

# El Futuro de la Física de Partículas



*John Ellis*

- ¿ Qué hay despues del bosón de Higgs ?
- ¿ Qué física más allá del Modelo Estándar ?

¿ De dónde venimos ?

¿ Qué somos ?

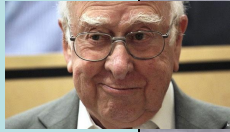
¿ Adónde vamos ?



El objetivo de la física de partículas:  
¿ Cómo está hecho el Universo ?

# Las grandes preguntas de Gauguin en los terminos de la física

- ¿ De qué está hecha la materia ?
  - ¿ Por qué hay masa ?
- ¿ Qué es la materia oscura en el universo ?
- ¿ Cómo evoluciona el universo ?
- ¿Cuál es el origen de la materia ?
- ¿ Por qué está el universo así de grande ?
- ¿ Hay dimensiones adicionales del espacio



**Nuestro objetivo es dar respuestas a estas preguntas**

# Algunas partículas tienen masas, algunas no

**Newton:**

El peso proporcional a la masa

**Einstein:**

La energía relacionada con la masa

No explicaron el origen de las masas

¿De dónde vienen las masas?

¿Las masas se deben a un bosón de Higgs?



# Como un campo de nieve



El esquiador anda muy rapido:  
como una partícula sin masa  
(el fotón = la partícula de la luz)



El LHC descubrió  
el copo de nieve:  
el bosón de Higgs

El raquetista anda menos  
rápido: como una partícula  
con una masa (el electrón)



El marchador anda muy  
despacio: como una  
partícula con una masa grande



# El primer estudio detallado del bosón de Higgs (1975)

## A PHENOMENOLOGICAL PROFILE OF THE HIGGS BOSON

John ELLIS, Mary K. GAILLARD \* and D.V. NANOPOULOS \*\*  
*CERN, Geneva*

Received 7 November 1975

A discussion is given of the production, decay and observability of the scalar Higgs boson  $H$  expected in gauge theories of the weak and electromagnetic interactions such as the Weinberg-Salam model. After reviewing previous experimental limits on the mass of

We should perhaps finish with an apology and a caution. We apologize to experimentalists for having no idea what is the mass of the Higgs boson, unlike the case with charm [3,4] and for not being sure of its couplings to other particles, except that they are probably all very small. For these reasons we do not want to encourage big experimental searches for the Higgs boson, but we do feel that people performing experiments vulnerable to the Higgs boson should know how it may turn up.

**“No quisieramos promover grandes búsquedas experimentales”**

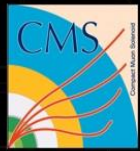
Para contestar a las preguntas de Gauguin:

## El 'Gran Colisionador de Hadrones' (LHC)

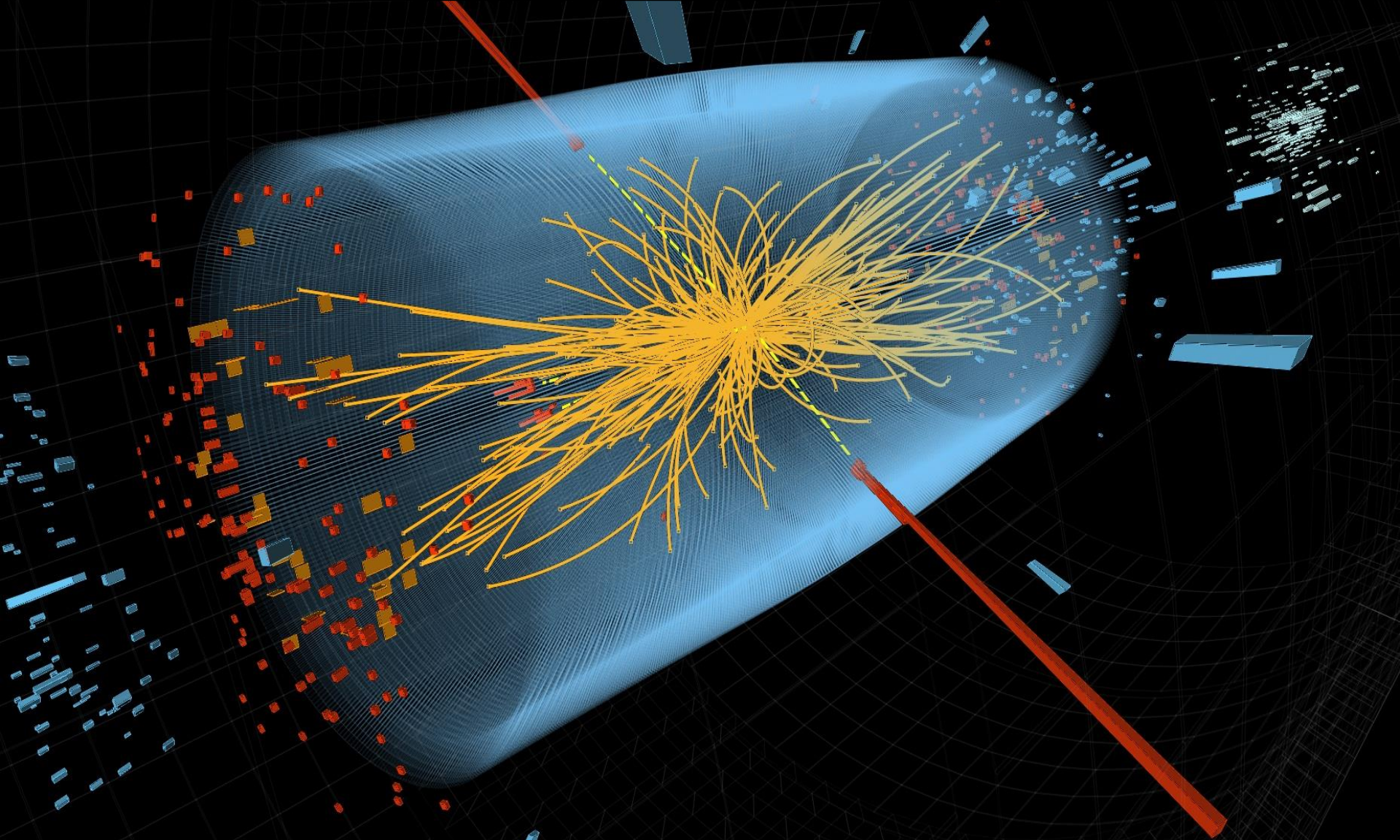
Objetivos primarias:

- El origen de las masas
- La materia oscura
- El plasma primordial
- Materia vs antimateria





