

# LA RECETA CÓSMICA

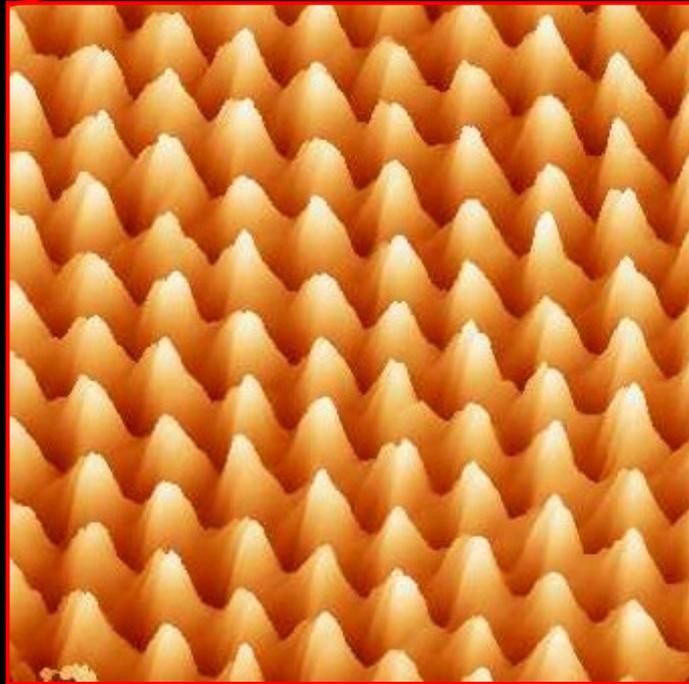
**ALBERTO GÜIJOSA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES, UNAM**

**[alberto@nucleares.unam.mx](mailto:alberto@nucleares.unam.mx)**

# ¿De qué está hecho nuestro universo?

La punta de un lápiz, por ejemplo:

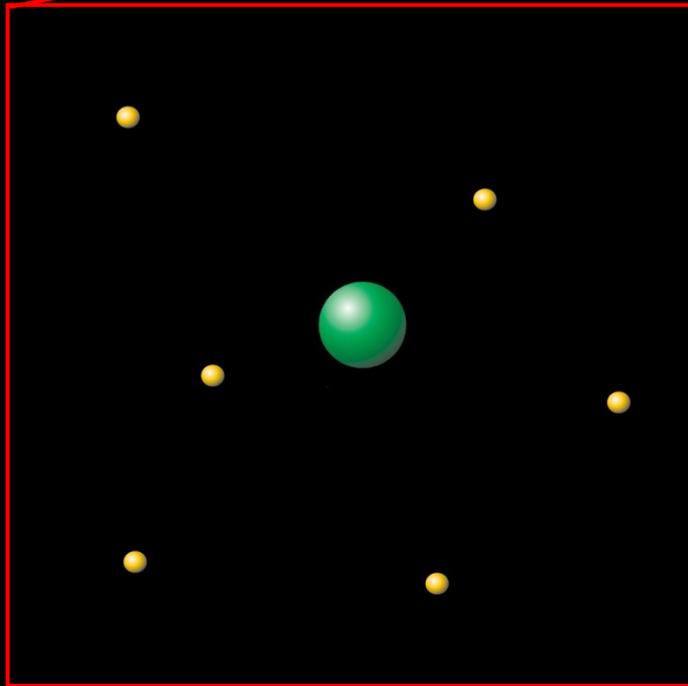
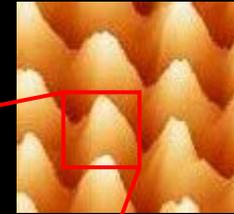


Átomos

0.0000000001 m

[Dalton; Einstein; Perrin;...]

# ¿De qué está hecho nuestro universo?



Núcleo (+)

$10^{-14}$  m

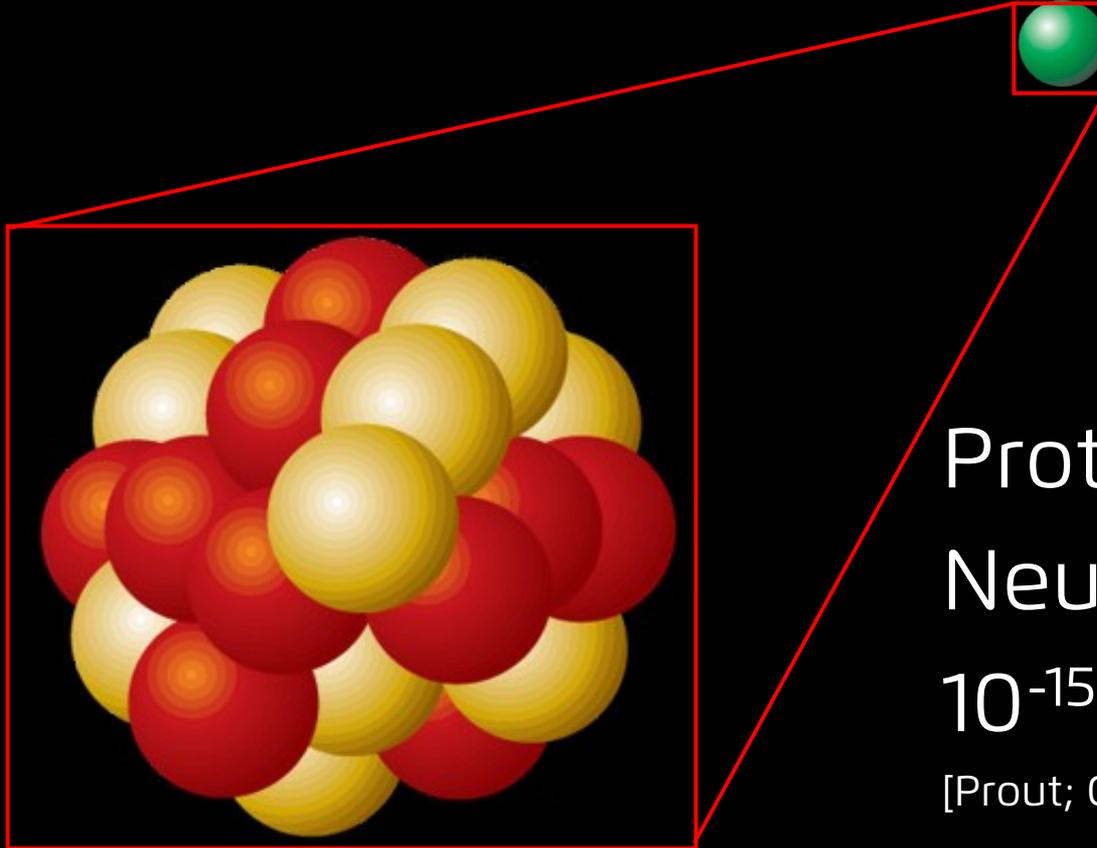
[Rutherford]

Electrón (-)

$<10^{-20}$  m

[Thomson]

# ¿De qué está hecho nuestro universo?



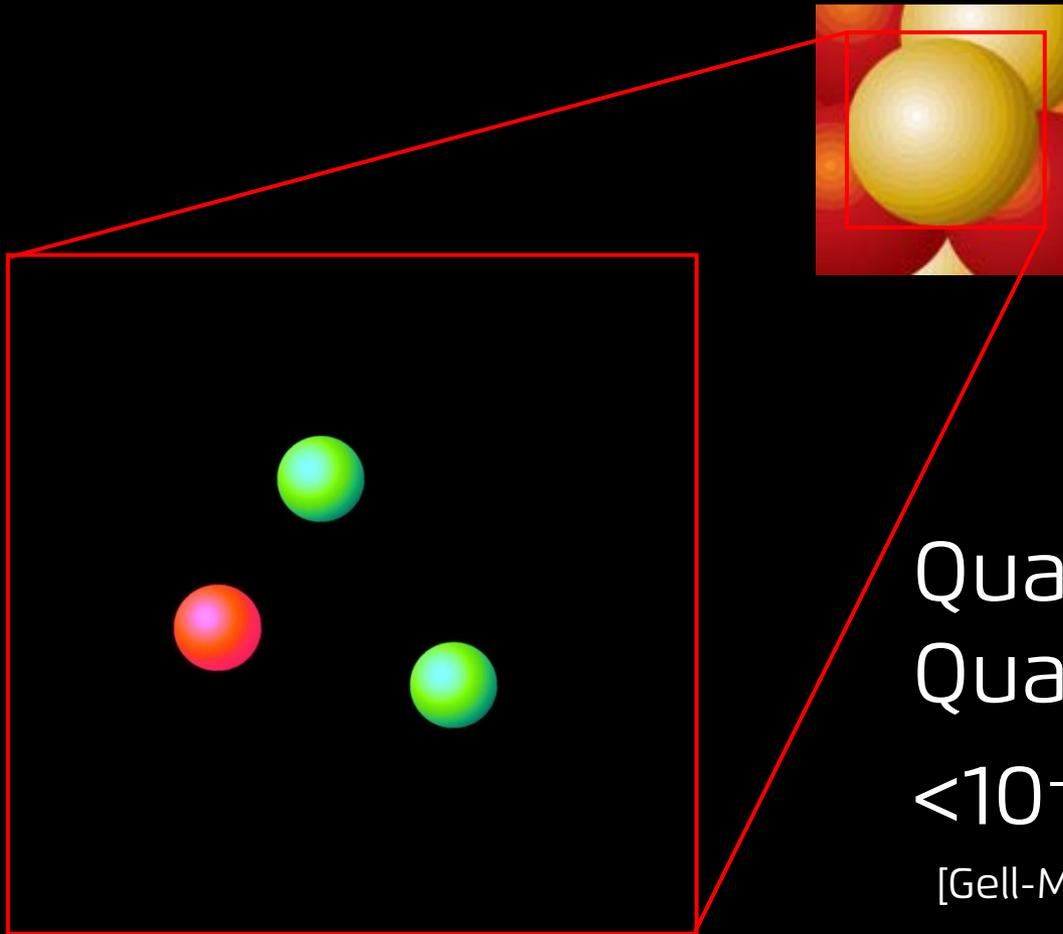
Protones (+)

Neutrones

$10^{-15}$  m

[Prout; Chadwick]

# ¿De qué está hecho nuestro universo?



Quarks *arriba* (+)

Quarks *abajo* (-)

$<10^{-20}$  m

[Gell-Mann; Zweig]

# ¿De qué está hecho nuestro universo?

 Electrones

 Arribas

 Abajos

son partículas **elementales**

¡¡Todos los objetos que vemos están hechos de solo 3 “ladrillos” básicos!!

