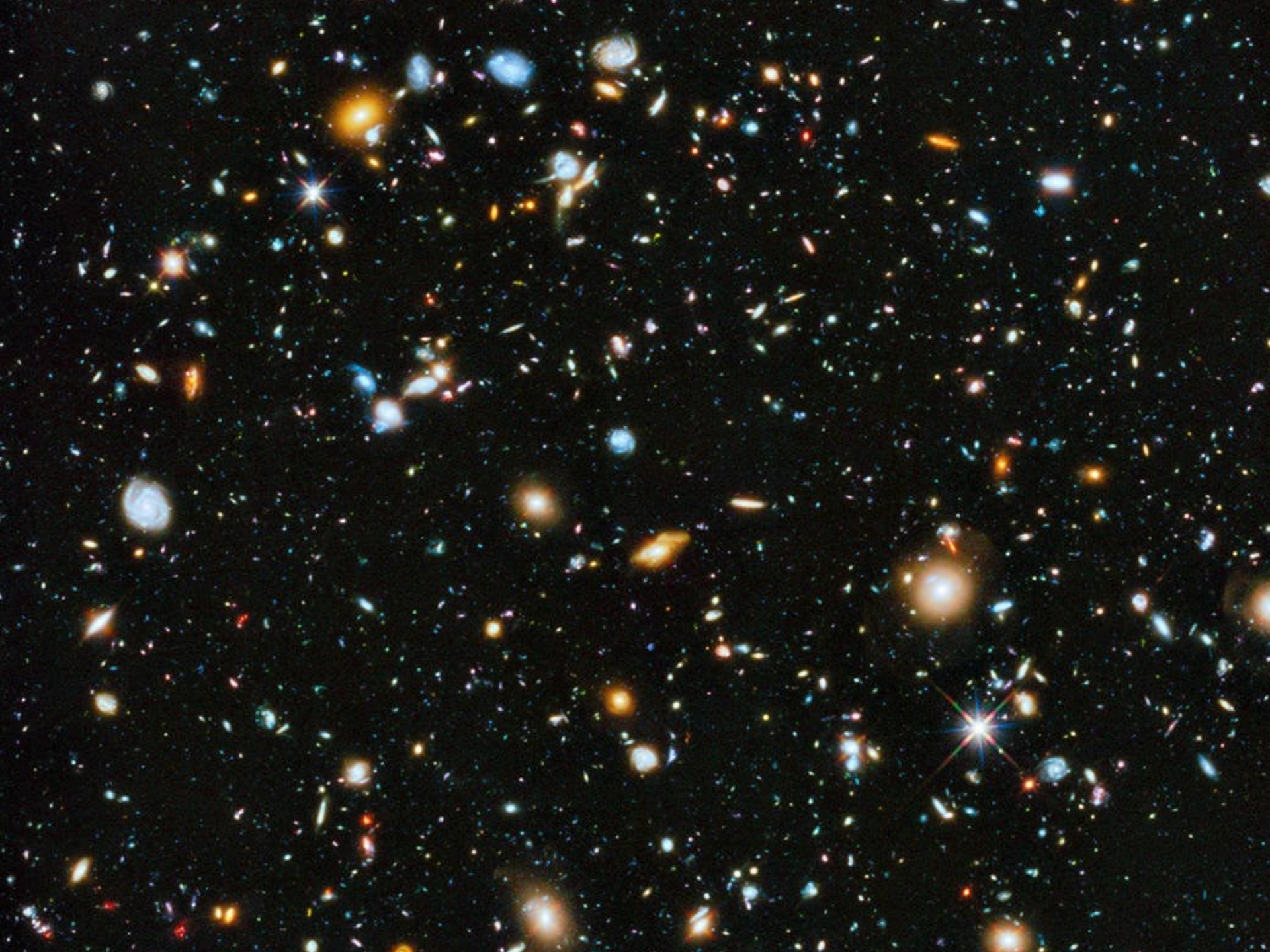


Prof. David J. Miller

“Para todo problema complejo hay una solución que es clara, simple, ...

“Para todo problema complejo hay una solución que es clara, simple, y errónea.”

– H. L. Mencken





¿Cómo se descubre
una partícula?

$$E = mc^2$$



LHC

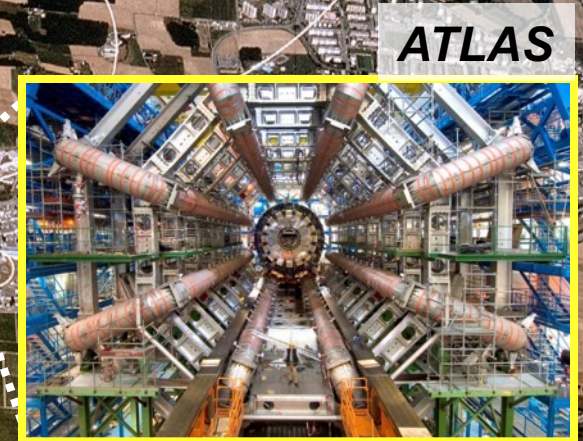
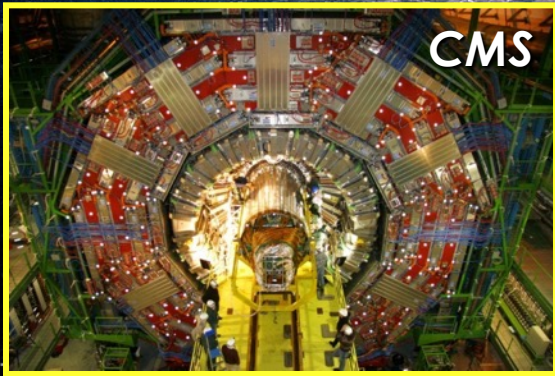
Aeropuerto
de Ginebra

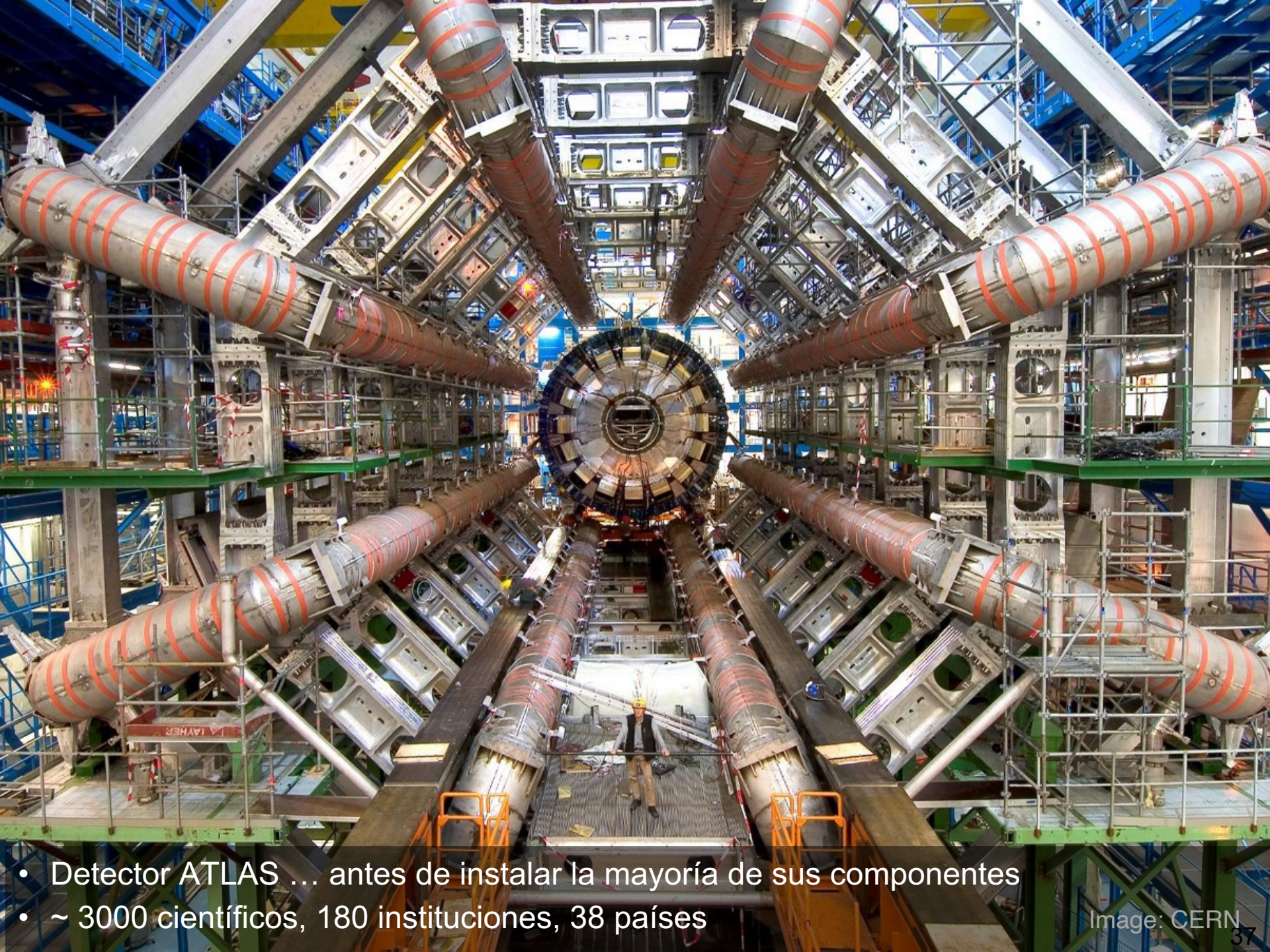
- 27 km de circunferencia, 50-150 m bajo tierra
- Dos haces de protones casi a la velocidad de la luz
- Energía almacenada: 350 MJ (~TGV a 155 km/h)