# Una nueva partícula





# El día de la Higgsdependencia



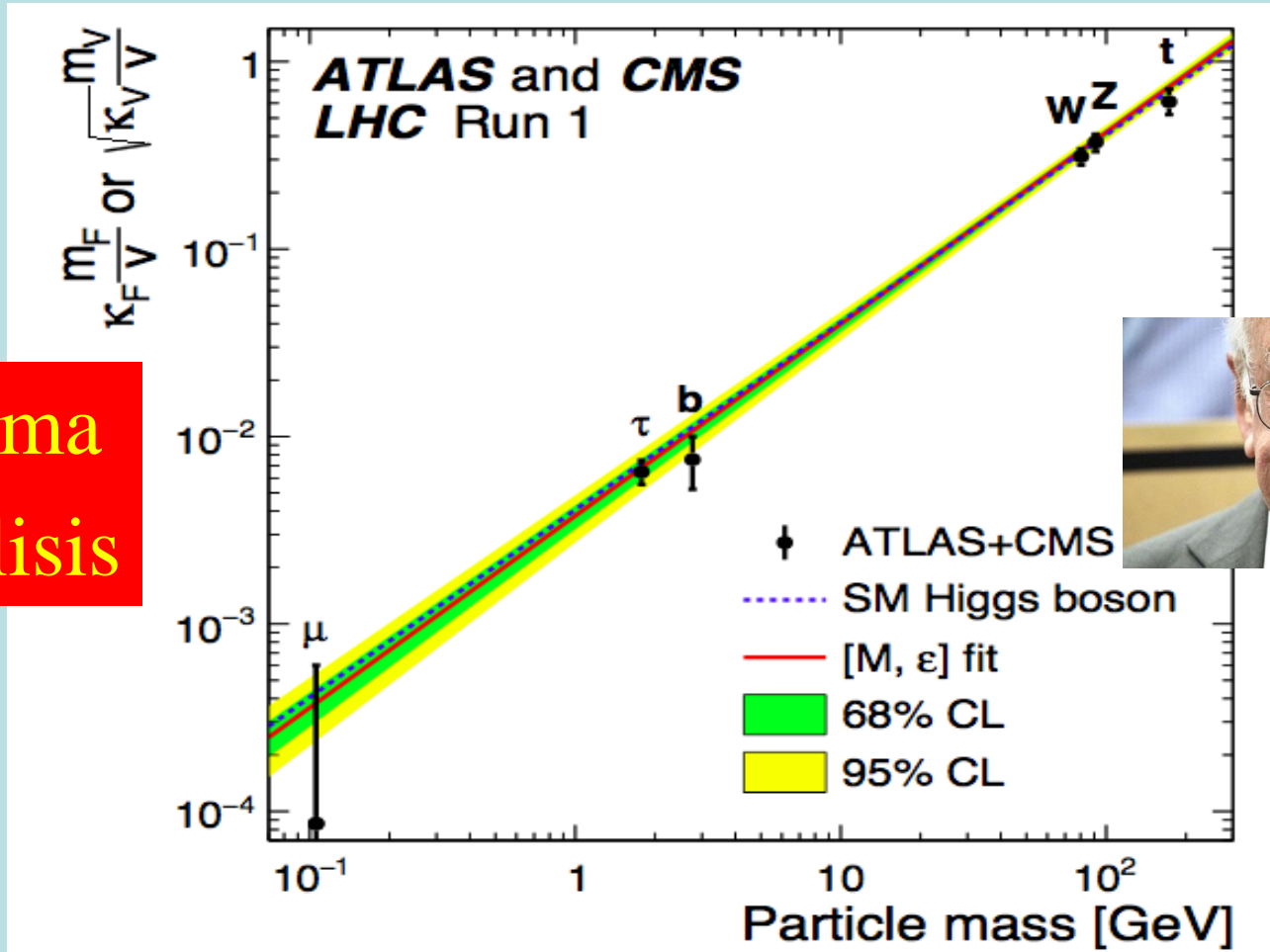
# La rompecabezas de las partículas

A 3D puzzle with one piece missing, set against a background of particle tracks. The puzzle is rendered in a metallic blue color with a reflective surface. The missing piece is a large, irregular shape in the center. The background is a light blue color with a pattern of wavy, interconnected lines that resemble particle tracks or a complex network. The overall scene is lit from above, creating highlights and shadows on the puzzle pieces.

¿La buena pieza?

# Muy parecido al bosón de Higgs

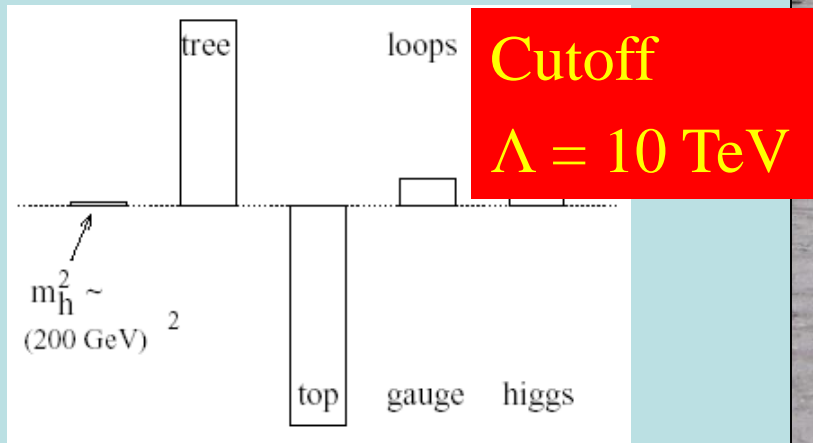
- Se conecta con las masas de las otras partículas



Última  
análisis

# Higgs elemental o compuesto?

- Campo de Higgs:  
 $\langle 0|H|0\rangle \neq 0$
- Problemas cuanticos



Cut-off  $\Lambda \sim 1 \text{ TeV}$  con  
**¿La supersimetría?**

- ¿Condensado de fermiones?
- Como QCD, BCS  
superconductividad

Necesita nueva interacción  
fundamental

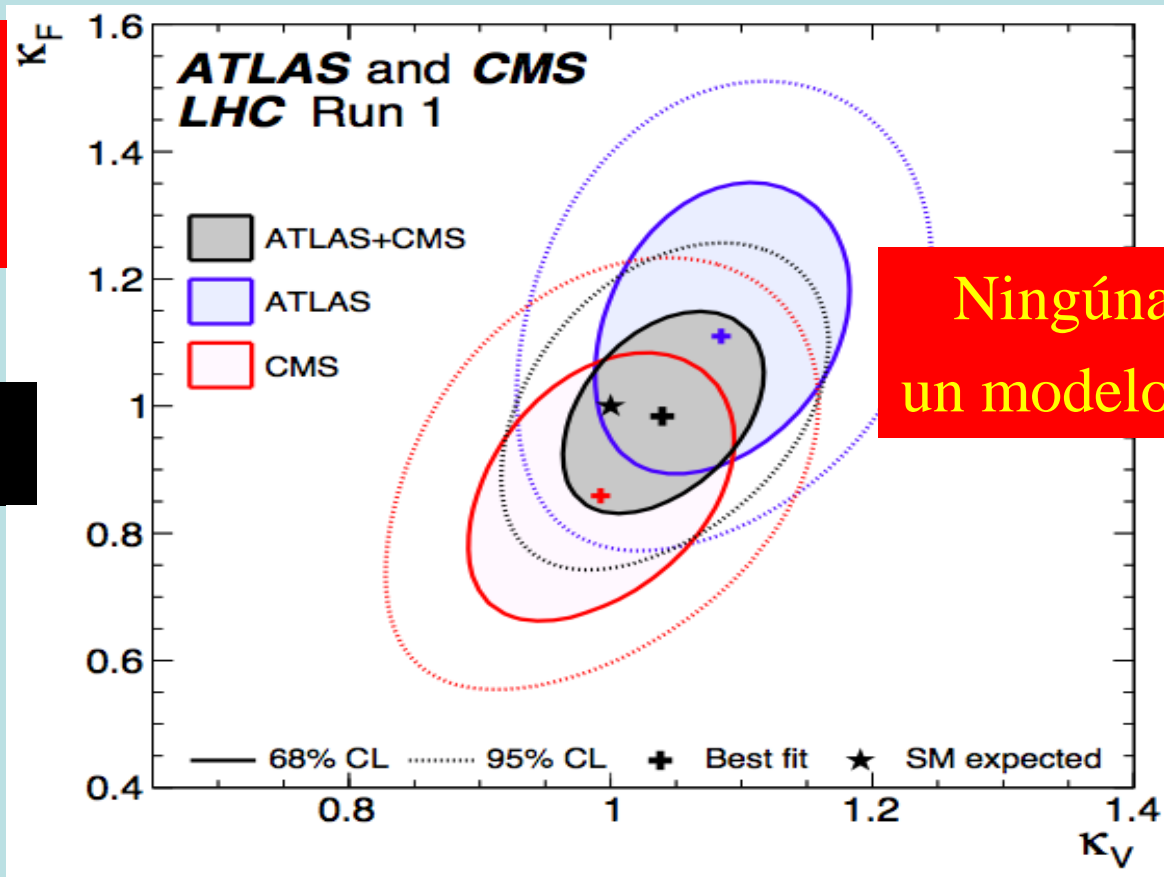
- ¿'Higgs' pesado?
- ¿Consistente con  
los datos?