# ¿De qué está hecho nuestro universo?

 Electrones

 Arribas

 Abajos

Su tamaño es

**menor a una  
cientrillonésima**

**de metro** ( $10^{-20}$  m)

son partículas **elementales**

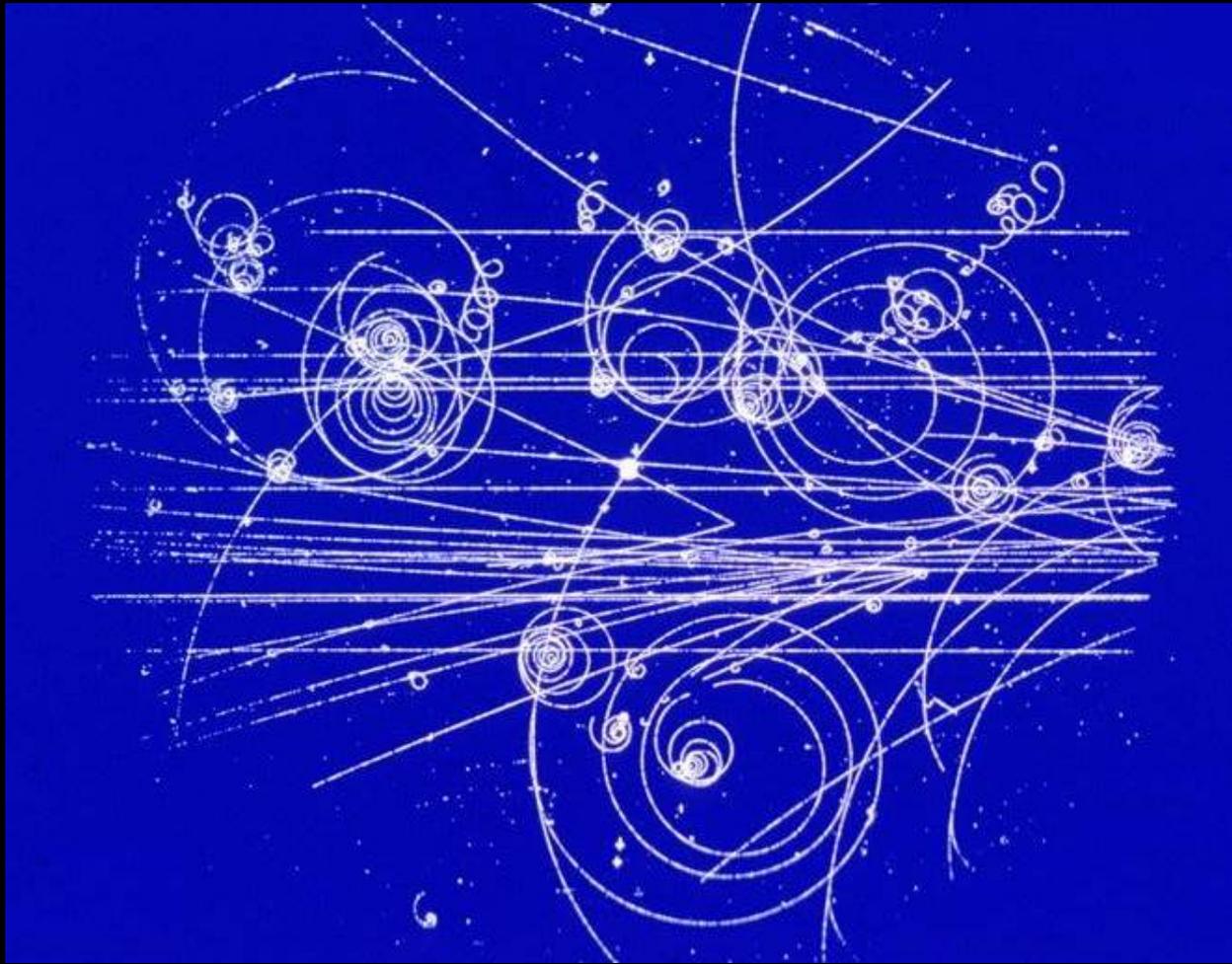
# ¿Cómo sabemos que existen?

Porque pueden dejar huellas...



# ¿Cómo sabemos que existen?

Imagen tomada con una 'cámara de burbujas':

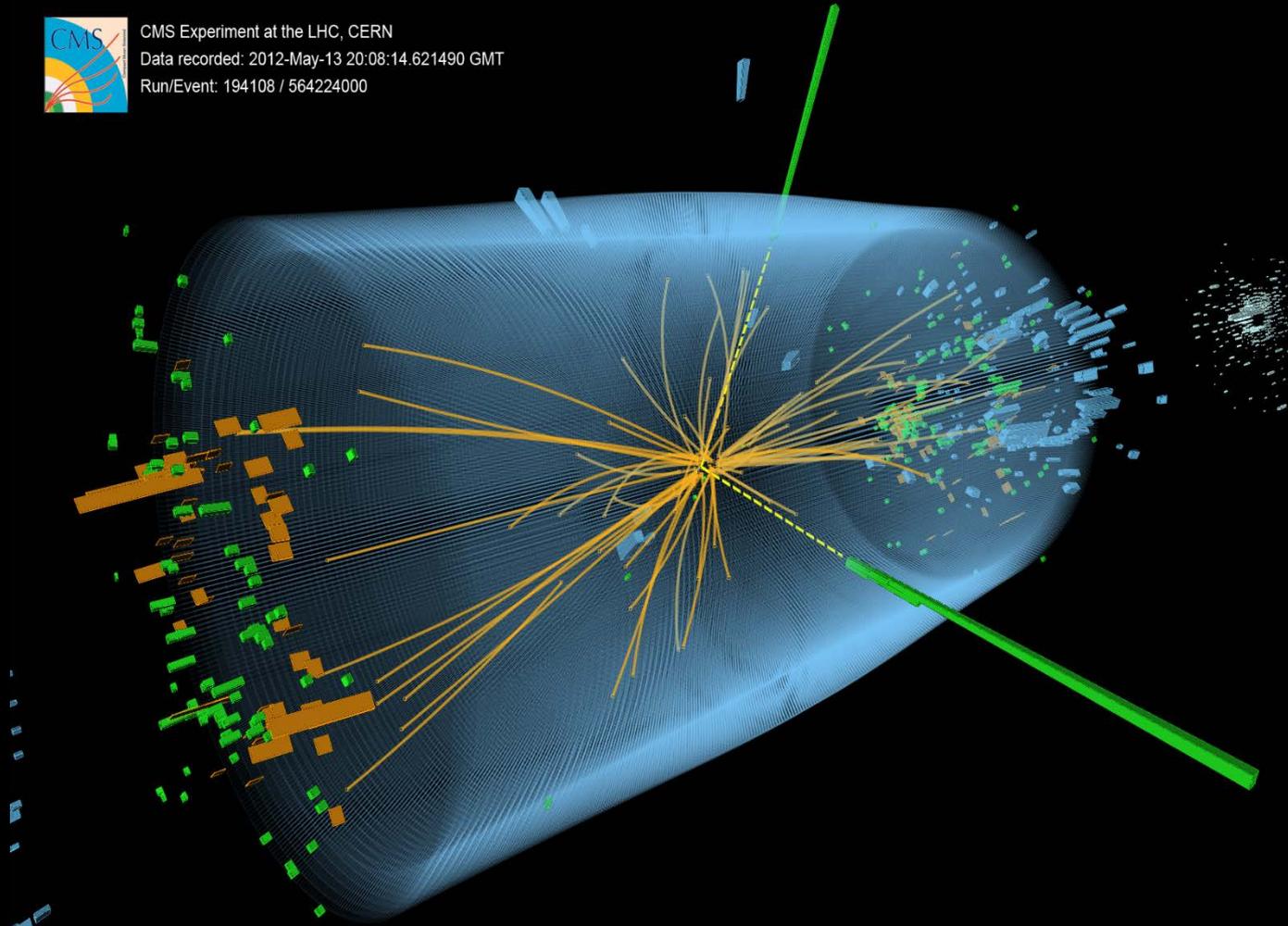


# ¿Cómo sabemos que existen?

Imagen tomada con un detector moderno:



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



¡¡Las partículas elementales pueden **aparecer** y **desaparecer**!!



Fotografía real (en color falso) tomada en una `cámara de burbujas'

Las partículas de las que estamos hechos hoy **aparecieron** hace 13,800 millones de años, después de la "Gran Explosión" o "Big Bang"

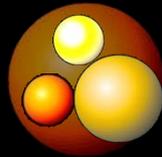




Las partículas  
deben seguir  
ciertas **reglas**  
**básicas**  
(conservar  
energía, carga  
eléctrica, etc.) ,  
gracias a lo cual  
NO hay riesgo  
de que  
desaparezcamos  
repentinamente