- ~1600 magnetos superconductores
- “Nubes” de 1.15×10^{11} protones: $30 \mu\text{m} \times \sim 10 \text{ cm}$
- 40 millones de cruces por segundo

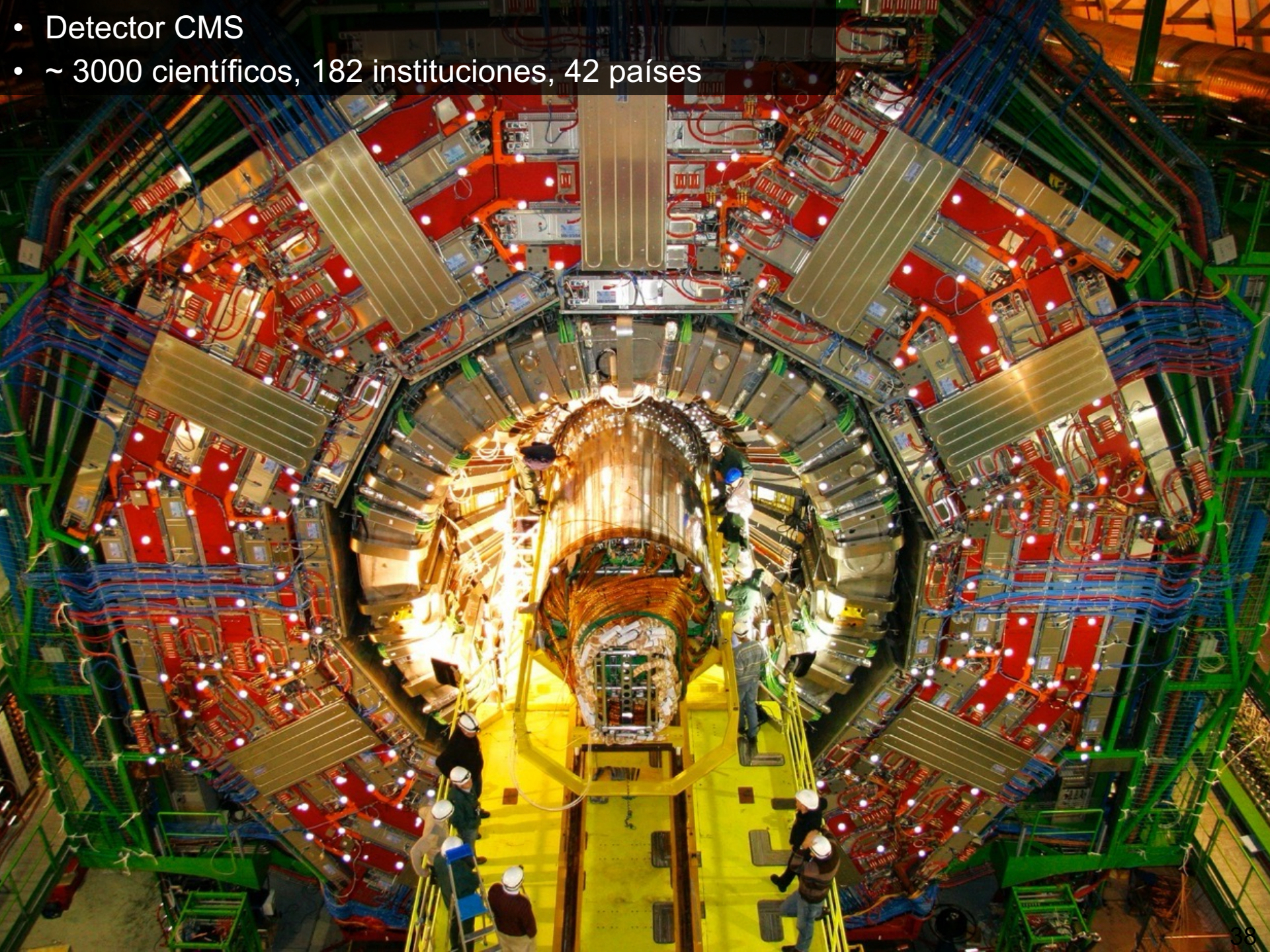
- Cuatro puntos de colisión
- Un detector en cada uno
- Descubrimiento: ATLAS, CMS