# Análisis global de los datos

- Acoplamientos con los bosones  $\sim a$ , con los fermiones  $\sim c$

Última  
análisis

Global

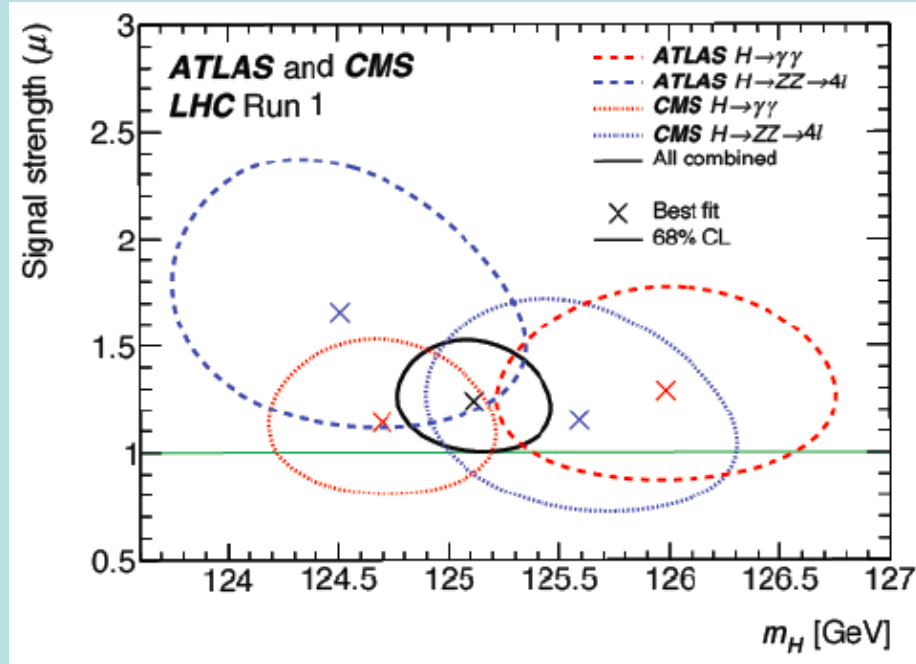


Ninguna señal de  
un modelo compuesto

- Modelo Estándar :  $a = c = 1$

# La masa del bosón

- Medidas de los experimentos ATLAS y CMS



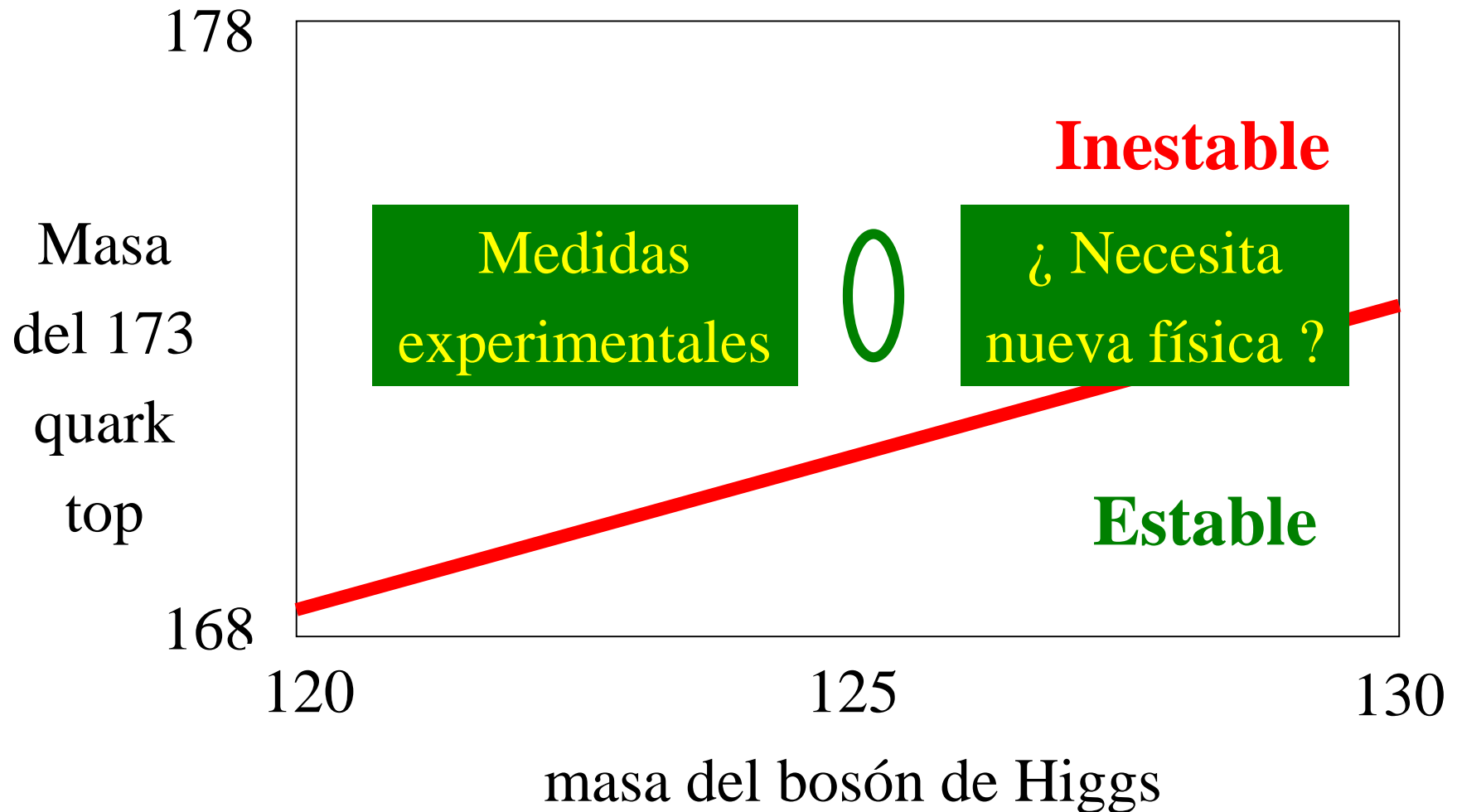
$$m_H = 125.09 \pm 0.24 \text{ GeV}$$

- Conocida con alta precisión
- **Crucial para el futuro del universo**

¿ Hay un problema ?

# ¿ Inestabilidad del espacio vacío ?

- Está poniendo de la masa del bosón de Higgs



# ¿ Porqué estamos aquí ?

¿ Grandes fluctuaciones en el universo joven ?

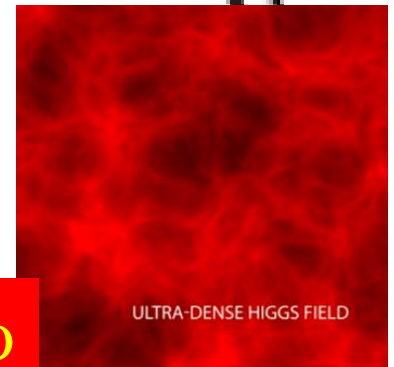
Prevenidas por la supersimetría

Estamos aquí



Fluctuaciones cuánticas

Permiten de pasar por la barrera



El Gran Crujido



# Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
- ¿Qué es la materia oscura?
- ¿Unificación de las fuerzas fundamentales?
- ¿Teoría cuántica de la gravitación?

LHC

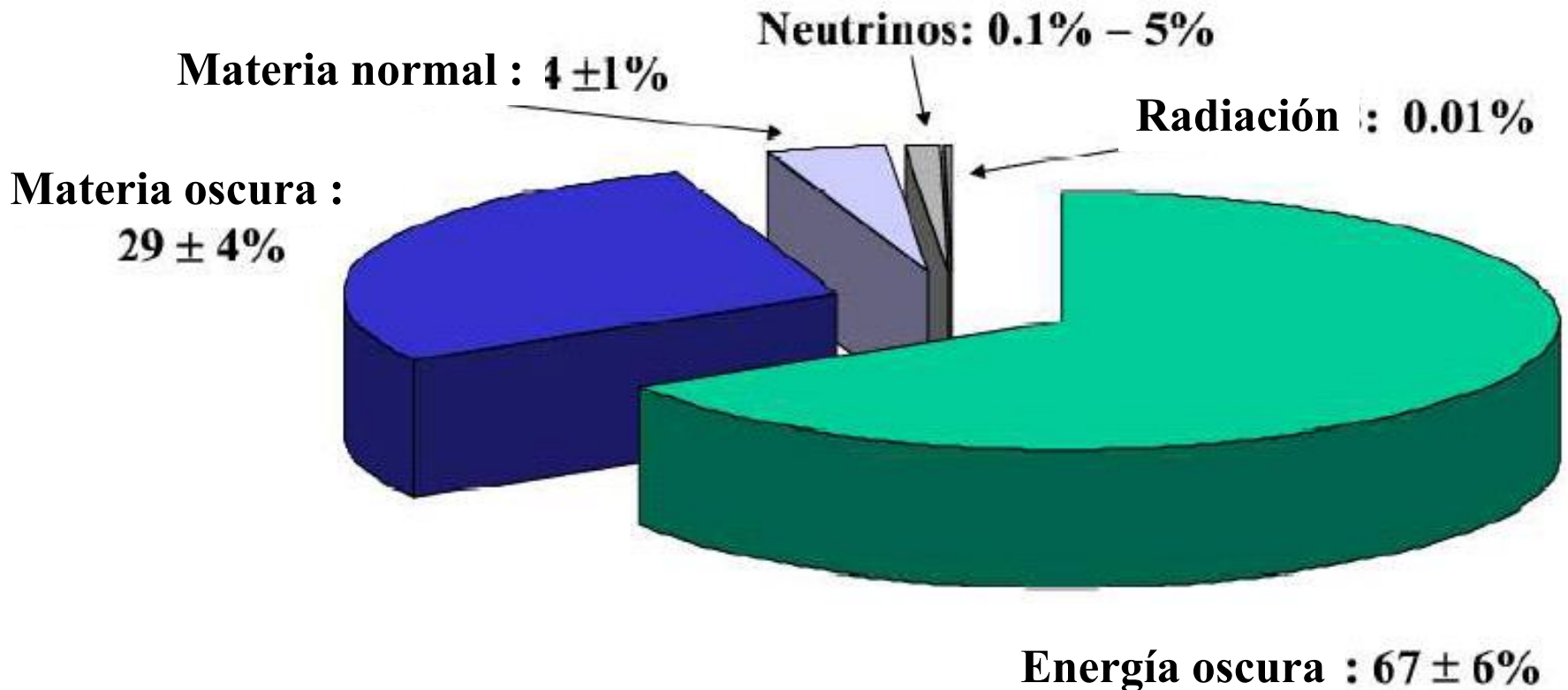
LHC

LHC

LHC

Muchos vínculos con la cosmología

# ¿Cómo fabricar un universo?



El 'Modelo Estándar' del universo  
según la astrofísica y la cosmología

# Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
  - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?