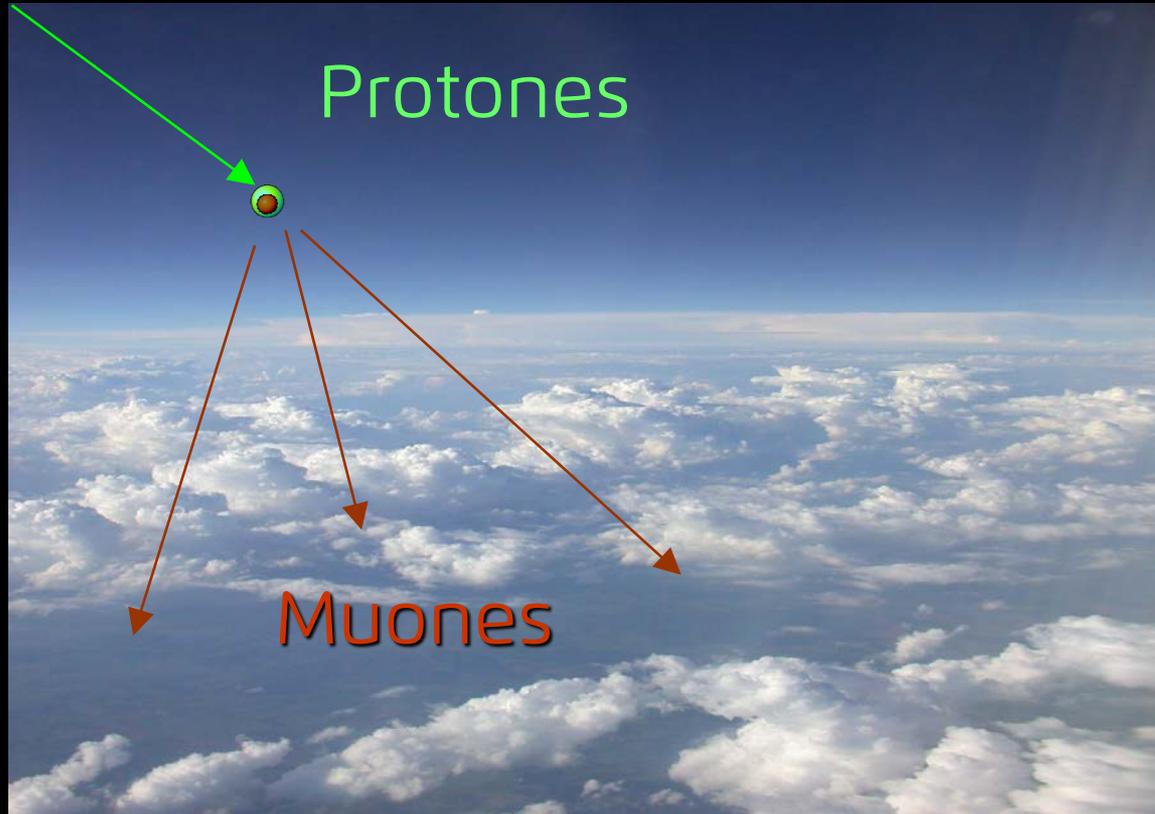
# Más Partículas Elementales

Por ejemplo: el **muón** (-) vive solo  
0.000002 seg

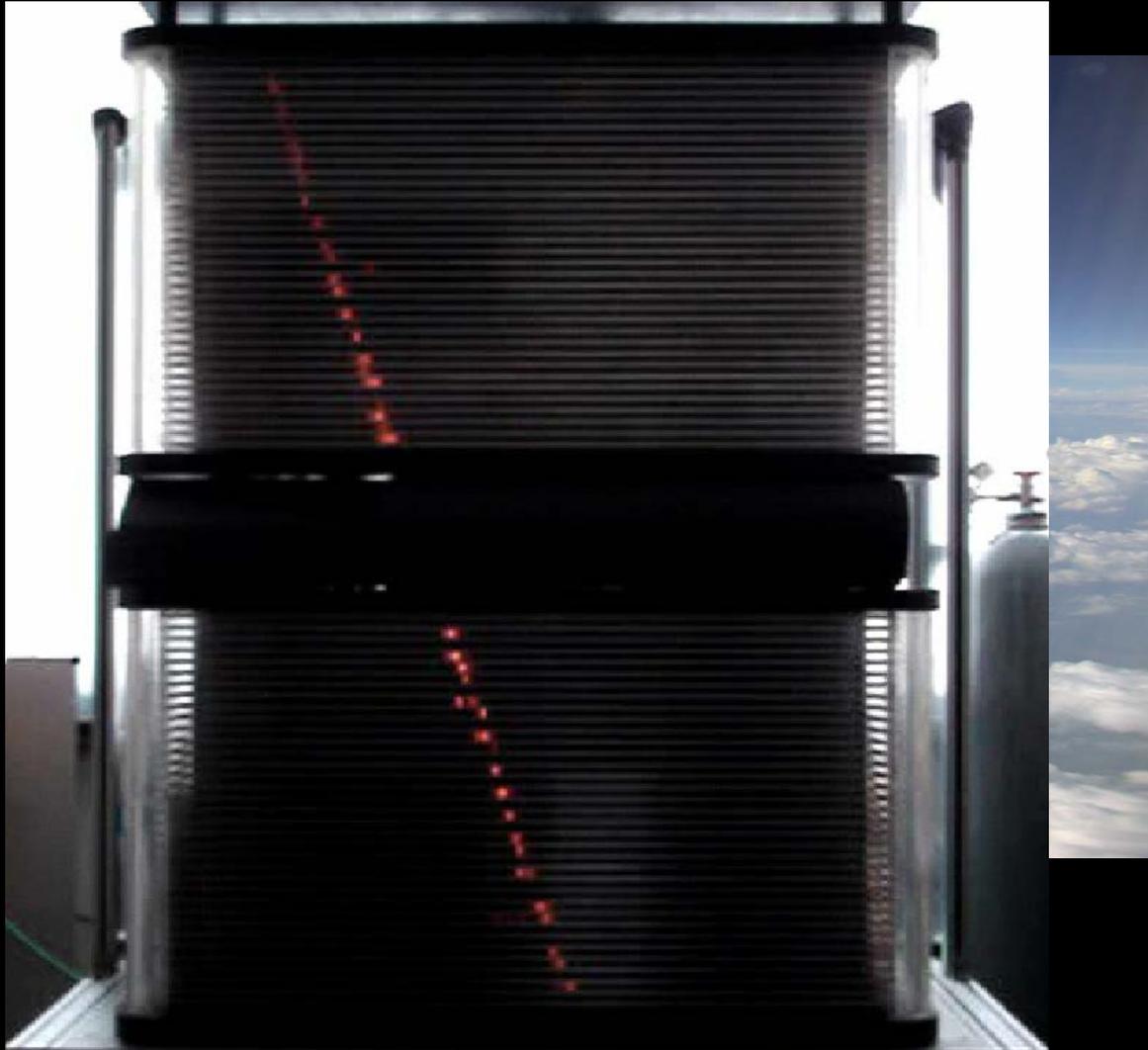


¿¿Dónde rayos encontramos muones??

# Rayos C3smicos



# Rayos C3smicos



Las partículas no están solo flotando por ahí, sino que interactúan entre sí a través de **fuerzas o interacciones fundamentales**

# Fuerzas a Nivel Microscópico

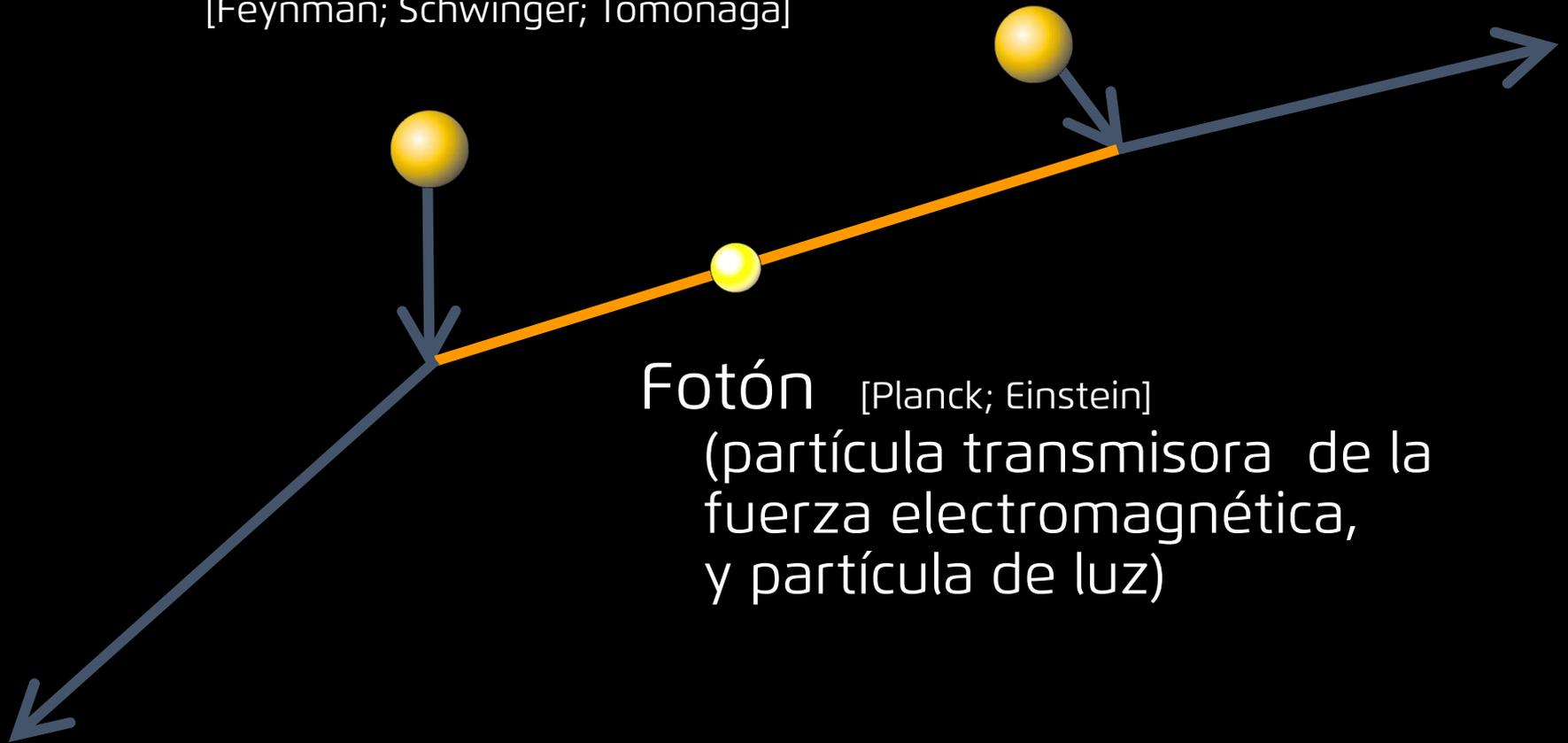
Por ejemplo, repulsión entre 2 electrones:  
[Feynman; Schwinger; Tomonaga]



Fotón [Planck; Einstein]

# Fuerzas a Nivel Microscópico

Por ejemplo, repulsión entre 2 electrones:  
[Feynman; Schwinger; Tomonaga]