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

- Detector CMS
- ~ 3000 científicos, 182 instituciones, 42 países

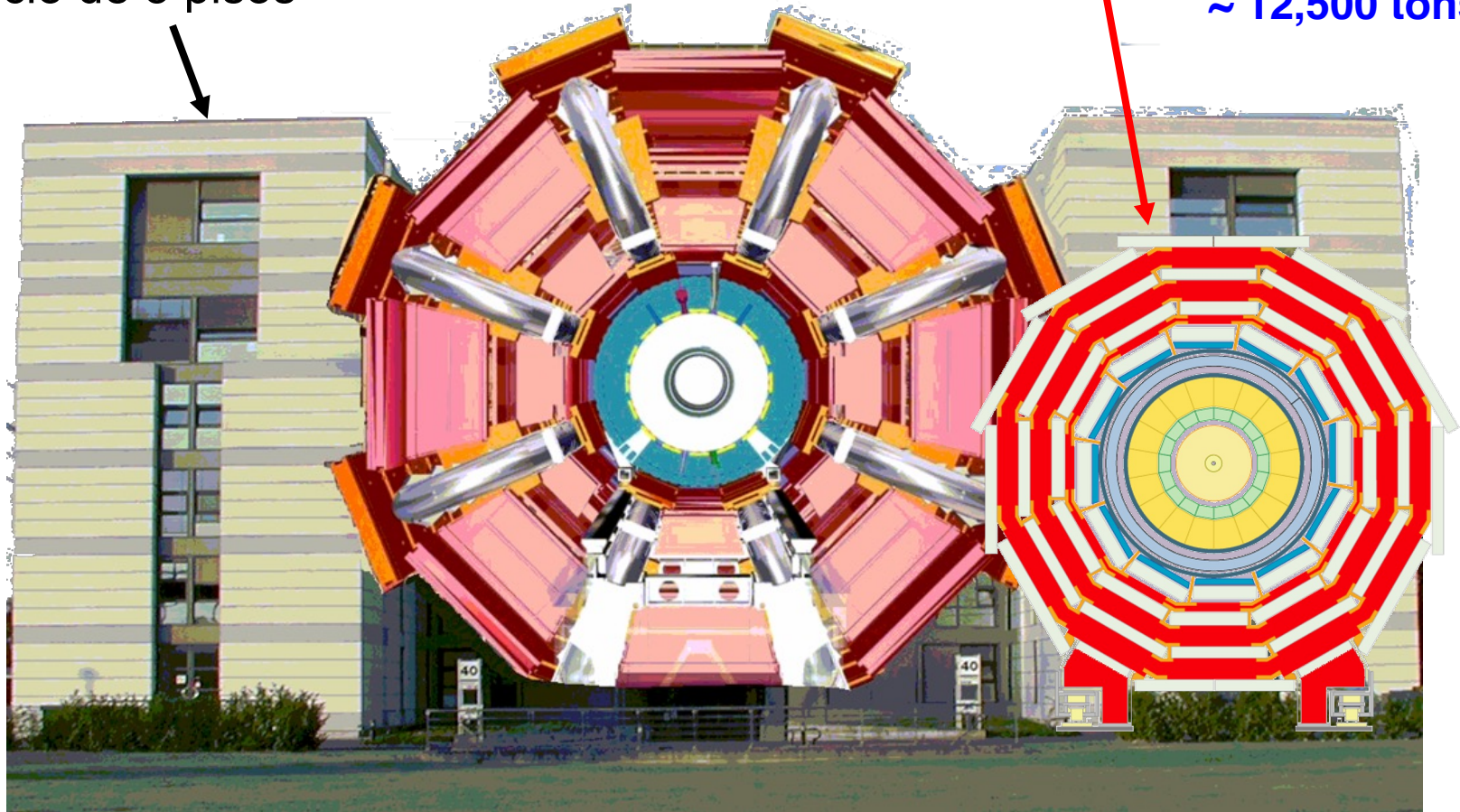


Detectores

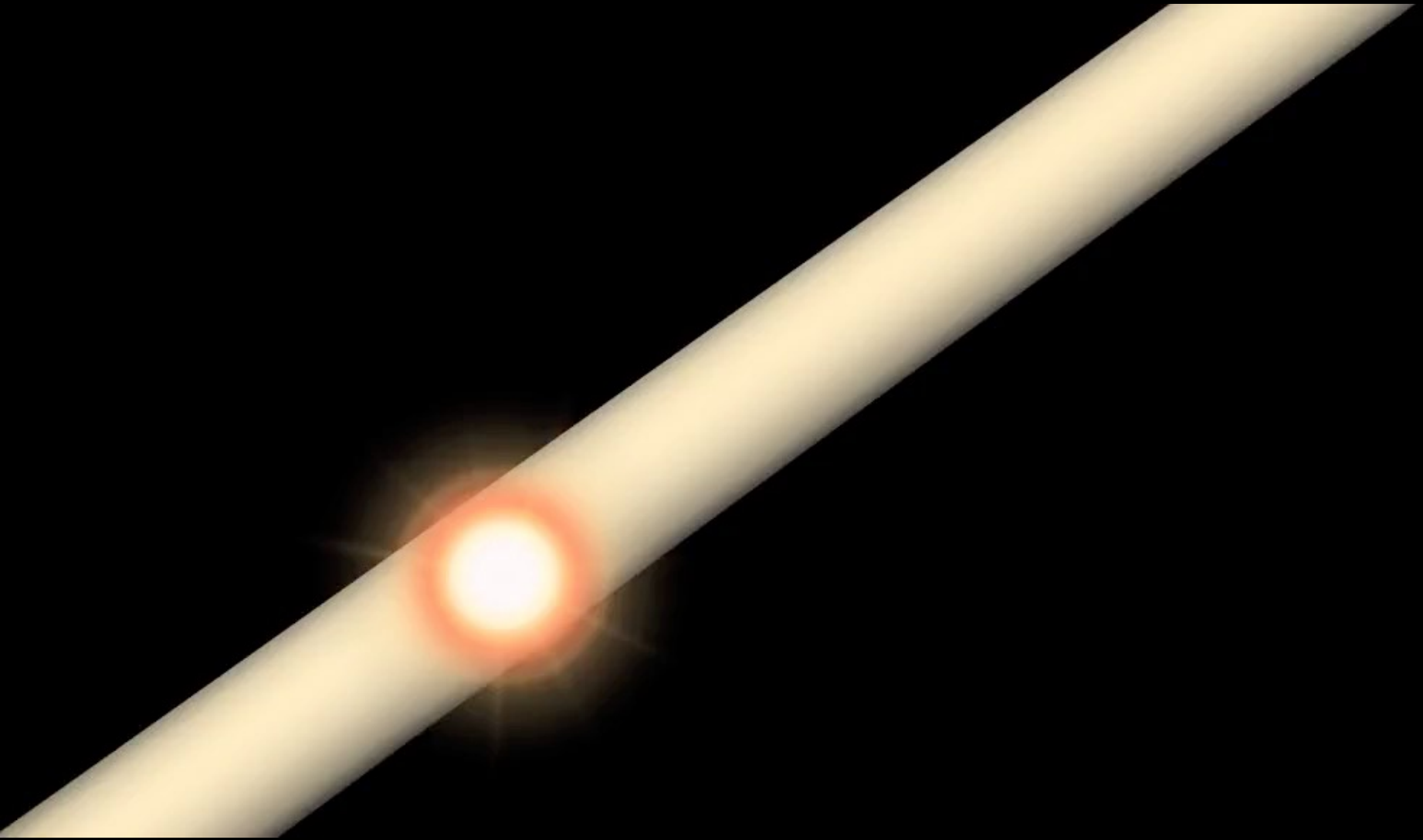
ATLAS ~ 25 m × 45 m
~ 7,000 tons

CMS ~ 15 m × 21.5 m
~ 12,500 tons

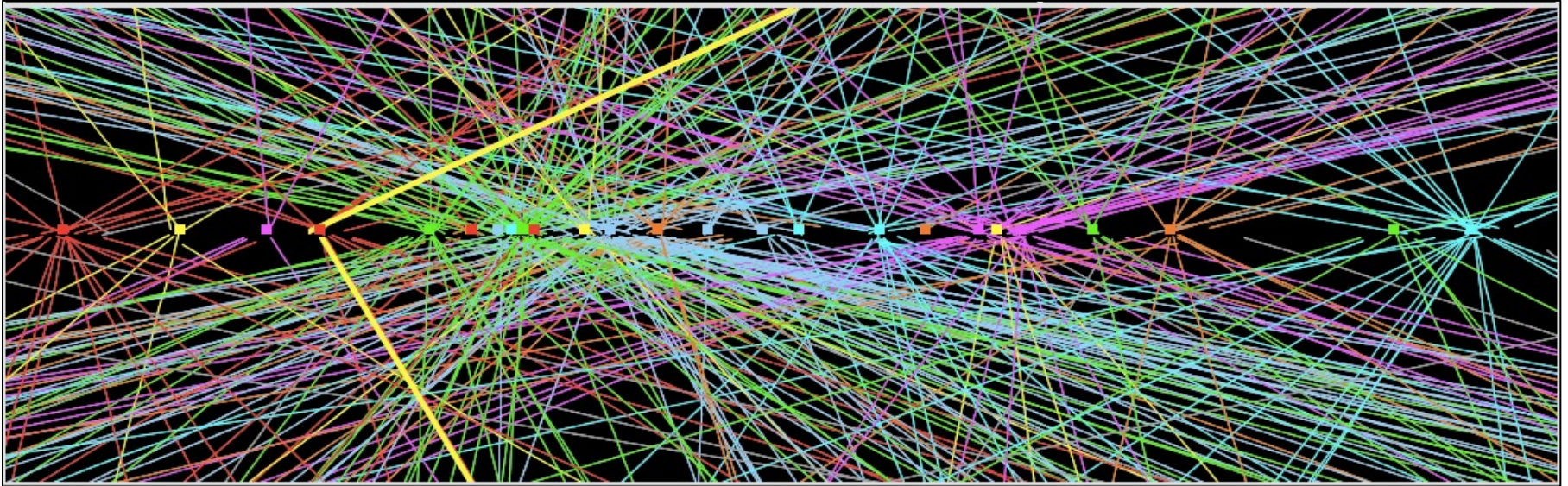
Edificio de 5 pisos