# Mucho interés en la antimateria



¡Nosotros físicos no hacemos suficiente para Star Trek o Dan Brown!

# ¿Cómo difieren la materia y la antimateria?

Dirac previó las **ANTI**partículas:

Las mismas masas

Propiedades internas opuestas:

cargos eléctricos, ...

Descubiertos en los rayos cósmicos

Estudiados por los aceleradores



La materia y la antimateria no son iguales: ¿POR QUÉ?

¿Por qué el Universo contiene materia, no antimateria?

Experimentos al LHC y otros laboratorios buscarán respuestas

# Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
  - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?
- ¿La materia oscura?

# Hipótesis de la materia oscura

- Motivado por las observaciones de Fritz Zwicky del cúmulo de galaxias ‘Coma’
- Las galaxias se mueven demasiado rápidamente
- Las observaciones necesitan un campo gravitacional más fuerte que generado por la materia visible
- ¿ La materia oscura ?



# Las curvas de rotación de las galaxias

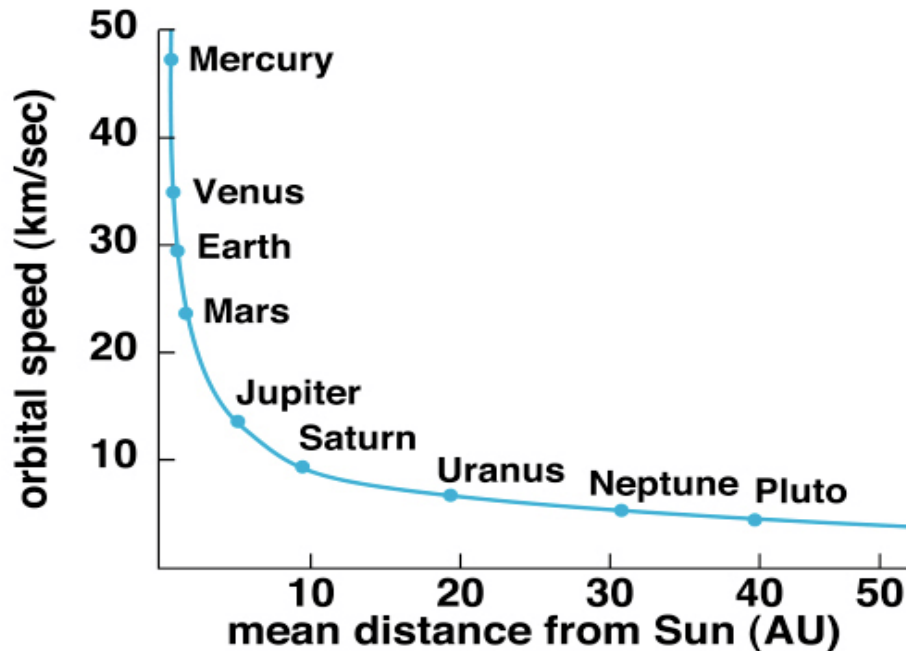
- Las observaciones de Vera Rubin
- Las estrellas también orbitan ‘demasiado rápidamente’
- Sus observaciones necesitan un campo gravitacional más fuerte que generado por la materia visible
- **Una otra prueba de la materia oscura**





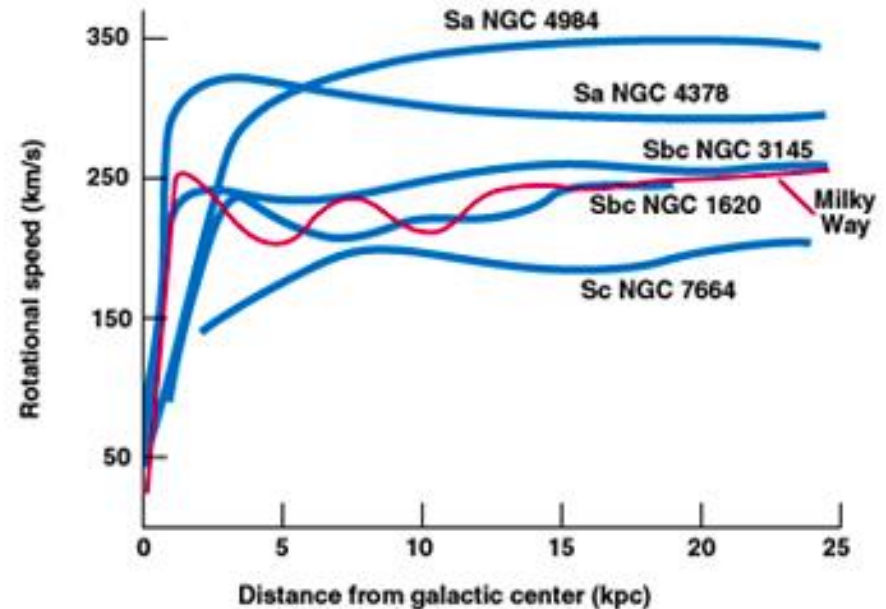
# Las curvas de rotación

- En el sistema solar



- Las velocidades disminuyen con la distancia
- La masa (Sol) en el centro

- Las galaxias



- Las velocidades no disminuyen
- La masa oscura distribuida

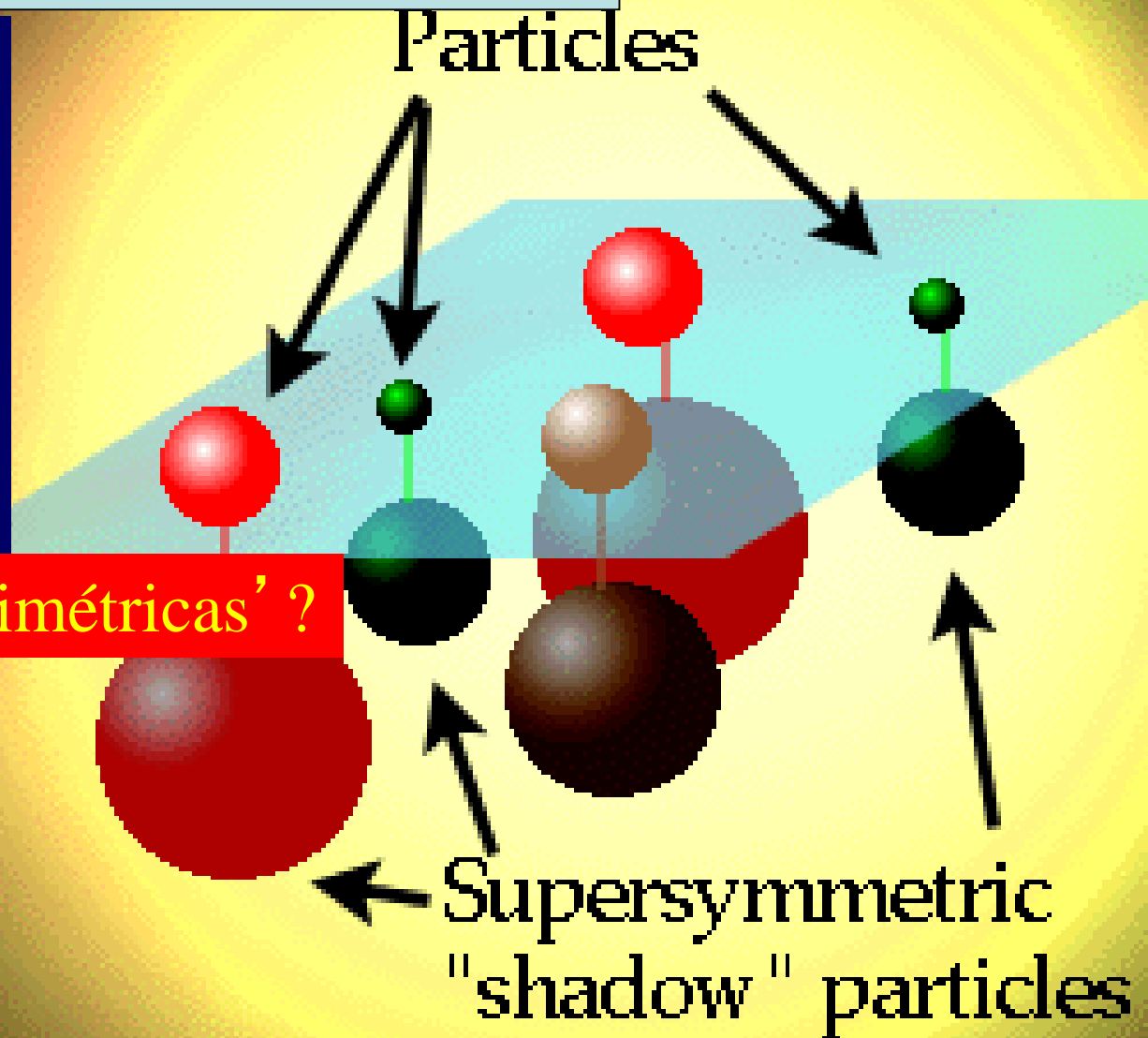
# ¿ La materia oscura en el universo ?



