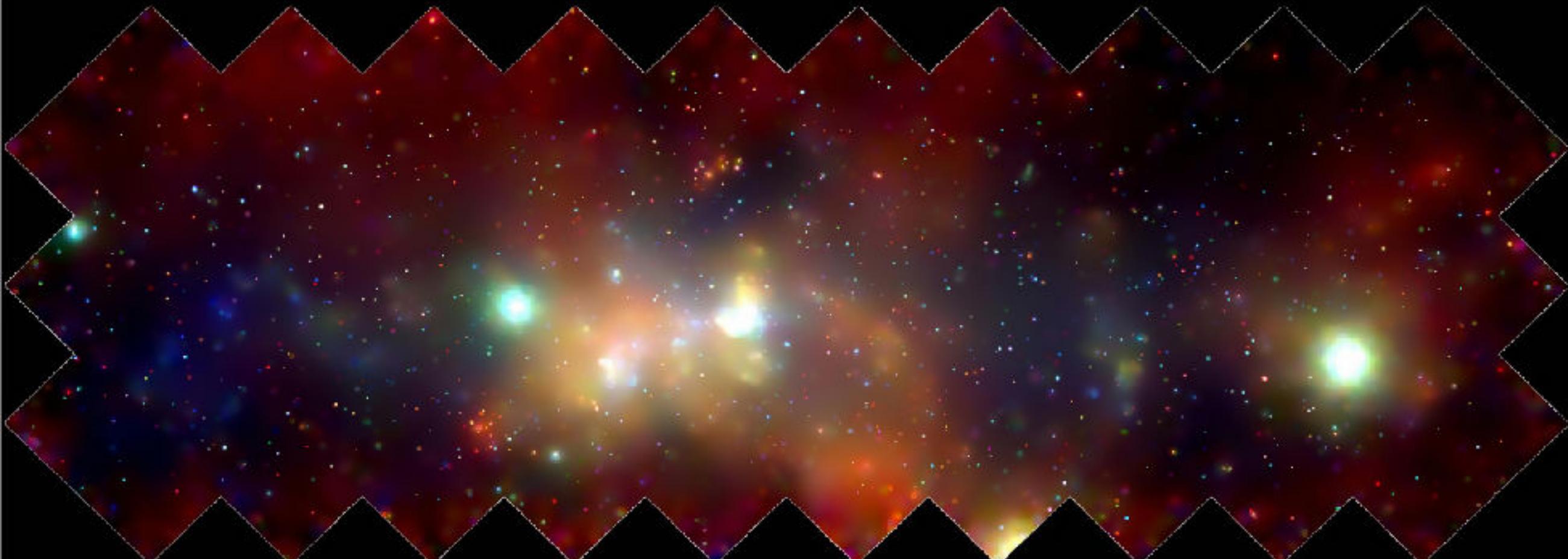


# **FÍSICA DE PARCÍCULAS Y COSMOLOGÍA**

## **ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS**

*Eusebio Sánchez Álvarez*  
**CIEMAT**



## ◆ El Modelo Estándar

- *Partículas y fuerzas fundamentales*
- *Resultados experimentales*
- *El bosón de Higgs*
- *Sumario*
- *Más resultados experimentales*