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



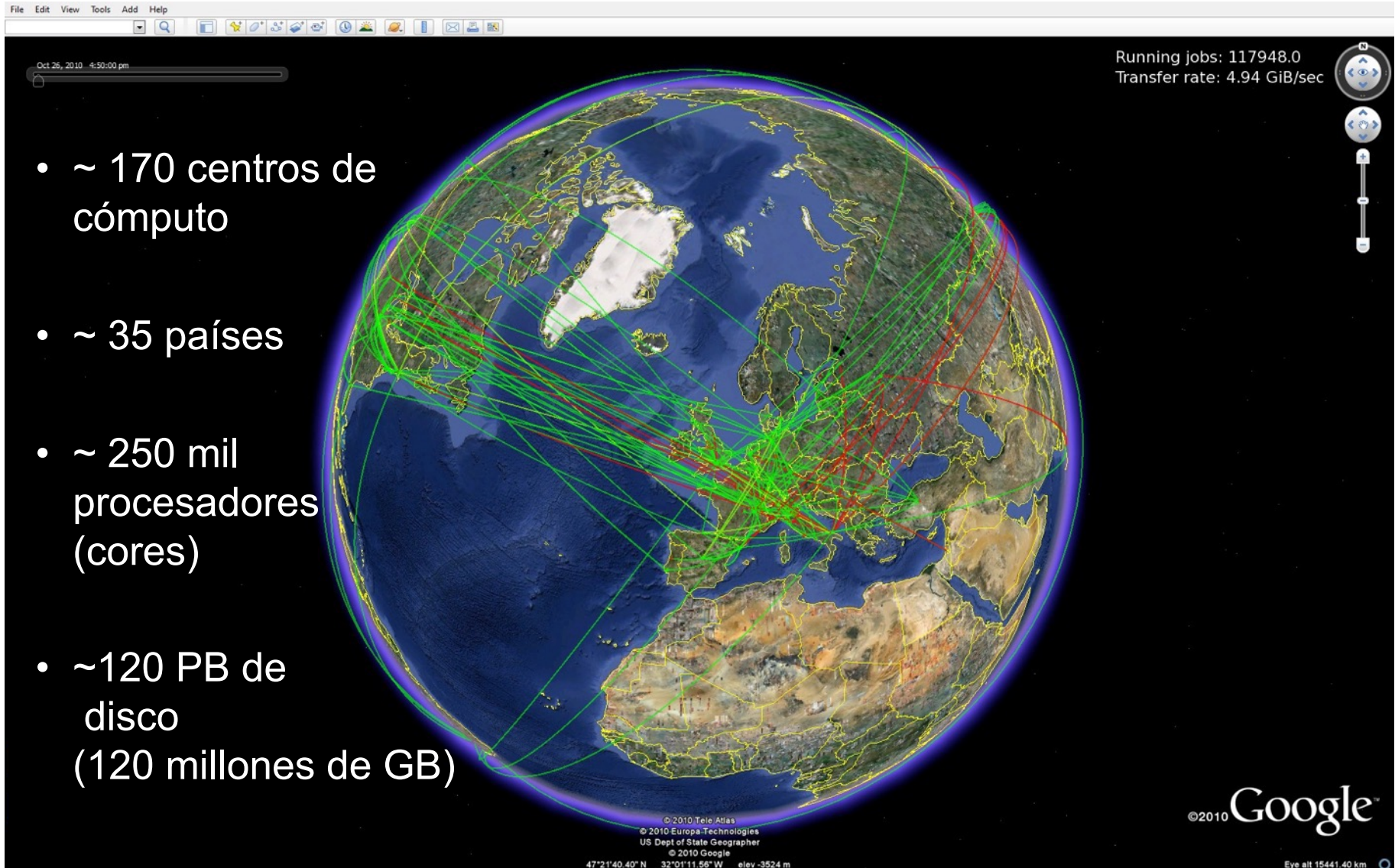
Información generada



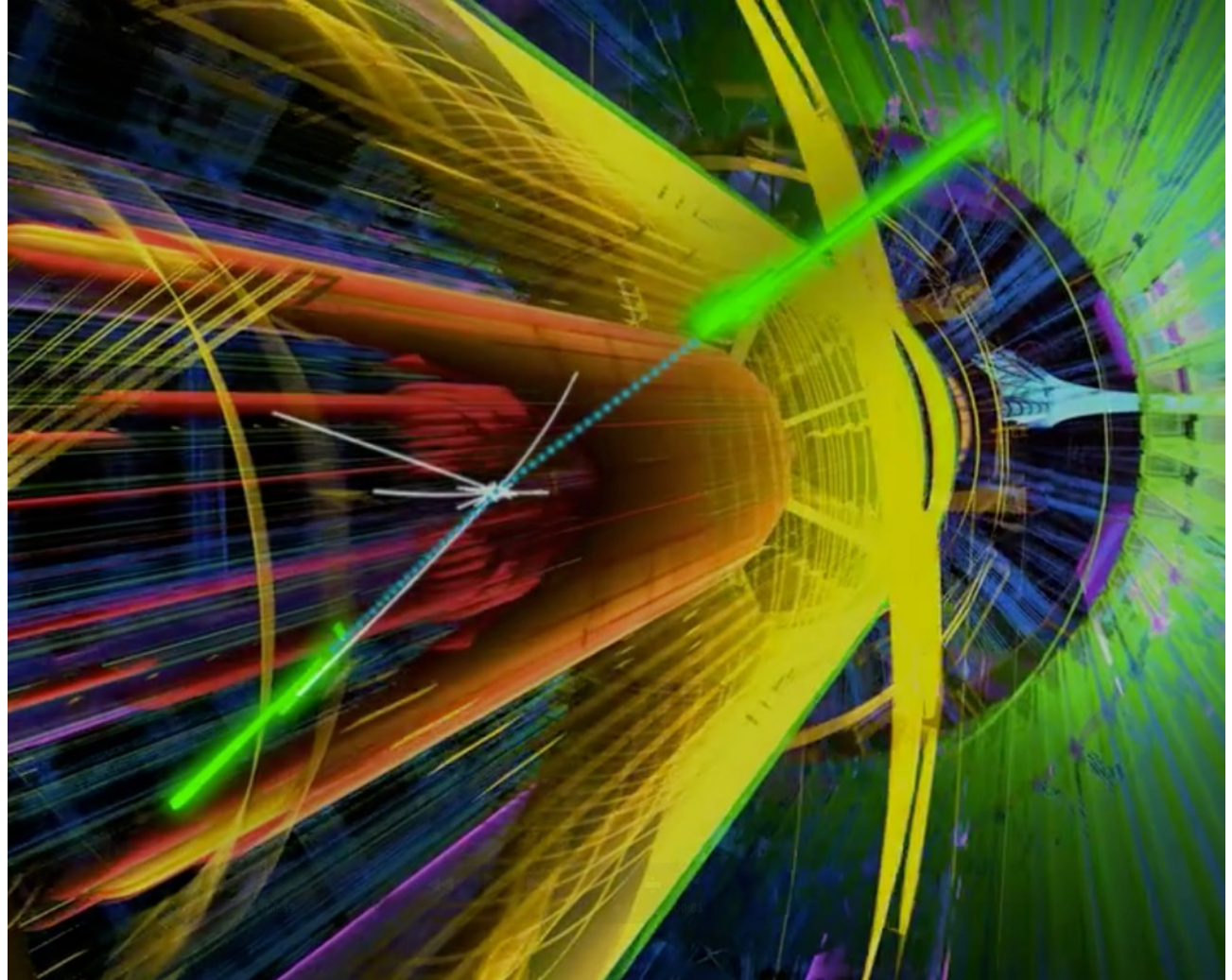
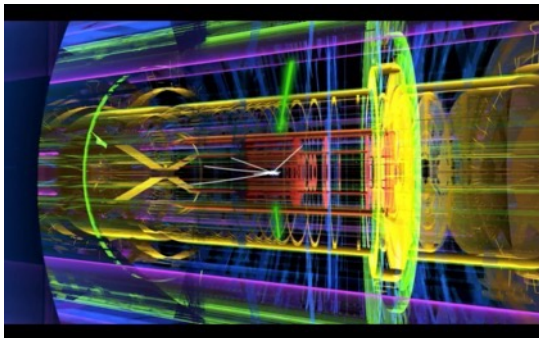
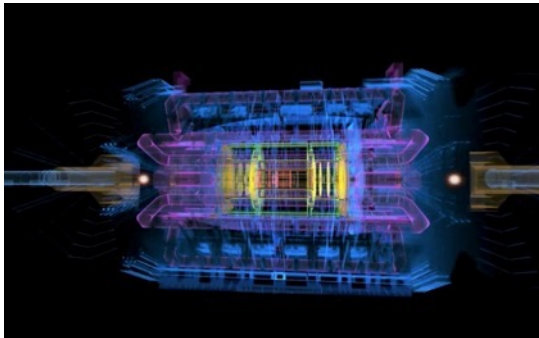
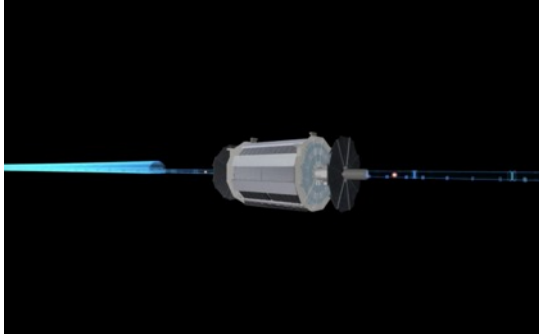
Evento $Z \rightarrow \mu\mu$ de 2012 con 25 vértices reconstruidos