Los astrónomos nos dicen que la mayoría de la materia en el universo es 'Materia Oscura' invisible

¿ Partículas 'Supersimétricas' ?

Las buscamos con los experimentos al LHC

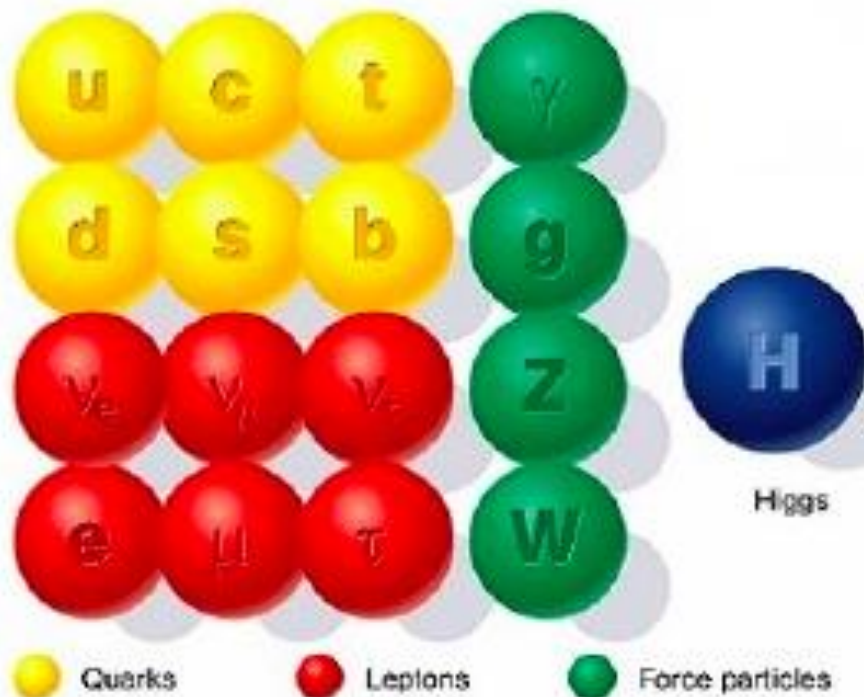


¿ Qué más hay ?

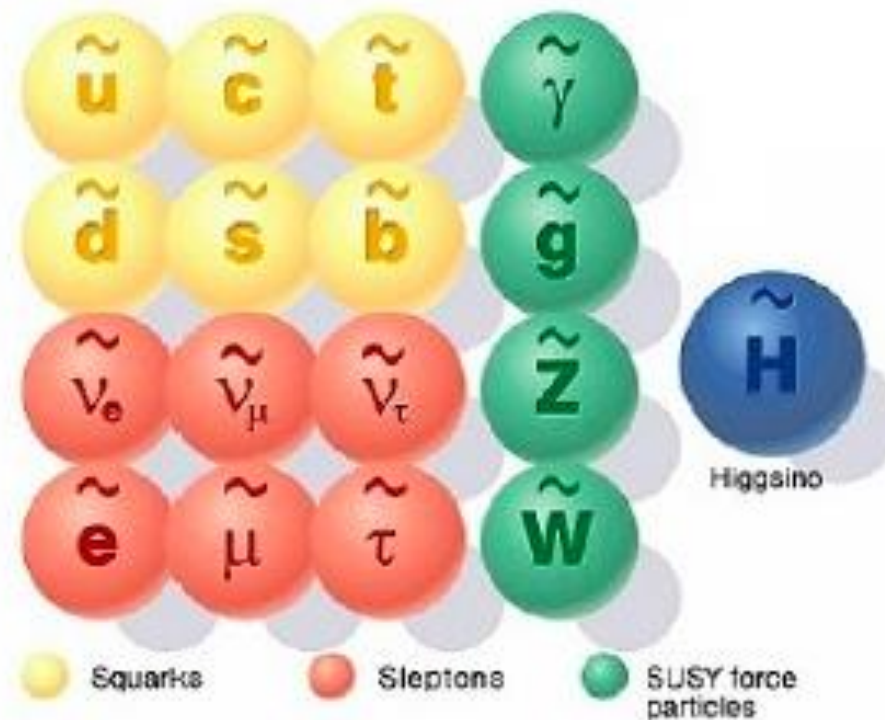
# Supersimetría

- Estabiliza el vacío
- Buena predicción para la masa del bosón de Higgs
- Buenas predicciones para las propiedades del bosón de Higgs
- Ayuda a la unificación de las interacciones
- **Podría explicar la materia oscura**