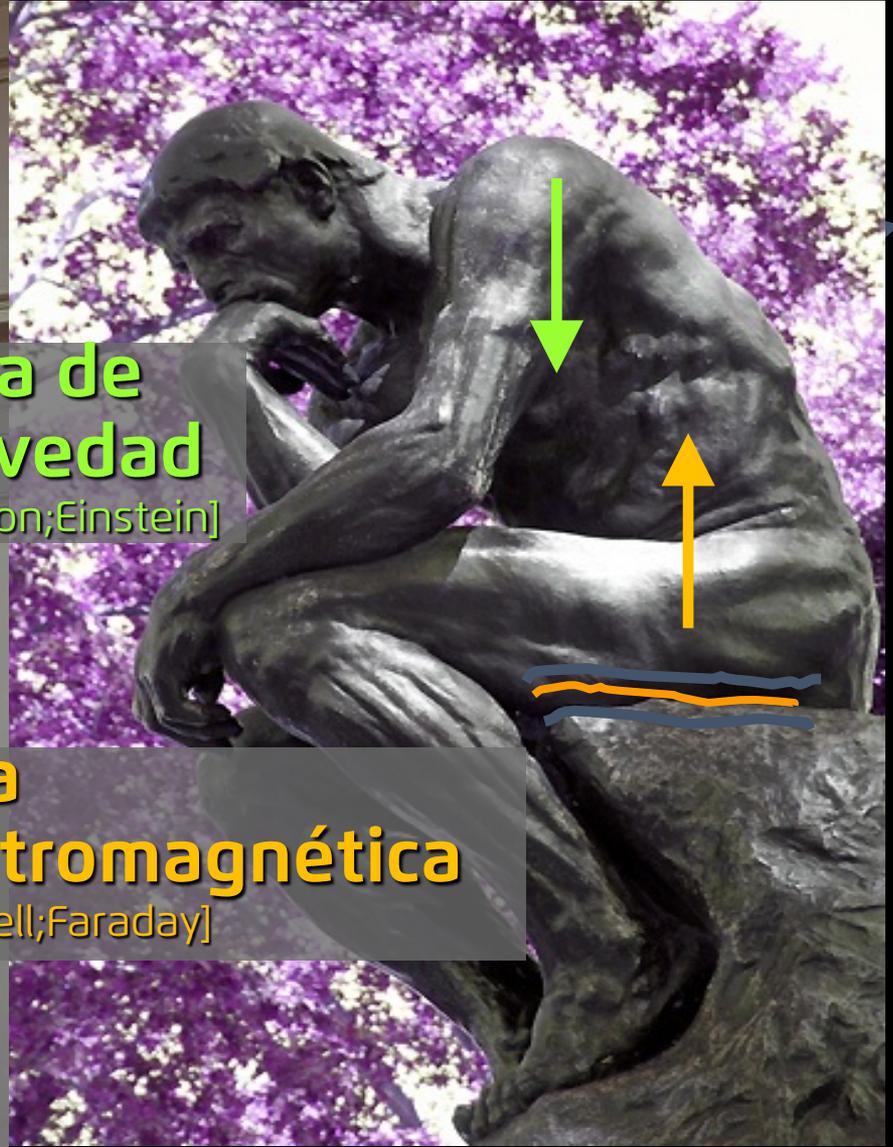
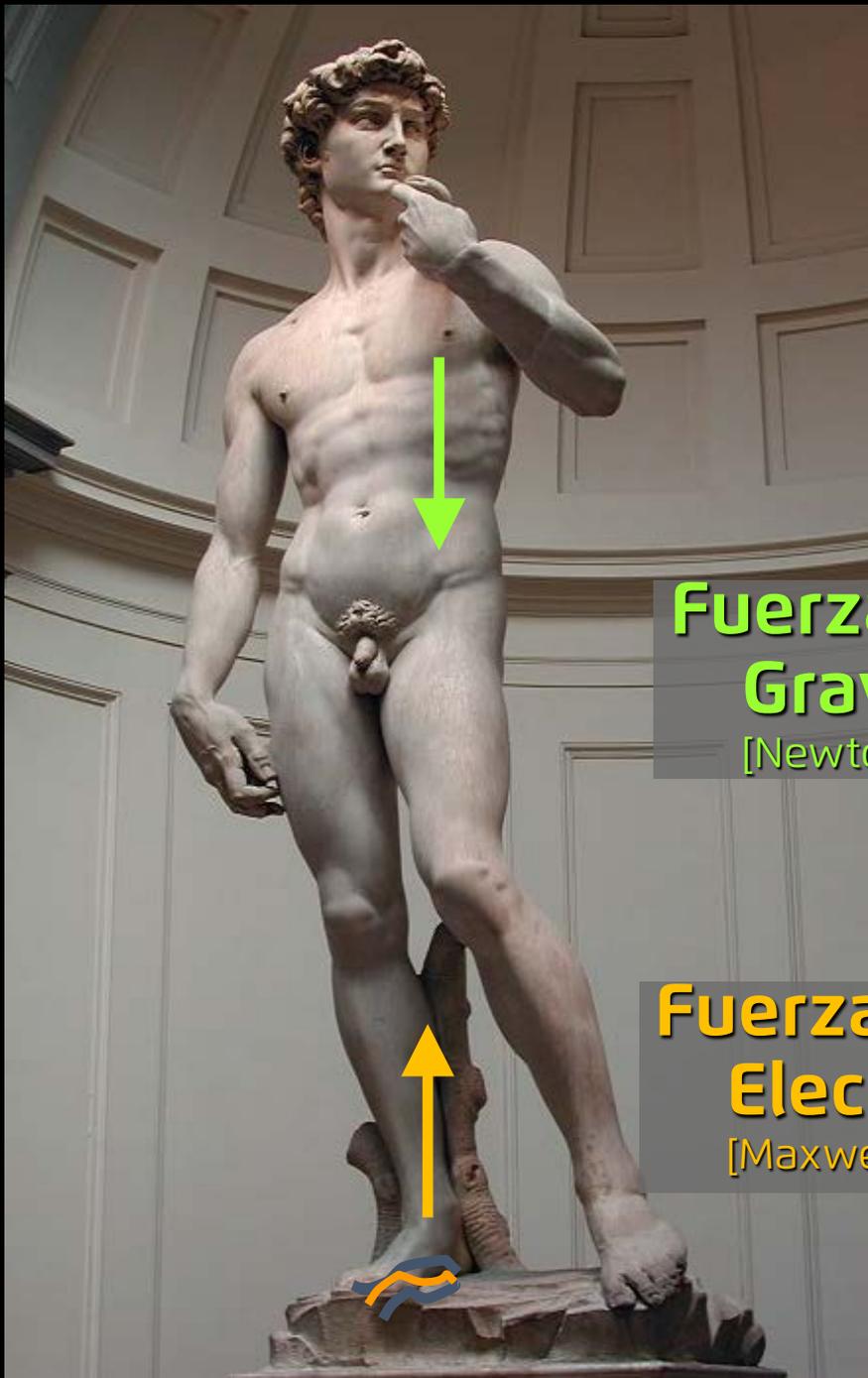


Fotón [Planck; Einstein]  
(partícula transmisora de la  
fuerza electromagnética,  
y partícula de luz)

# Microscópico

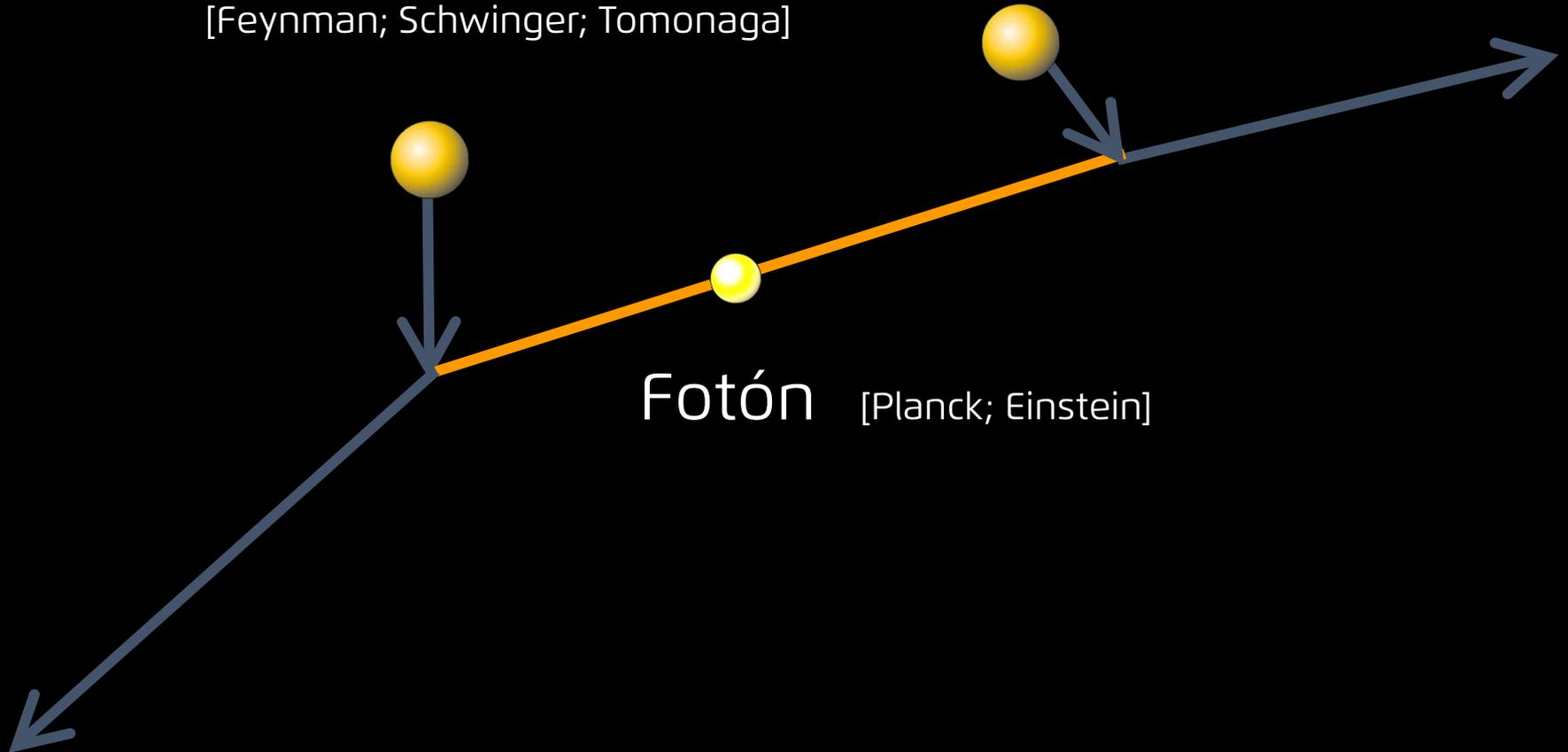
**Fuerza de Gravedad**  
[Newton; Einstein]

**Fuerza Electromagnética**  
[Maxwell; Faraday]



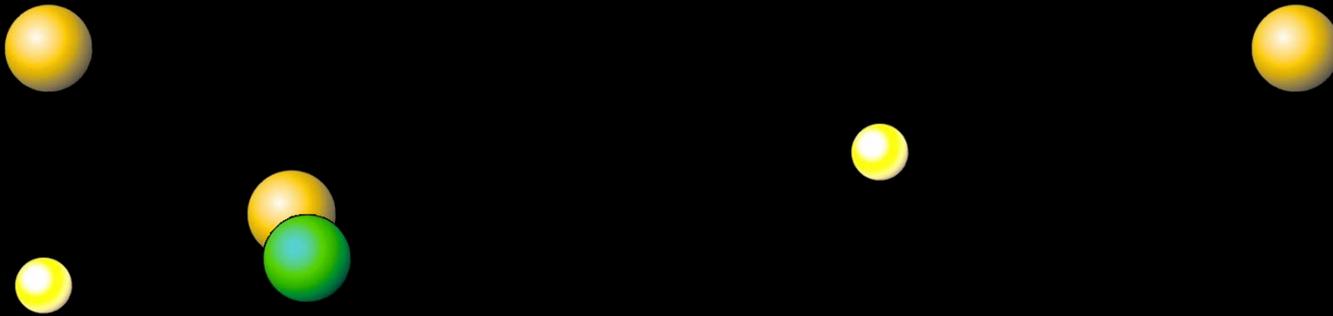
# Fuerzas a Nivel Microscópico

Por ejemplo, repulsión entre 2 electrones:  
[Feynman; Schwinger; Tomonaga]