- En cada cruce, ~ 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, ...

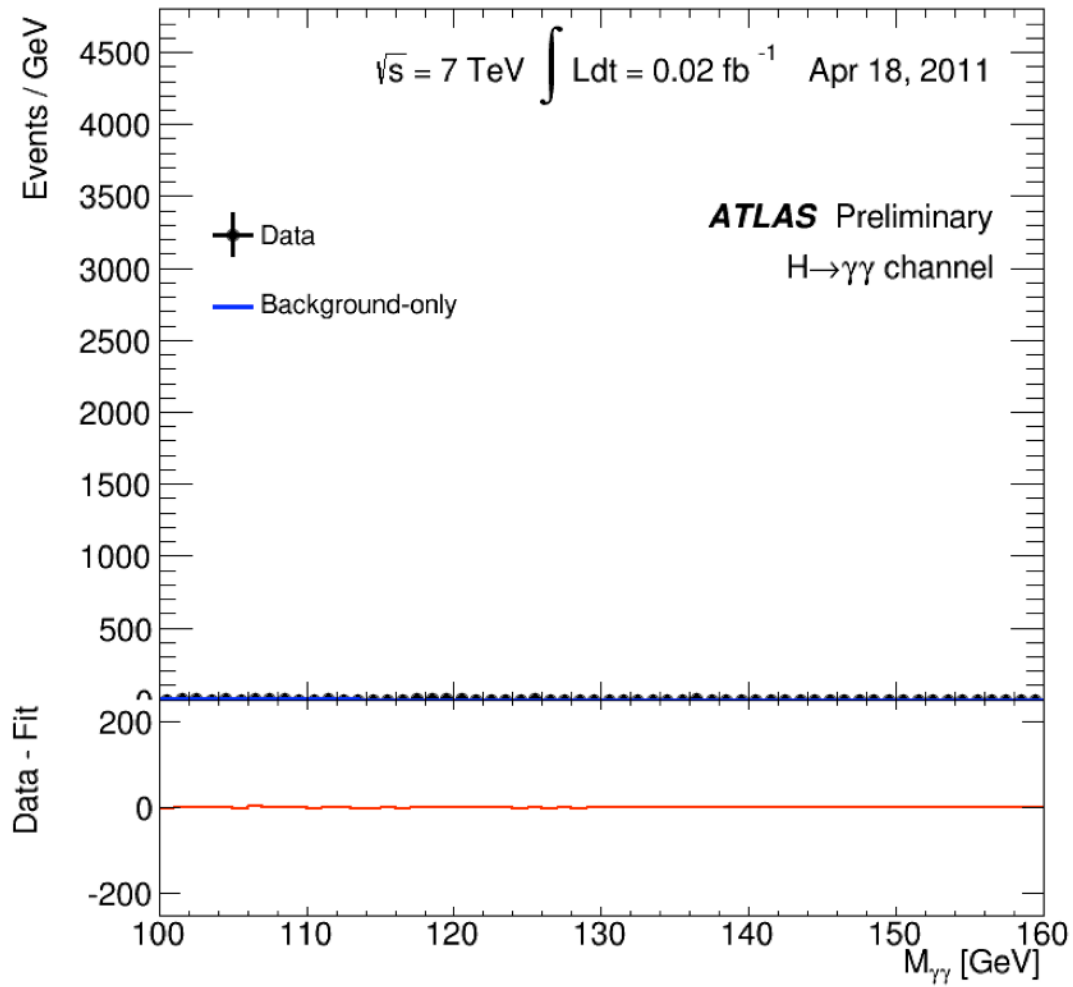
Red mundial de cómputo



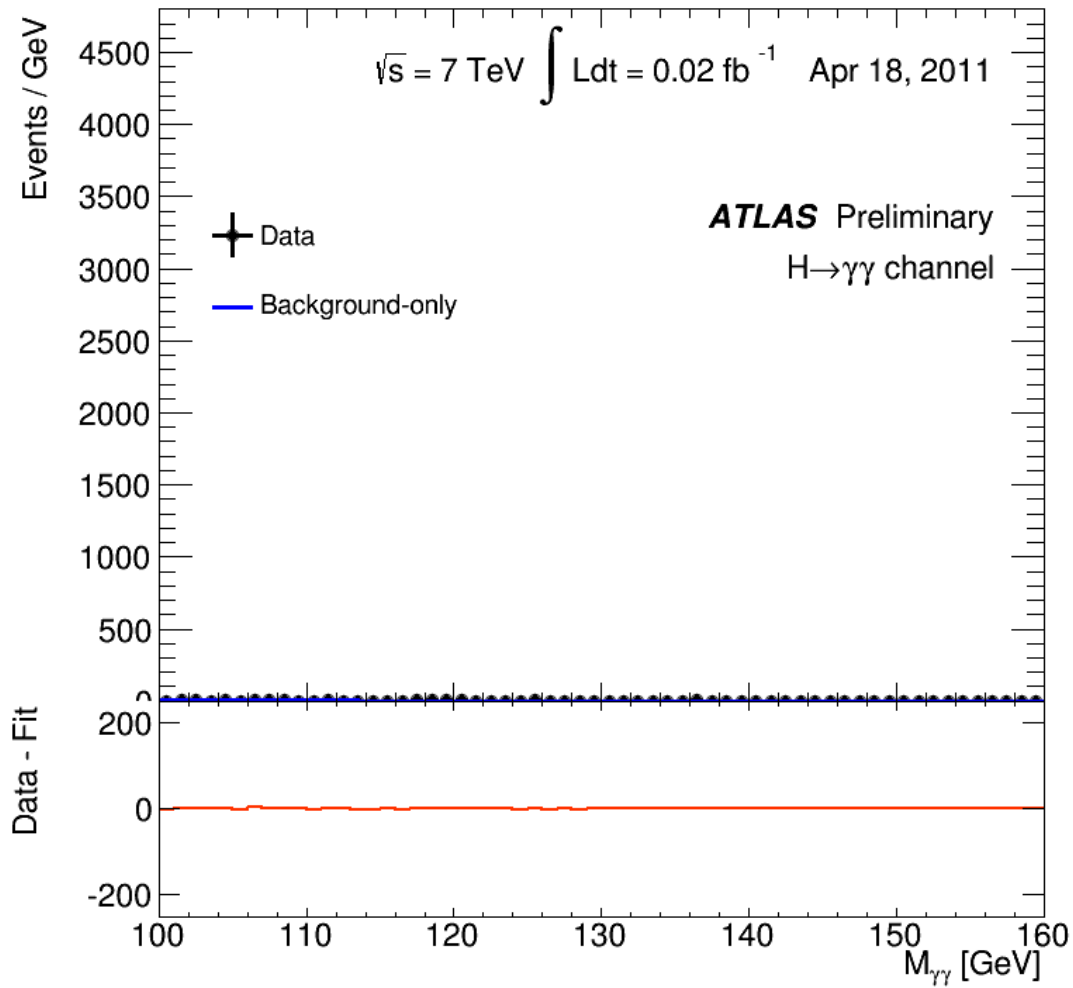
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