# Extensión supersimétrica minimal del Modelo Estándar

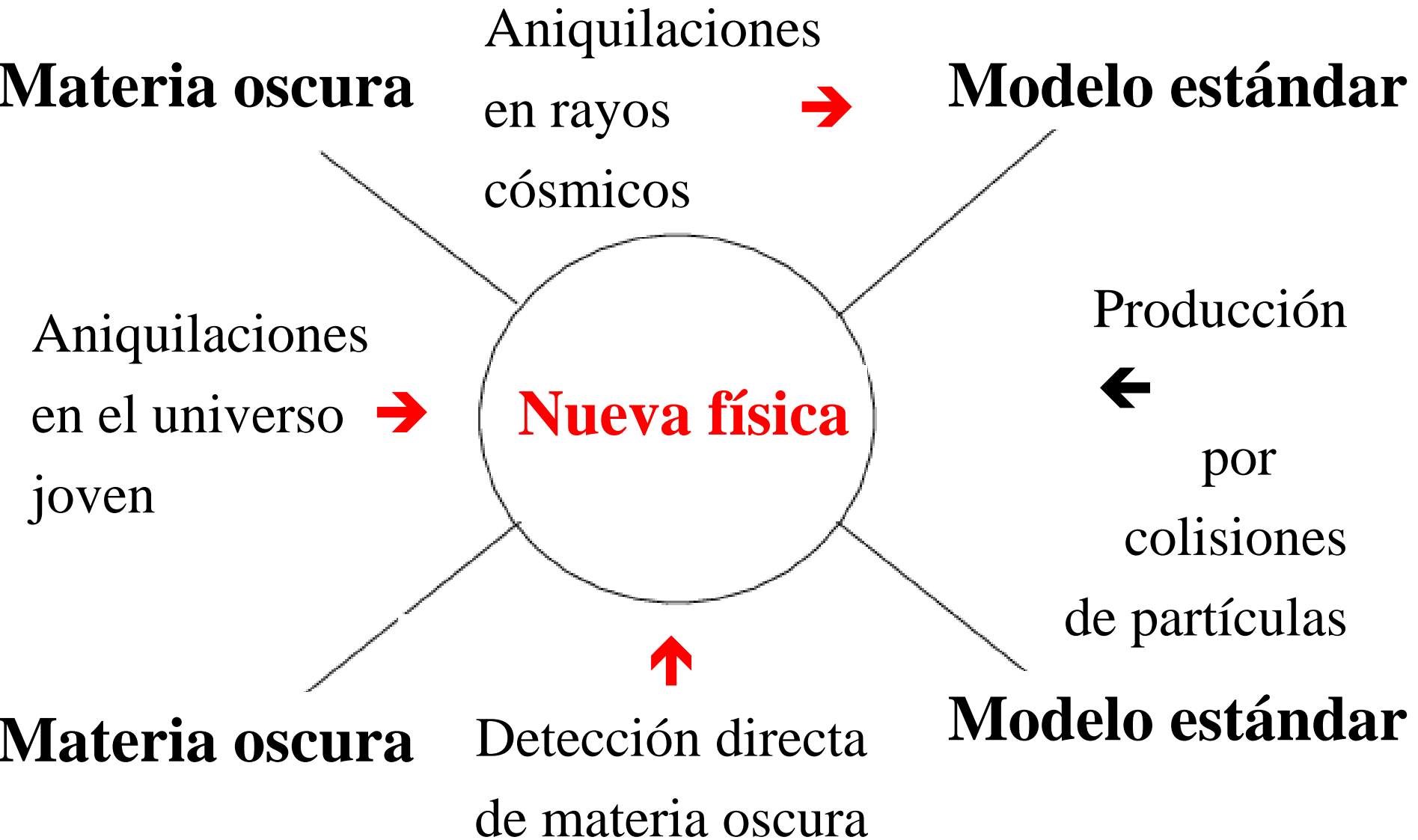


Partículas convencionales



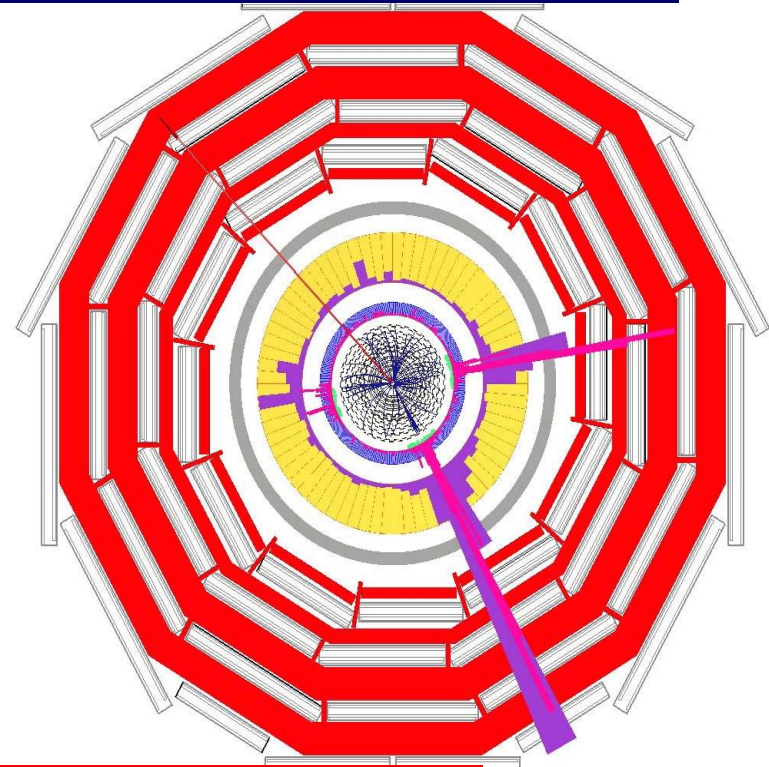
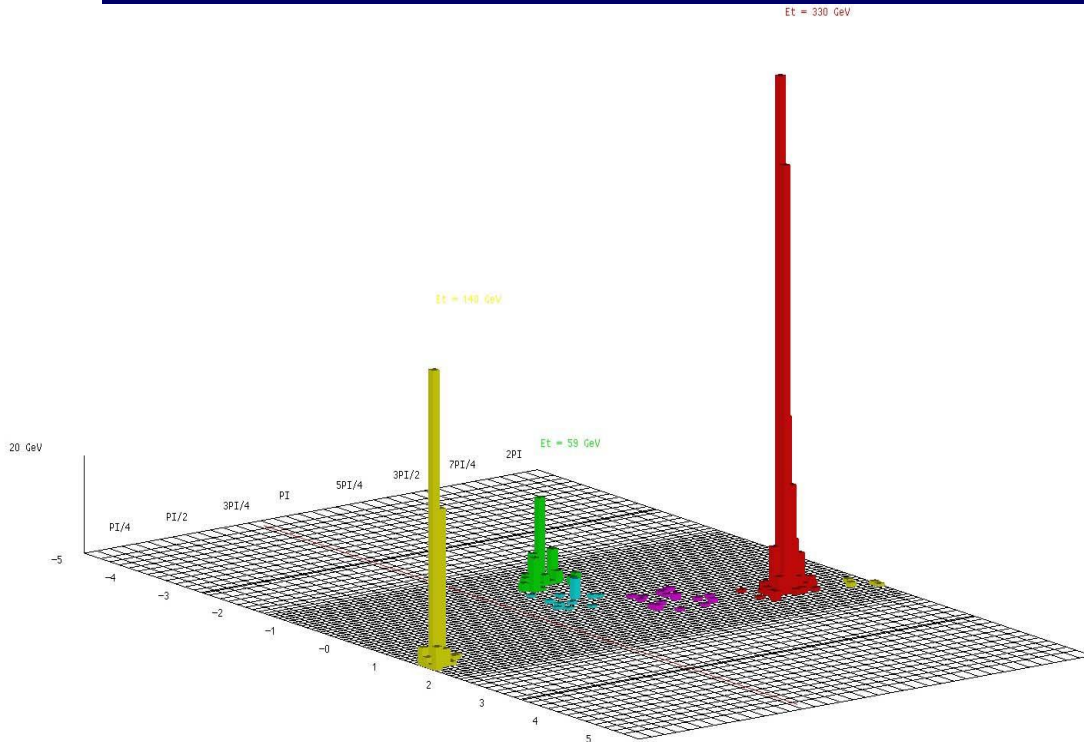
Partículas supersimétricas

# Buscando la materia oscura



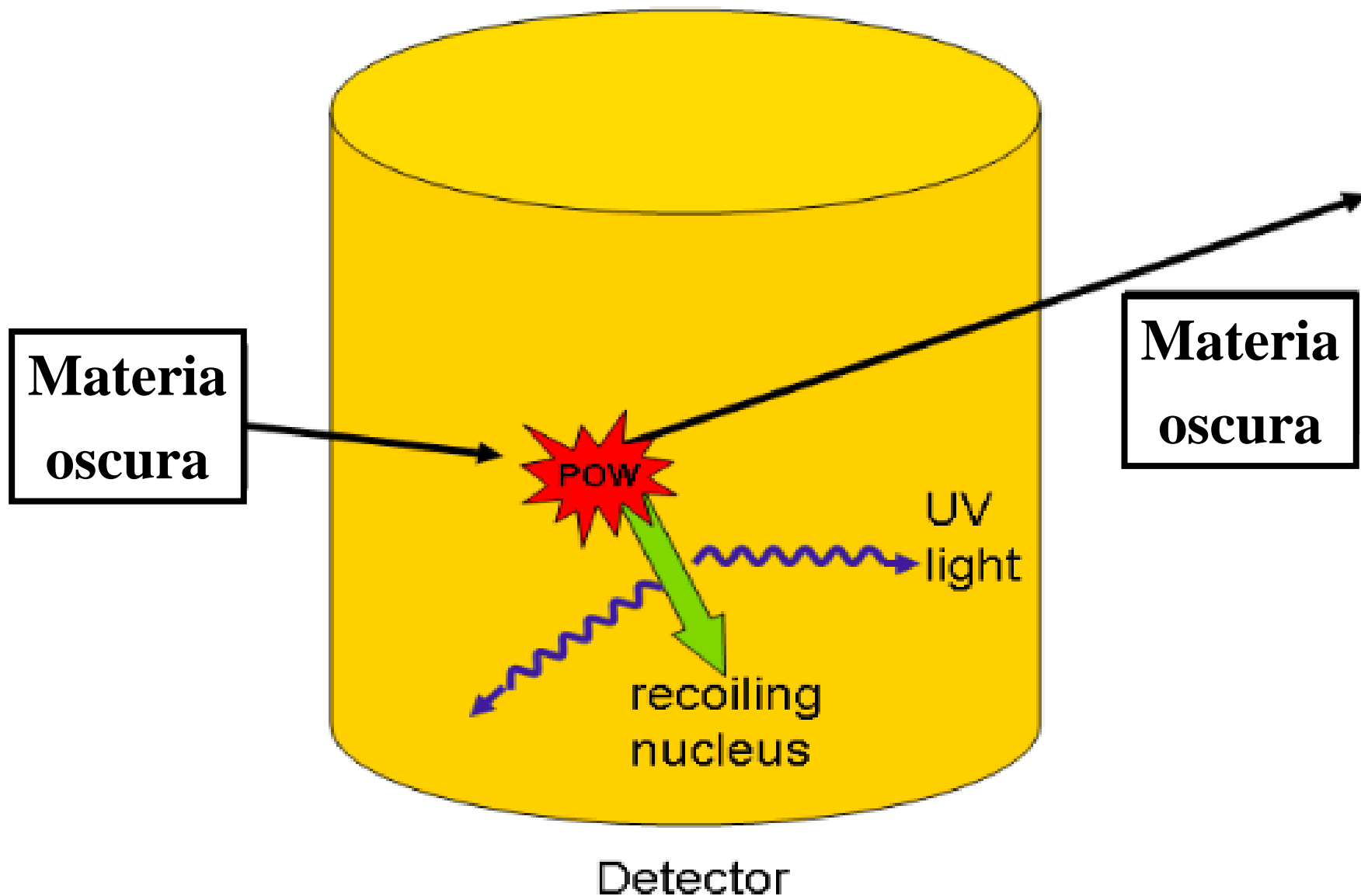
# Búsquedas de la supersimetría en el LHC