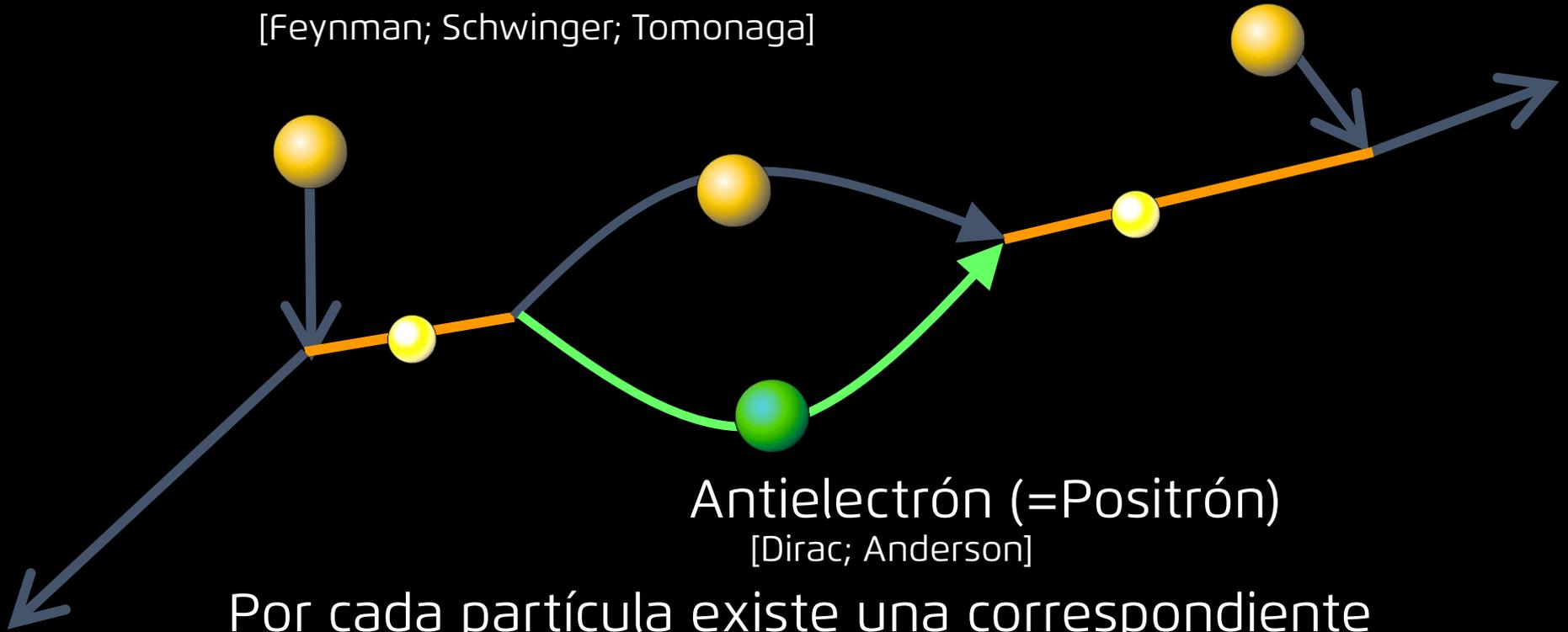
# Fuerzas a Nivel Microscópico

Contribuyen también procesos más complicados:  
[Feynman; Schwinger; Tomonaga]



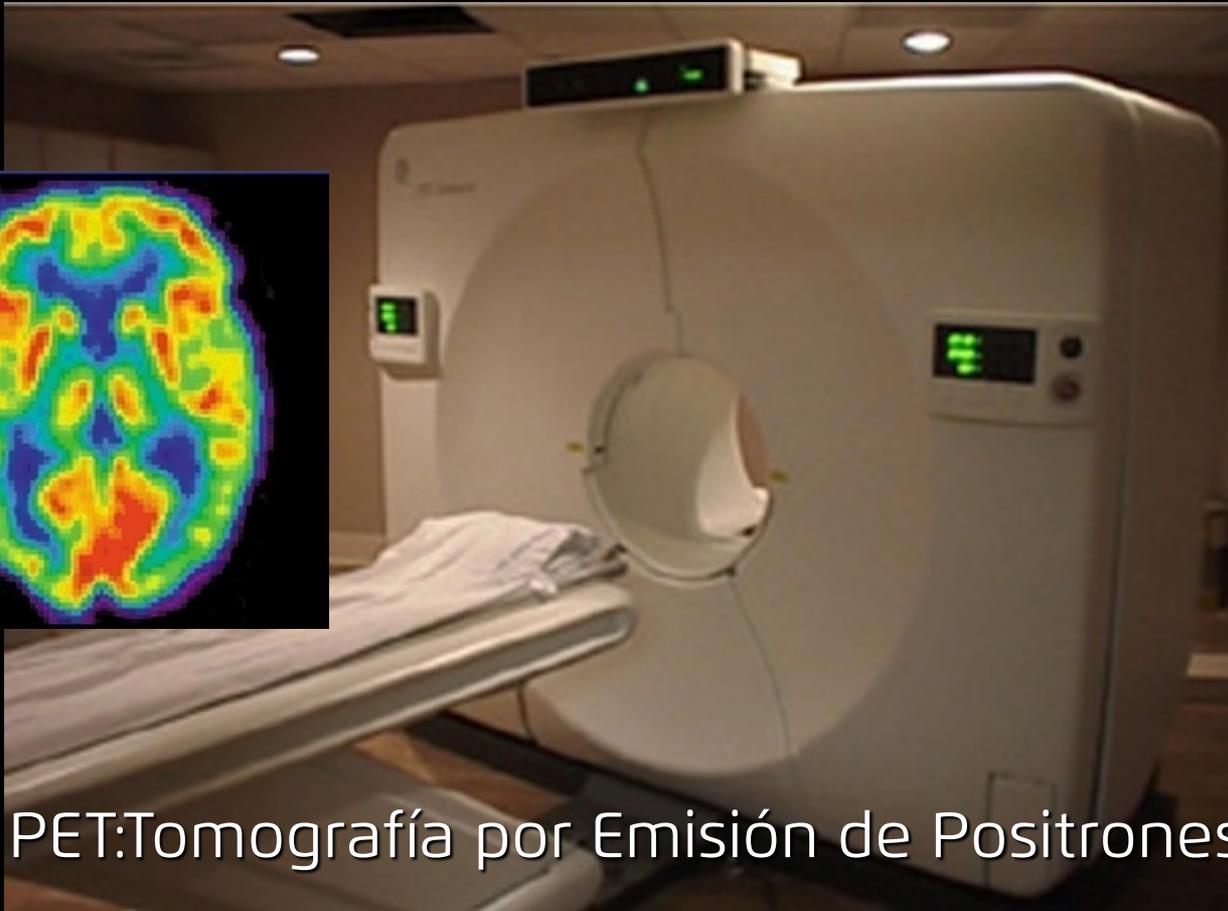
# Fuerzas a Nivel Microscópico

Contribuyen también procesos más complicados:  
[Feynman; Schwinger; Tomonaga]



Antielectrón (=Positrón)  
[Dirac; Anderson]

Por cada partícula existe una correspondiente  
**antipartícula** (hay antiquarks, antiprotones, etc.)



PET:Tomografía por Emisión de Positrones

Antielectrón (=Positrón)

[Dirac; Anderson]

Por cada partícula existe una correspondiente  
**antipartícula**

La teoría específica que resume todo lo que sabemos con certeza hasta ahora sobre la **receta cósmica** tiene un nombre muy modesto...

# Modelo Estándar

12 “ladrillos” básicos de la materia:

6 quarks

[Gell-Mann;  
Zweig; Richter;  
Ting;...]

6 leptones

[Thomson;  
Anderson;  
Neddermeyer;...]

<b>Arriba</b> 5, 2/3 	<b>Encanto</b> 2400, 2/3 	<b>Cima</b> 340000, 2/3 
<b>Abajo</b> 12, -1/3 	<b>Extraño</b> 205, -1/3 	<b>Belleza</b> 8300, -1/3 
<b>Electrón</b> 1, -1 	<b>Muón</b> 207, -1 	<b>Tau(ón)</b> 3477, -1 
<b>Neutrino del electrón</b>  <0.000006, 0	<b>Neutrino del muón</b>  <0.37, 0	<b>Neutrino del tau(ón)</b>  <36, 0

3 ‘familias’ o ‘generaciones’

# Modelo Estándar

4 "cementos" (partículas que dan origen a las 3 **fuerzas fundamentales**):

- **Electromagnética: Fotón** 

[Maxwell; Feynman; Schwinger; Tomonaga]

- **Débil: W** , **Z** 

[Curie; Becquerel; Fermi; Glashow; Salam; Weinberg]

- **Fuerte: Gluón** 

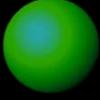
[Gross, Wilczek; Politzer;...]

# Modelo Estándar

4 "cementos" (partículas que dan origen a las 3 fuerzas fundamentales):

- **Electromagnética: Fotón** 

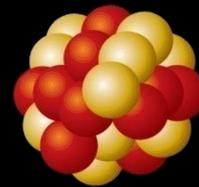
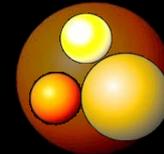
[Maxwell; Feynman; Schwinger; Tomonaga]

- **Débil: W** , **Z** 

[Curie; Becquerel; Fermi; Glashow; Salam; Weinberg]

- **Fuerte: Gluón** 

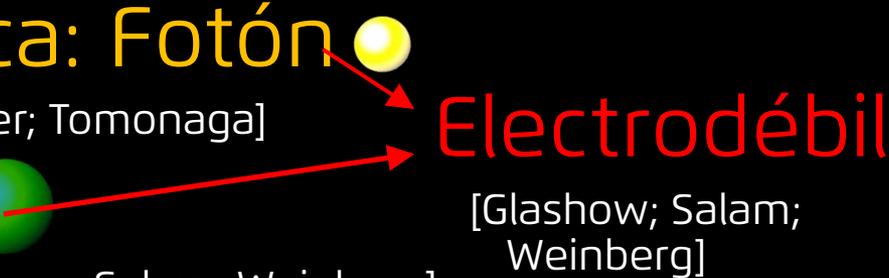
[Gross, Wilczek; Politzer;...]