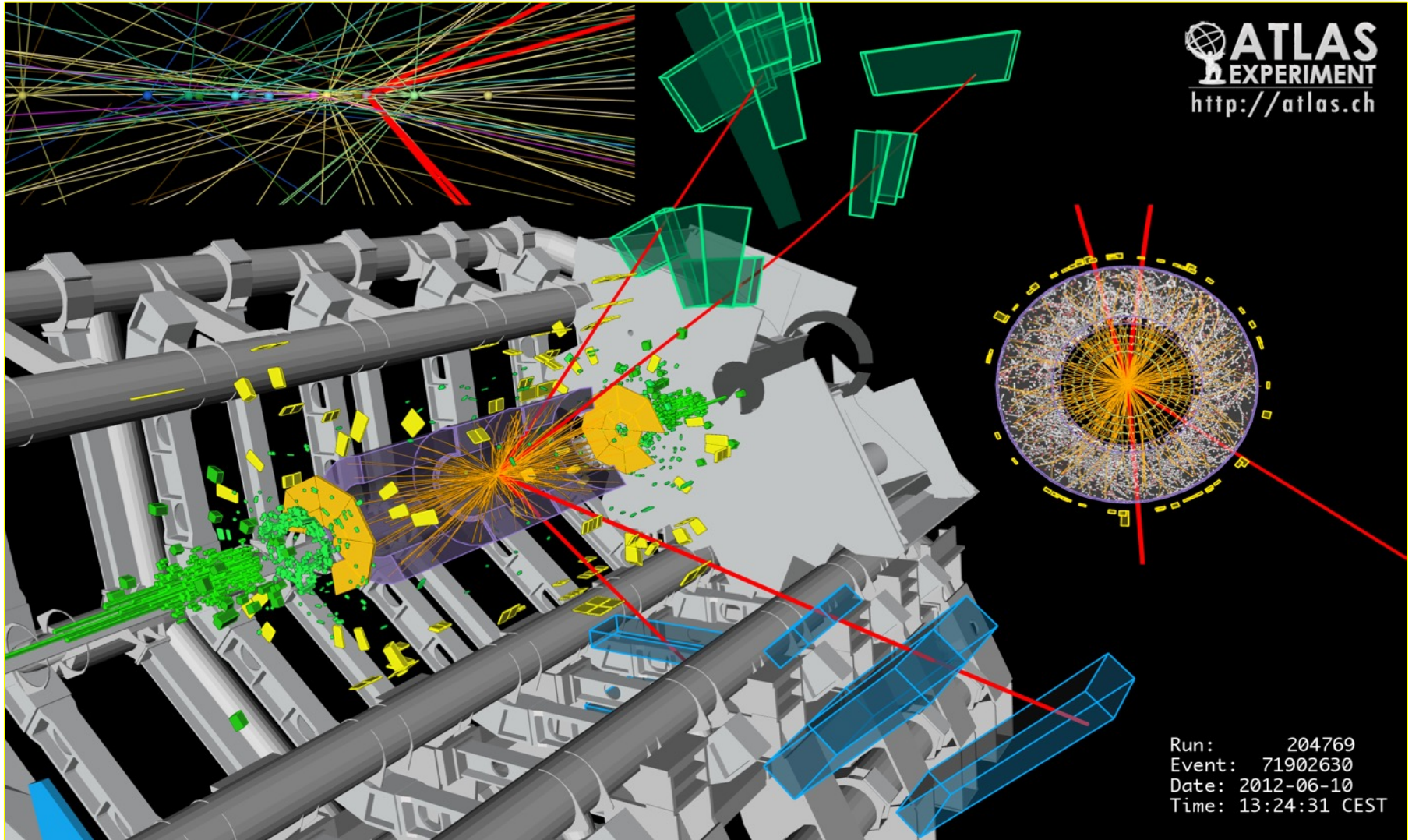
$H \rightarrow \gamma\gamma$



H \rightarrow $\gamma\gamma$



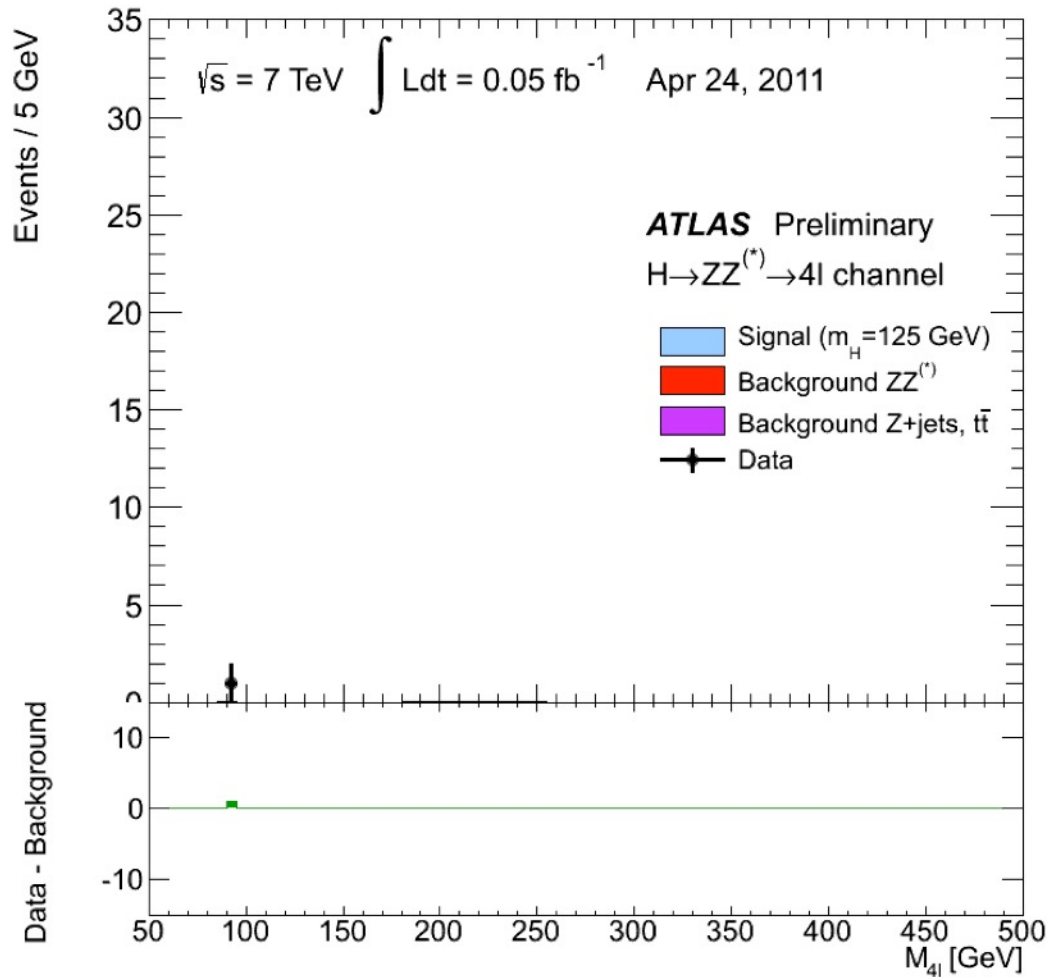
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