## Simulación de un evento supersimétrico en el LHC

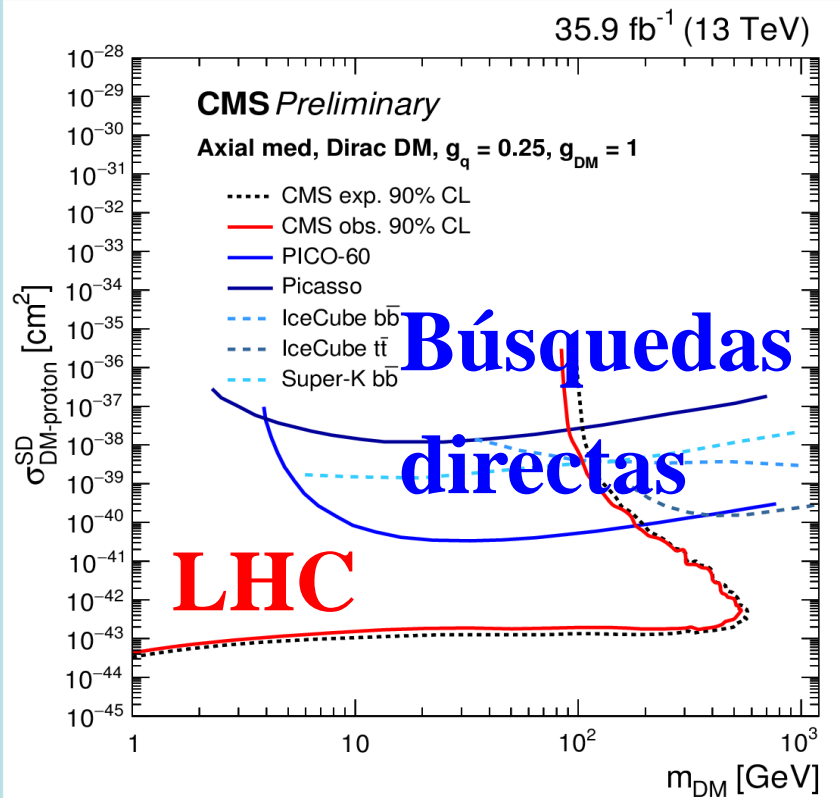
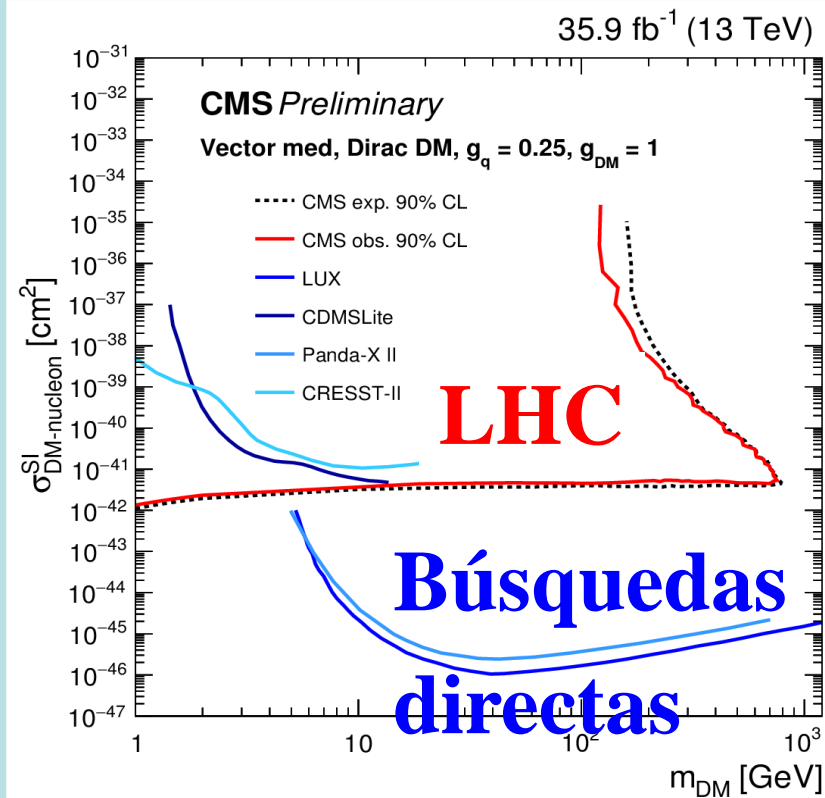


Energía faltante llevada por las partículas supersimétricas de la materia oscura

# Detección directa de materia oscura



# Comparación LHC vs búsquedas directas



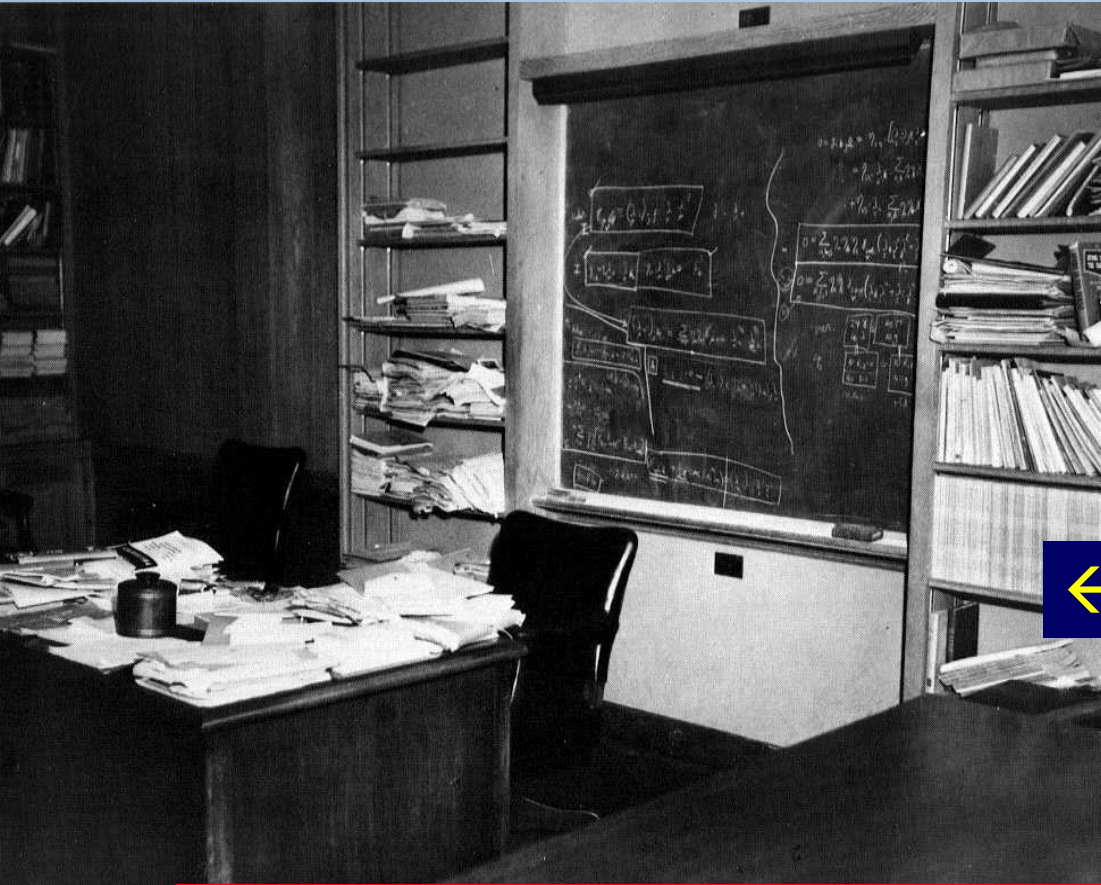
- Complementaridad



# Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
  - ¿La diferencia entre la materia y la antimateria?
- ¿La materia oscura?
- ¿Unificación de las fuerzas fundamentales?
  - ¿Pruebas por medidas de las fuerzas, las masas, los neutrinos?
- ¿Teoría cuántica de la gravedad?