Núcleo

# Modelo Estándar

4 "cementos" (partículas que dan origen a las 3 fuerzas fundamentales):

- **Electromagnética: Fotón**   
[Maxwell; Feynman; Schwinger; Tomonaga]
  - **Débil: W** , **Z**   
[Curie; Becquerel; Fermi; Glashow; Salam; Weinberg]
  - **Fuerte: Gluón**   
[Gross, Wilczek; Politzer;...]
- Electrodébil**  
[Glashow; Salam; Weinberg]
- 

# Modelo Estándar

1 partícula adicional (asociada al origen de la **masa** de las otras partículas, y a la aparente distinción entre **fuerzas electromagnética y débil**):



Bosón de Higgs

[Higgs; Brout,Englert; Guralnik,Haag,Kibble]

245000,0

**CNN** Científicos descubren una partícula 'consistente' con el bosón de Higgs

**BBC** Higgs boson-like particle discovery claimed at LHC

2012

**EL PAIS**

**NewScientist**

¡La partícula de Higgs por fin!

**Celebrations as Higgs boson is finally discovered**

**REFORMA** Presume CERN al bosón de Higgs

**EL UNIVERSAL**

El Bosón de Higgs, el mayor descubrimiento en un siglo

*The New York Times*

**Forbes**

Higgs Boson Discovery Has Been Confirmed

**Physicists Find Elusive Particle**

**ScienceNews**

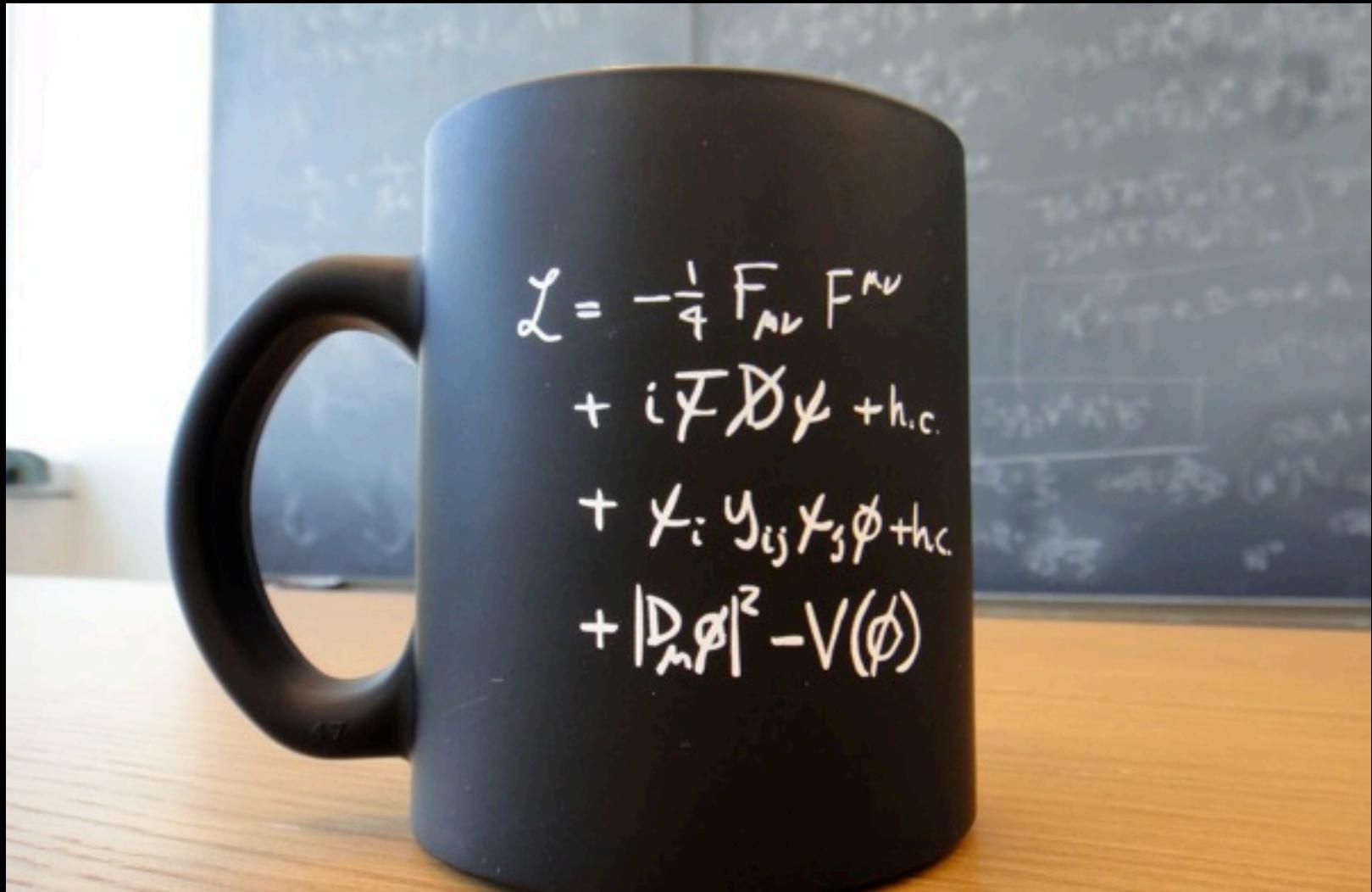
**Le Monde**

**Higgs — at last!**

Le boson de Higgs découvert

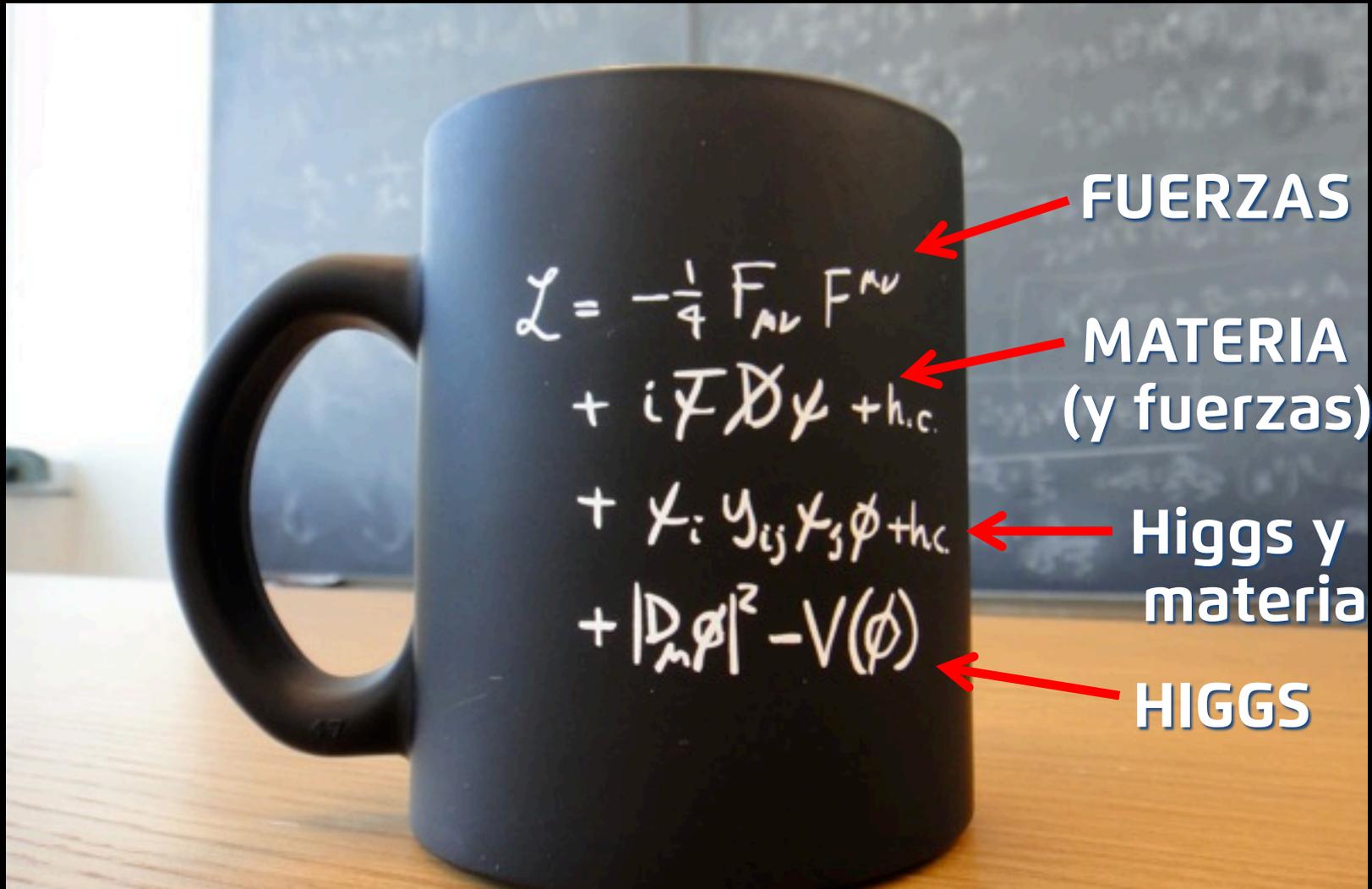
# Modelo Estándar

La física describe al mundo con **matemáticas**



# Modelo Estándar

La física describe al mundo con **matemáticas**



Las predicciones del Modelo Estándar han sido comprobadas con muy alta precisión en miles de experimentos