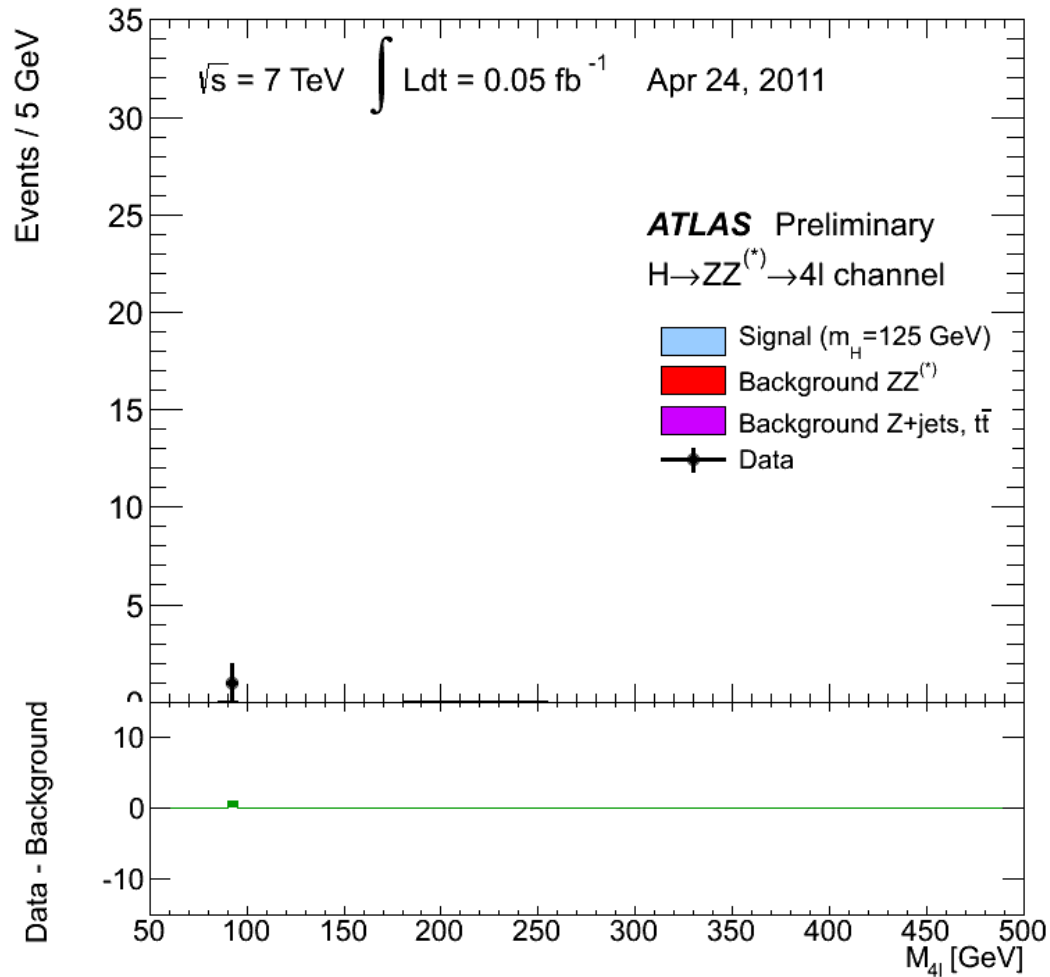
Candidato a H to 4μ , with $m_{4\mu}=125.1 \text{ GeV}$

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 reconstruidos

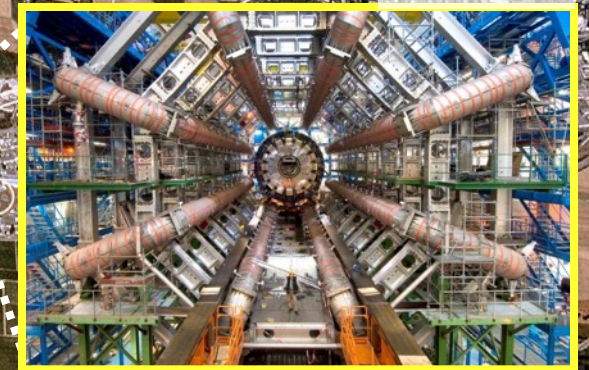
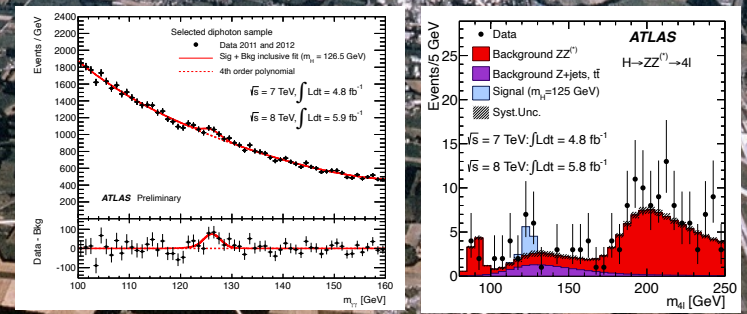
H \rightarrow ZZ^(*) \rightarrow 4 leptones



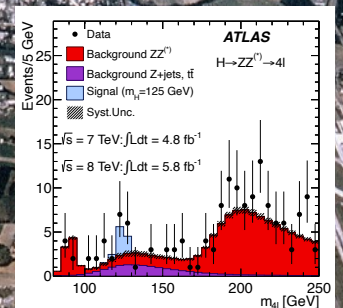
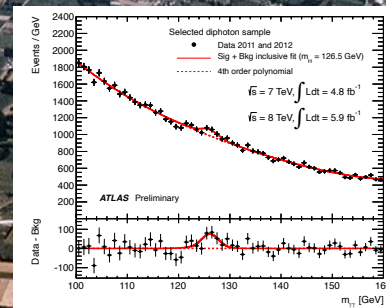
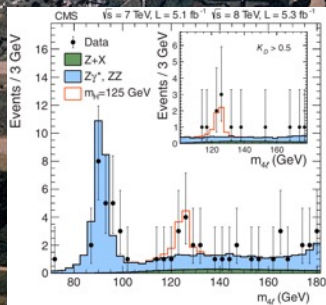
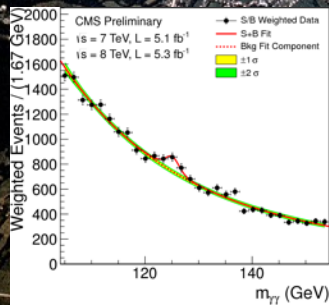
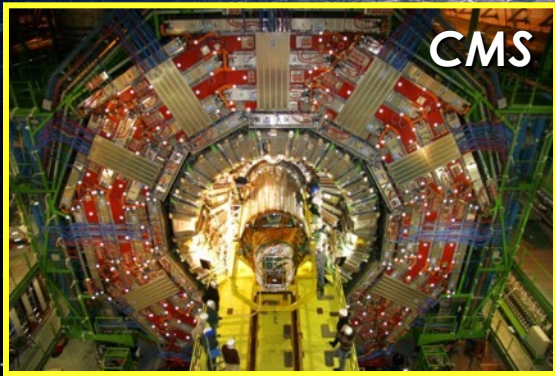
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4 \text{ leptones}$



Verificación independiente



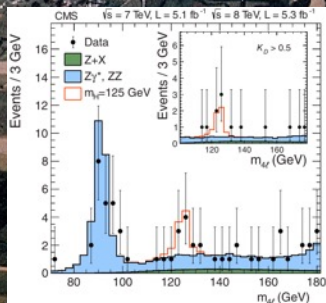
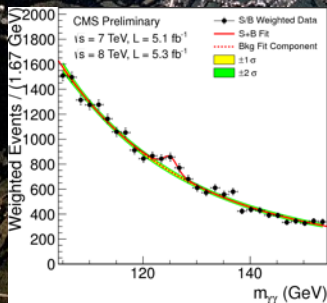
Verificación independiente



Combinación

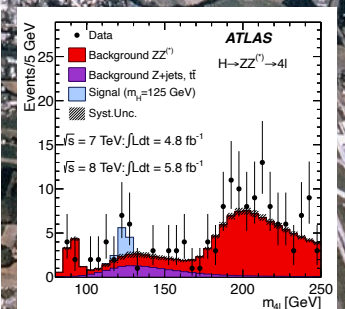
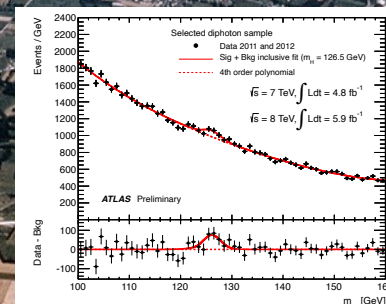


CMS



Probabilidad $< 0.00003\%$
 = “ 5σ ” \rightarrow Descubrimiento!