# Unificar las interacciones de partículas: Fué siempre el sueño de Einstein



← ... pero nunca lo logró

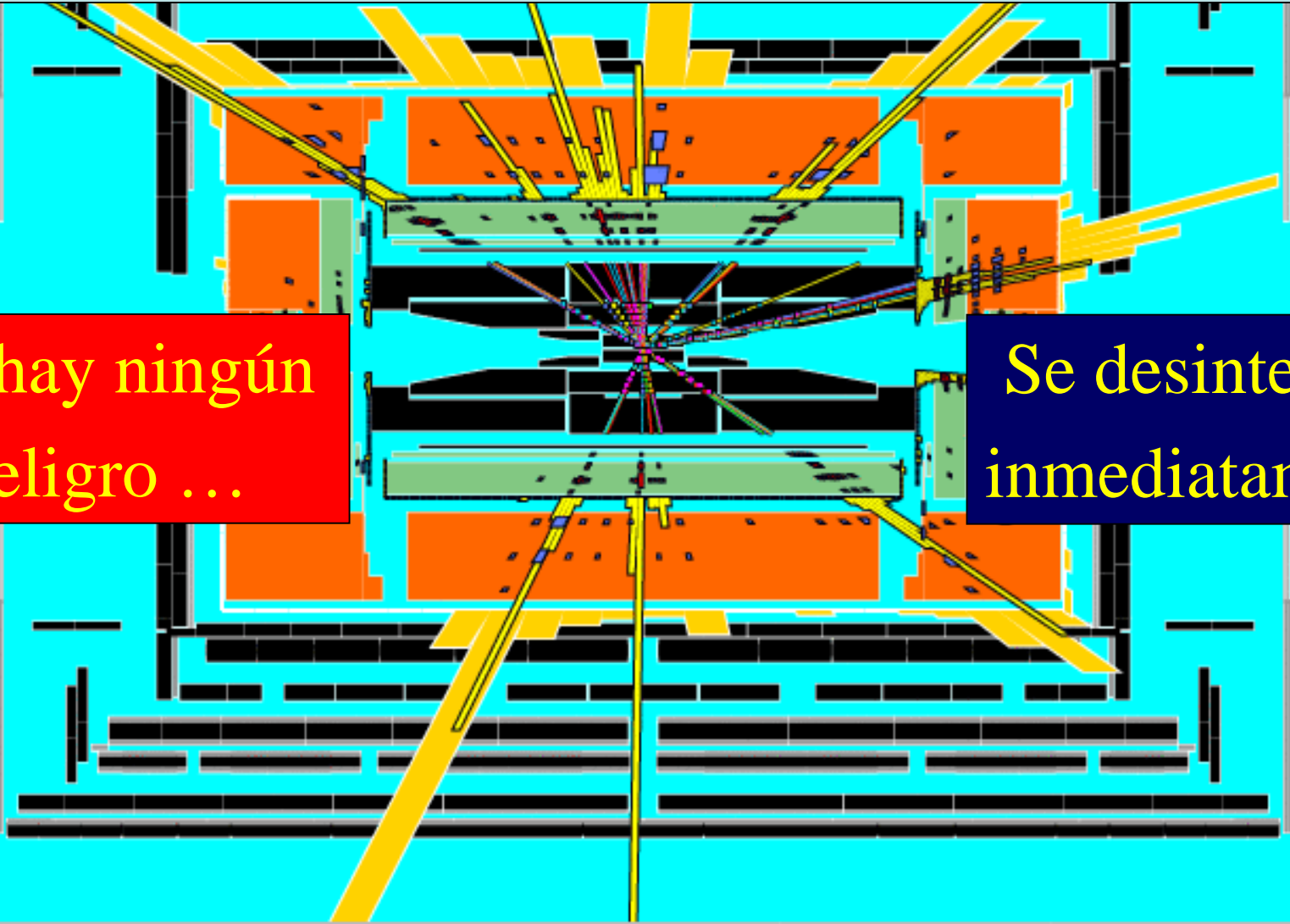
¿Tal vez hay dimensiones adicionales del espacio?

Según algunas teorías con dimensiones adicionales ...

¿Agujeros negros en el LHC ?

No hay ningún  
peligro ...

Se desintegran  
inmediatamente

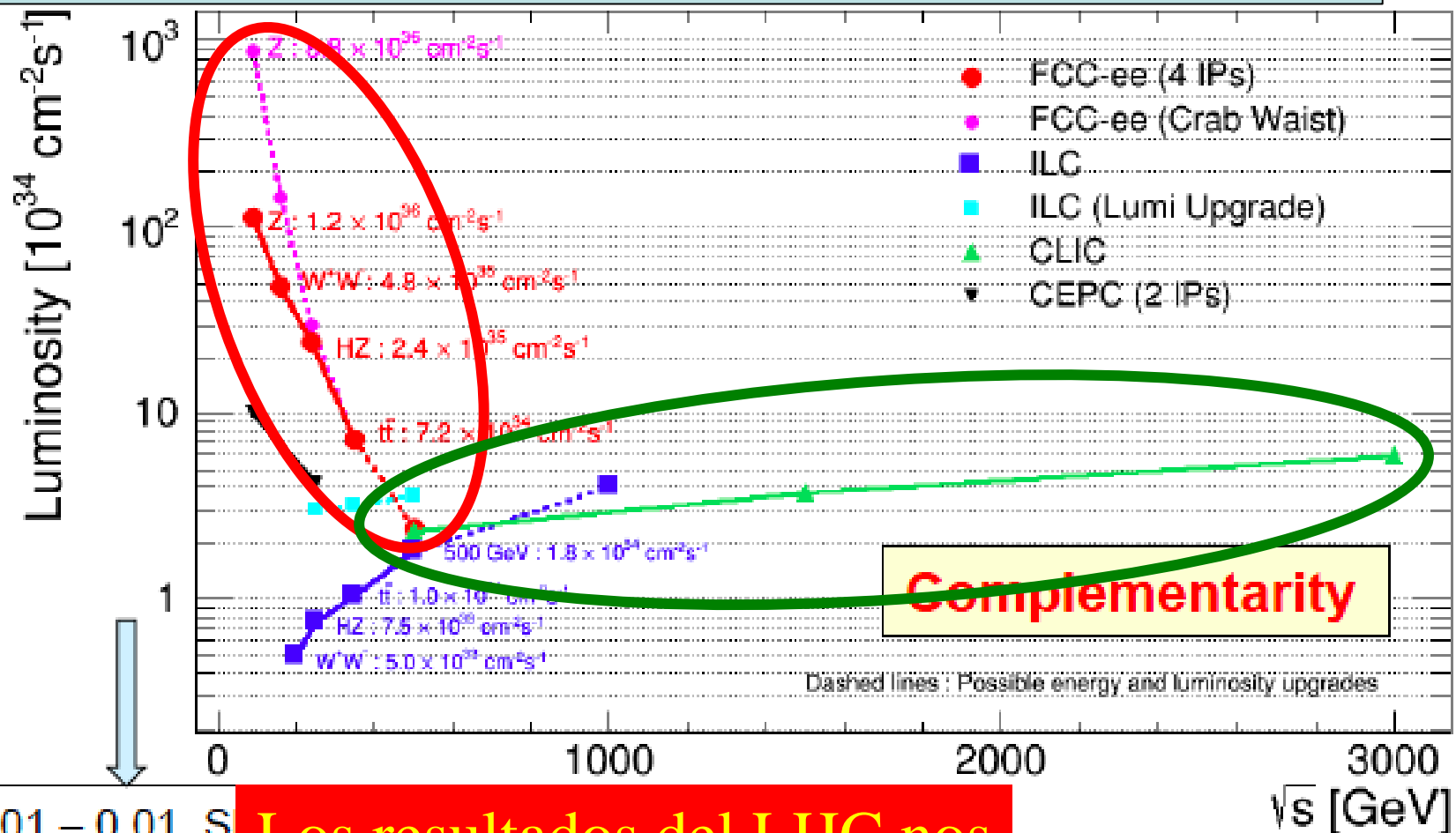


# ¿ Próximos pasos en la física de altas energías ?



- ¿ Adónde vamos despues del LHC ?
- ¿ Colisionador  $e^+e^-$  lineal de 50km ?
- ¿ Colisionador circular de 80 o 100 km ?

# Proyectos para colisionadores $e^+e^-$ : Energía y luminosidad



Los resultados del LHC nos  
indicarán las prioridades



**CEPC-SPPC**

*Preliminary Conceptual Design Report*

# Colisionadores circulares del futuro



**La visión:**

explorar 10 TeV directamente (100 TeV pp) + indirectamente ( $e^+e^-$ )

Los colisionadores no son sólo  
super-microscopios ...



... también telescopios  
para estudiar los secretos  
del Universo