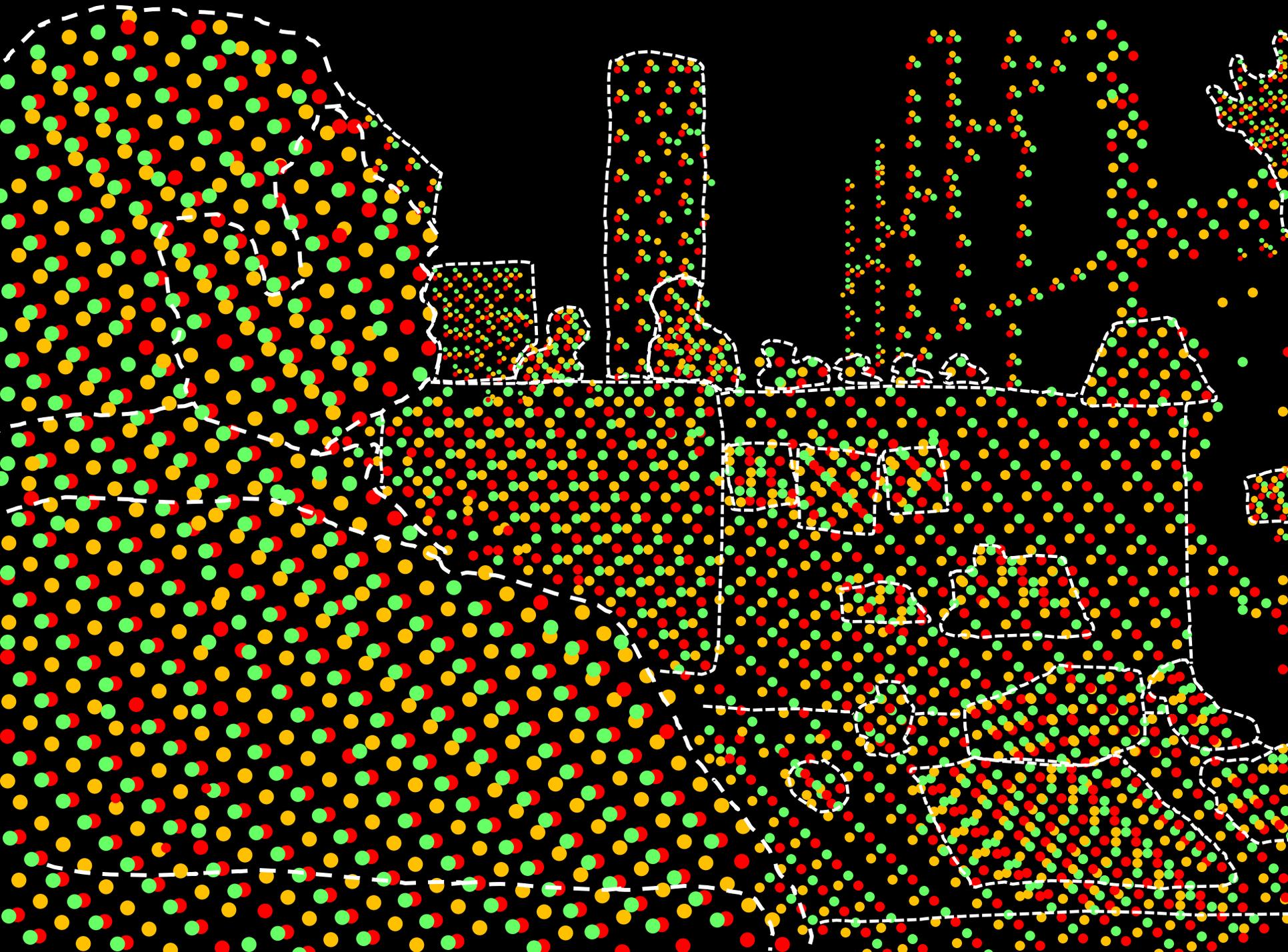
Pero al día de hoy, por varias razones estamos seguros de que el Modelo Estándar **NO** puede ser la última palabra...

En particular, ¡¡no describe a la **gravedad**!!  
(La gravedad es la fuerza **más débil** de todas)

Otros pendientes: **materia oscura**, **energía oscura**, **antimateria vs. materia**, **masa de neutrinos**, etc.

Para entender más, necesitamos nuevas **teorías** y nuevos **experimentos**...





# Teoría de Cuerdas

¡¡ 1 solo ingrediente básico!!

¡Incluye a la **GRAVEDAD!**

Pero aún **NO** hay evidencia experimental que la apoye...

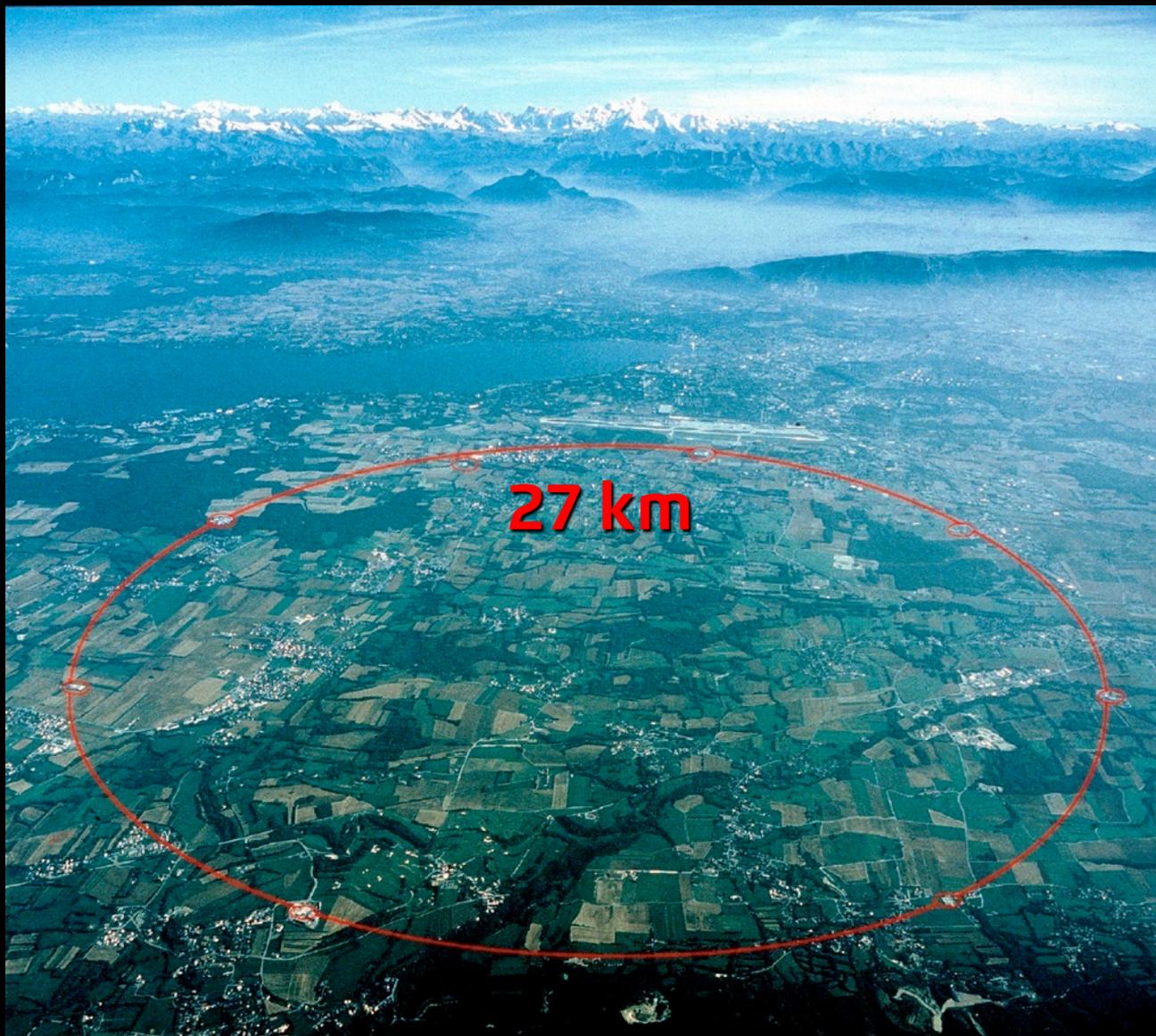
# LHC: Gran Colisionador de Hadrones



CERN

Máquina gigante para  
acelerar **protones o  
núcleos pesados**, y  
hacerlos chocar

# LHC: Gran Colisionador de Hadrones

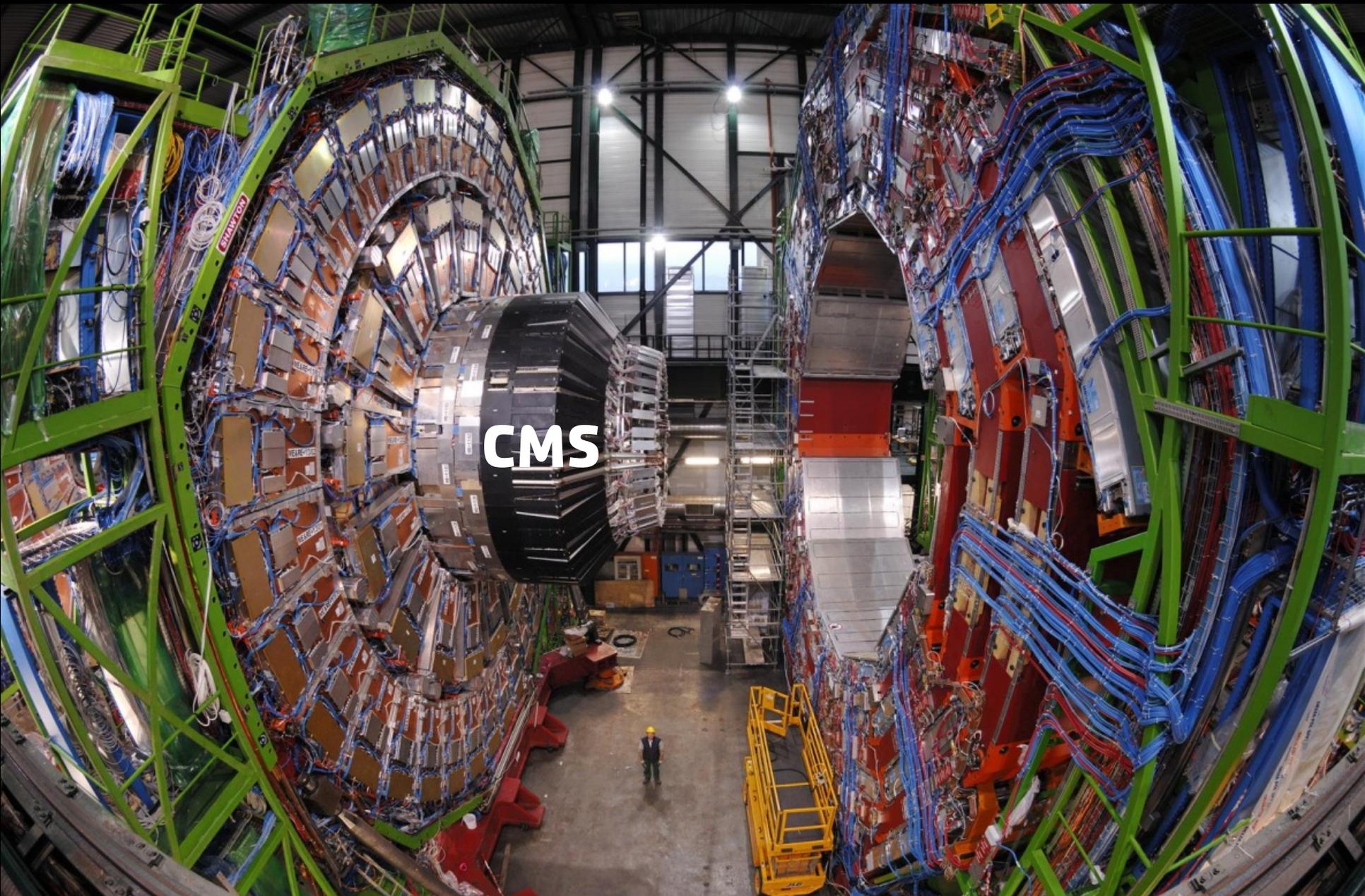


# LHC: Gran Colisionador de Hadrones



A wide-angle, low-angle photograph of the ALICE experiment detector. The detector is a large, complex, cylindrical structure with a complex internal framework of metal pipes and supports. It is surrounded by a large, red, angular structure. A person in a white shirt and blue jeans stands on a green platform in the foreground, providing a sense of scale. The scene is illuminated by bright overhead lights, and the floor is covered with a metal grating. A yellow crane arm is visible on the left side of the frame. The word "ALICE" is overlaid in white text on the red structure.