Probabilidad $< 0.00003\%$
 = “ 5σ ” \rightarrow Descubrimiento!



ATLAS

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 España y México tenemos excelentes grupos
experimentales que colaboran con CERN.



¿Qué sigue?

¿Qué sigue?

CERN:

- Bajo el lago de Ginebra
- 80 – 100 km

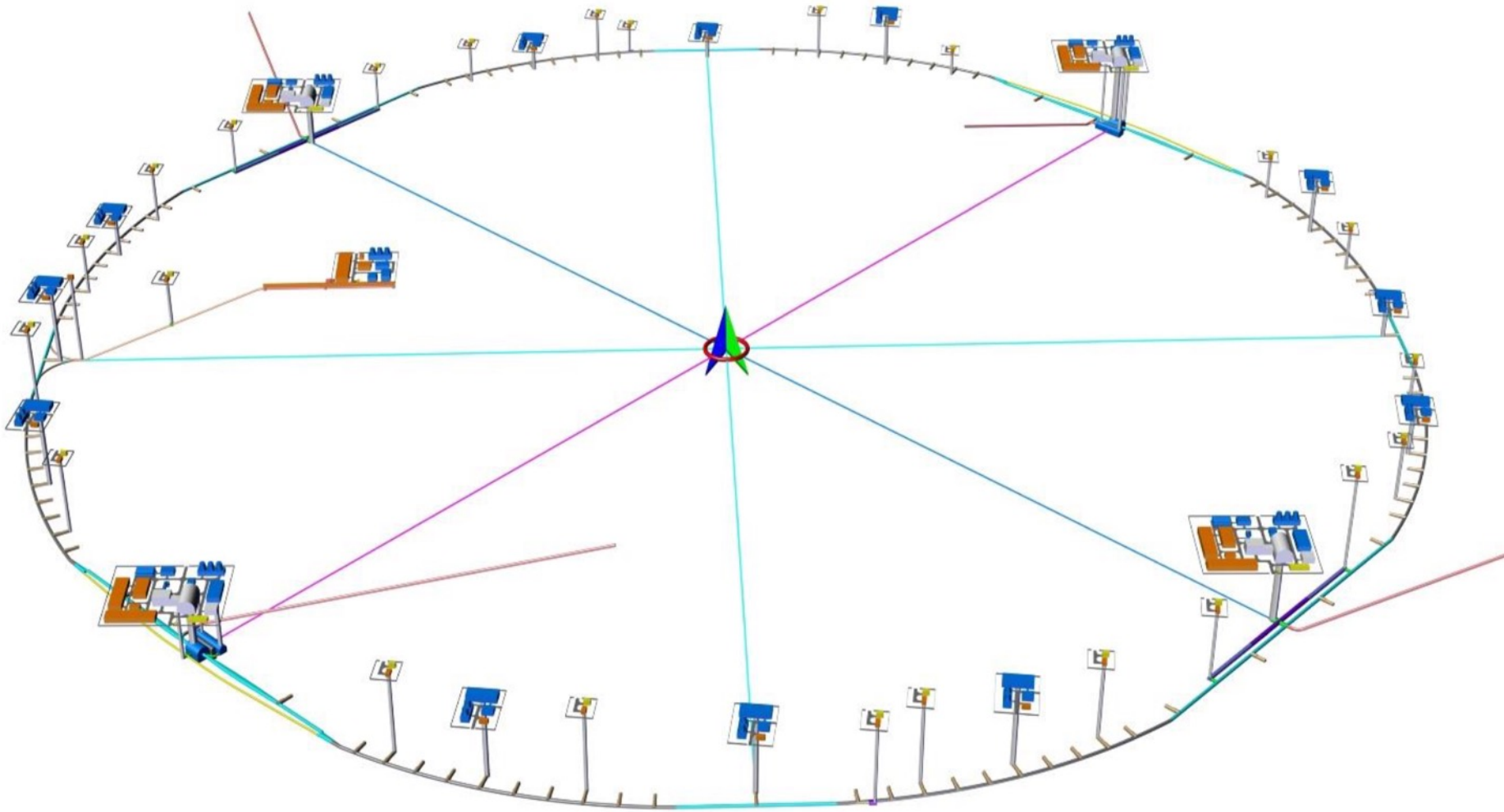


China:

- 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.

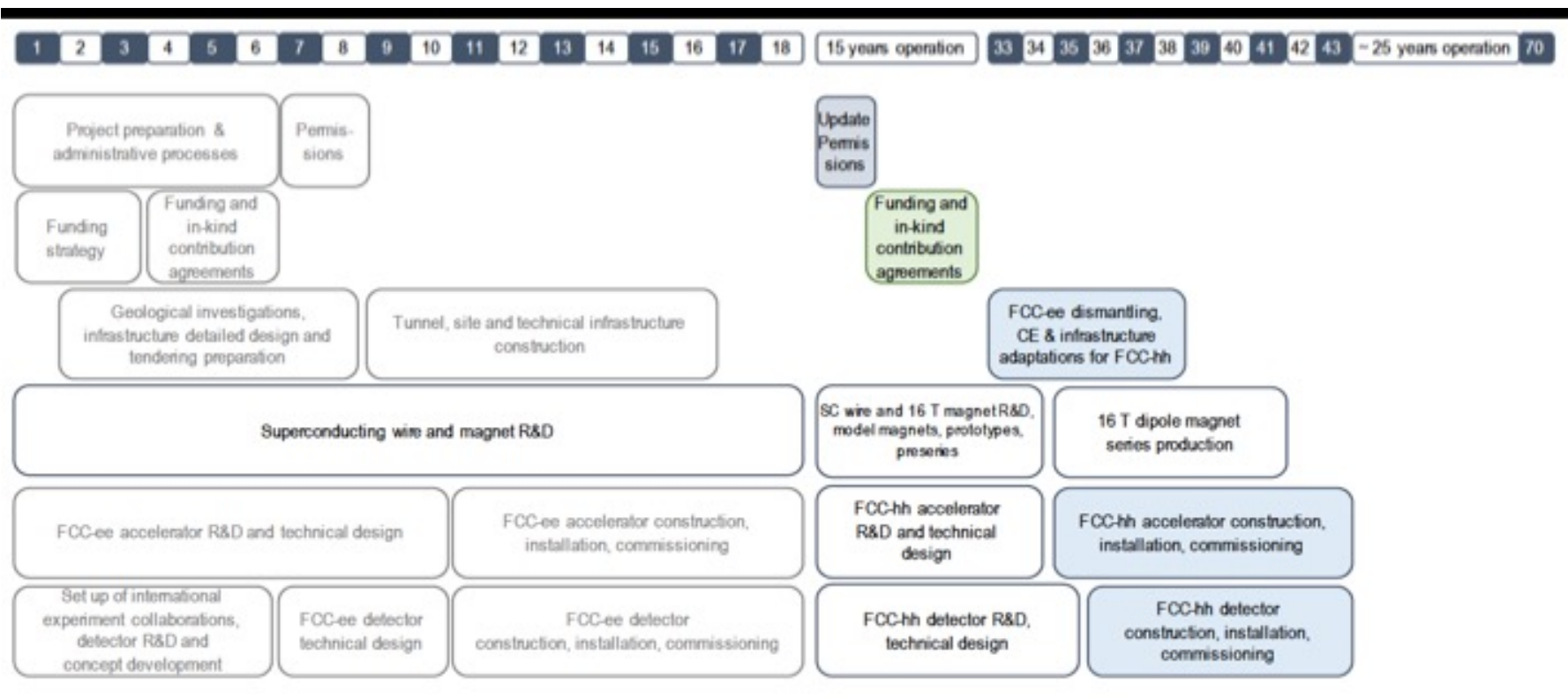


Imagen: Jorgen D'Hondt @ HK IAS Workshop 2019