**ALICE**



CMS

Estamos orgullosos de haber ido a la Luna



Estamos orgullosos de haber ido a la Luna



# LHC: Algunos Números

- ¡Esfuerzo tecnológico mayor al del viaje a la Luna!
- Trabajo de >8,000 personas de >100 países durante >20 años
- Costo total de 10,000 millones de dólares
- ¡600 millones de choques por segundo!
- >1,200 imanes de 27 toneladas cada uno
- ¡Imanes enfriados a 271 grados bajo cero!
- ¡Temperaturas de billones de grados!
- Datos almacenados en 1 año llenarían una torre de CDs ¡del doble del alto del Everest!

México participa activamente en el LHC,  
dentro de las colaboraciones **ALICE**  
(UNAM, CINVESTAV, BUAP, UAS) y **CMS**  
(CINVESTAV, BUAP, UIA y UASLP)



# LHC ¿Para Qué?

- Beneficios tecnológicos predecibles a corto y mediano plazo  
(P.ej., la **web** se inventó en CERN en 1990; ahora se utiliza nueva tecnología **Grid**)



# LHC ¿Para Qué?

- Beneficios tecnológicos predecibles a corto y mediano plazo  
(P.ej., la **web** se inventó en CERN en 1990; ahora se utiliza nueva tecnología **Grid**)
- Beneficios tecnológicos insospechados a largo plazo  
(P.ej., la **física cuántica** es la base de la electrónica y toda nuestra alta tecnología)
- Beneficios científicos: ¡¡queremos satisfacer nuestra **curiosidad!!**

# LHC ¿Para Qué?

- **Higgs:** origen de la masa de las partículas ✓
- **Plasma de Quarks y Gluones (QGP):** ✓  
sopa primordial que existió tras Big Bang
- ¿Materia Oscura? (invisible, pero abundante)
- ¿Supersimetría? (más copias de las partículas)
- ¿Dimensiones Adicionales??
- ¿Micro-agujeros Negros??
- ¿Cuerdas??? (1 solo ingrediente básico)

A deep field image of the universe, showing a vast field of galaxies and stars against a black background. The galaxies are of various shapes and colors, including spirals, ellipticals, and irregulars, scattered across the frame. The stars appear as bright points of light, some with diffraction spikes.

ii Vivimos en un universo maravillosamente extraño, en una época privilegiada!!

## Archivos de esta plática:

[www.nucleares.unam.mx/~alberto/platicas/recetaa.pptx](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/platicas/recetaa.pptx)  
[/recetaa.pdf](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/platicas/recetaa.pdf)

## Artículos divulgación Modelo Estándar, Higgs, cuerdas:

[www.nucleares.unam.mx/~alberto/articulos/receta.pdf](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/articulos/receta.pdf)  
[/higgs.pdf](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/articulos/higgs.pdf)  
[/cuerdas.pdf](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/articulos/cuerdas.pdf)  
[/espejismos.pdf](http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/articulos/espejismos.pdf)

## Libros divulgación partículas, LHC, gravedad, cuerdas:

Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*

Don Lincoln, *The Quantum Frontier*

Don Lincoln, *The Large Hadron Collider*

Brian Greene, *El Tejido del Cosmos*

Brian Greene, *El Universo Elegante*

**Contacto:** Correo [\*\*alberto@nucleares.unam.mx\*\*](mailto:alberto@nucleares.unam.mx)

Facebook [\*\*@gaeunam\*\*](https://www.facebook.com/gaeunam)

Sitio web [\*\*http://cuerdas.fisica.unam.mx/gae\*\*](http://cuerdas.fisica.unam.mx/gae)

- Transparencias extra

# Modelo Estándar

**El universo está completamente lleno de una especie de mar invisible, que llamamos el "campo de Higgs"**

# Modelo Estándar

El universo está completamente lleno de una especie de mar invisible, que llamamos el "campo de Higgs"

¡El 'vacío' no está nada vacío!

El campo de Higgs da origen a las **masas** de las otras partículas (sin lo cual no podríamos existir)

# ¿Qué es la Masa?



La masa de un objeto es un número que nos dice cuánto trabajo cuesta **moverlo** (acelerarlo) [Newton]

# Masa y el Mar de Higgs

La masa de una partícula depende de si el mar de Higgs está presente o no...

SIN Higgs:



Fotón

0 kg



Electrón

0 kg



Z

0 kg

CON Higgs: el mar de Higgs **ESTORBA** el paso de las **partículas**



# Masa y el Mar de Higgs

La masa de una partícula depende de si el mar de Higgs está presente o no...

SIN Higgs:



Fotón

0 kg



Electrón

0 kg



Z

0 kg

CON Higgs:



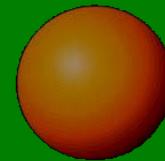
Fotón

0 kg



Electrón

0.000,000,000  
,000,000,00  
0,000,000,0  
00,000,911  
kg



Z

0.000,000,000  
,000,000,00  
0,000,000,1  
63 kg

# ¿Cómo comprobar la existencia del Mar de Higgs?

¡Necesitamos 'hacer olas'!

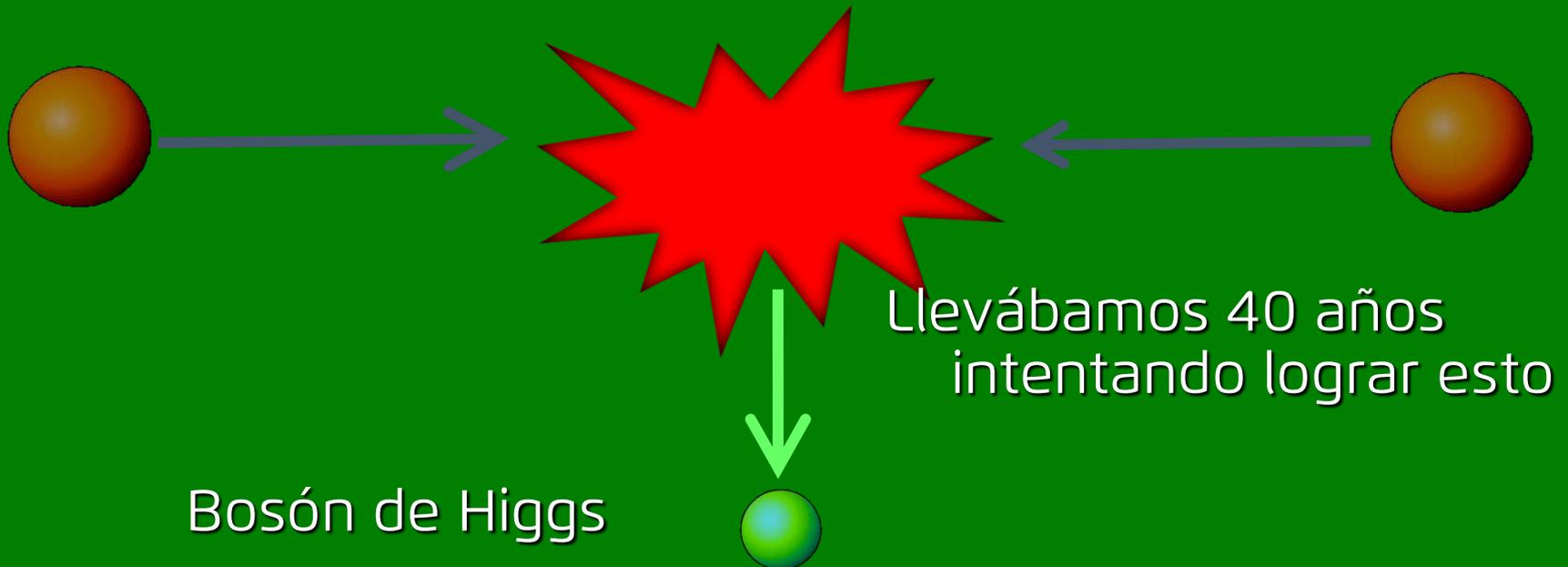


La ondita más chiquita posible en este mar es una **partícula** que llamamos el **bosón de Higgs**

# ¿Cómo comprobar la existencia del Mar de Higgs?

¡Necesitamos 'hacer olas'!

Es decir, necesitamos golpear violentamente al 'vacío' para crear un **bosón de Higgs**



# Limitaciones del Modelo Estándar

- Materia ordinaria es...  
¡sólo 5% del contenido del universo!



# Limitaciones del Modelo Estándar

- Materia ordinaria es...  
¡sólo 5% del contenido del universo!  
Otro 25%: **materia oscura**

# Limitaciones del Modelo Estándar



# Limitaciones del Modelo Estándar

- Más
- ¡sólo
- Otro
- Re

¡cada vez **más rápido!**

iverso!

3



# Limitaciones del Modelo Estándar

- Materia ordinaria es...  
¡sólo 5% del contenido del universo!  
Otro 25%: **materia oscura**  
Restante 70%: **energía oscura**  
(reponsable de expansión acelerada)

# Limitaciones del Modelo Estándar

- Materia ordinaria es...  
¡sólo 5% del contenido del universo!  
Otro 25%: **materia oscura**  
Restante 70%: **energía oscura**
- ¡¡Falta describir la gravedad!!  
(es la más débil de todas las fuerzas)