## ◆ Neutrinos

## ◆ Materia oscura

## ◆ Energía oscura

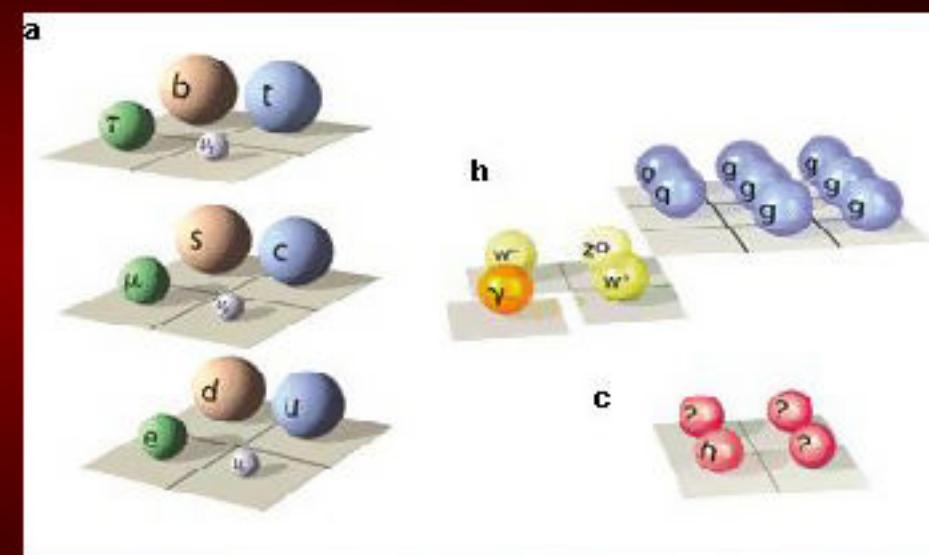
## ◆ La nueva cosmología

## ◆ Física de partículas y cosmología

## ◆ Extensiones de las teorías actuales

# MODELO ESTÁNDAR

- a) materia (fermiones)
- b) fuerzas (bosones)
- c) Sector de rotura de simetría (escalares)



Teoría cuántica de campos con grupo de simetría gauge  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  y rotura espontánea de simetría a  $SU(3) \times U(1)$

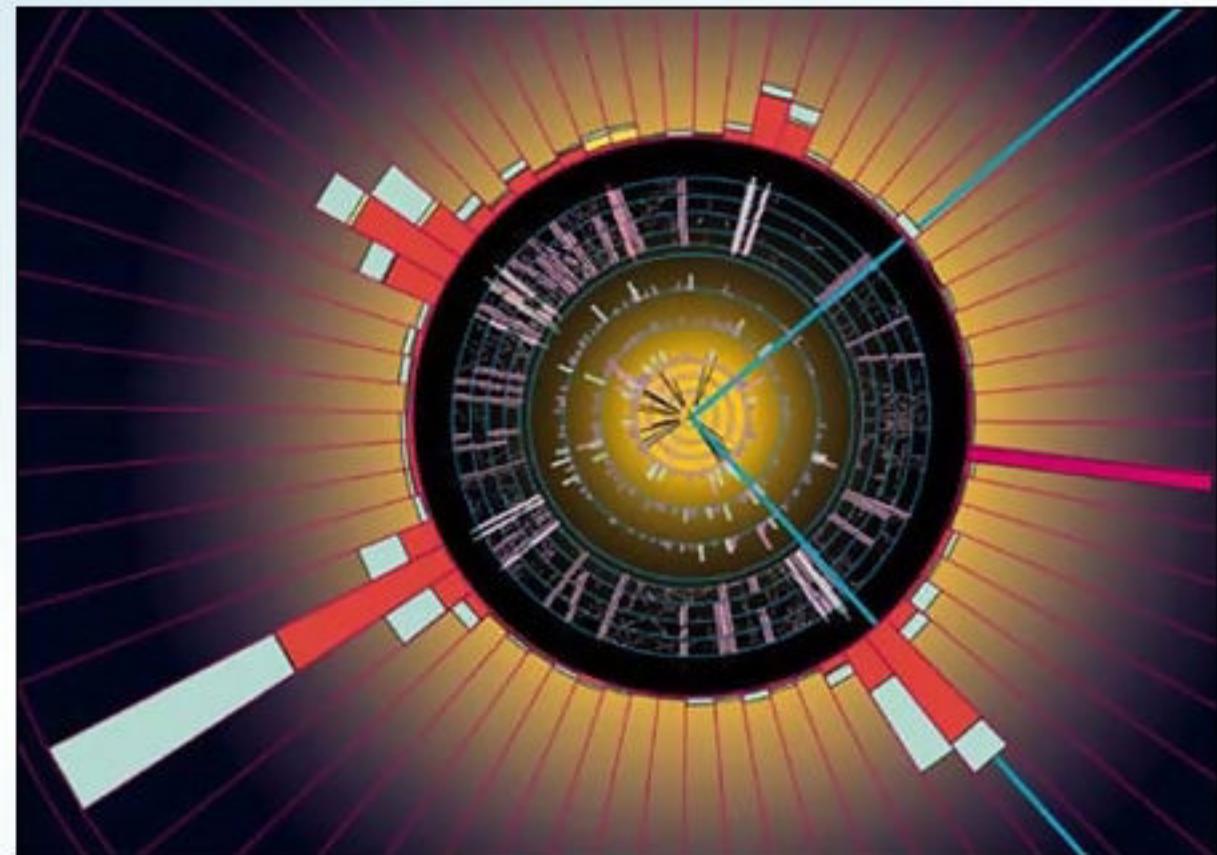
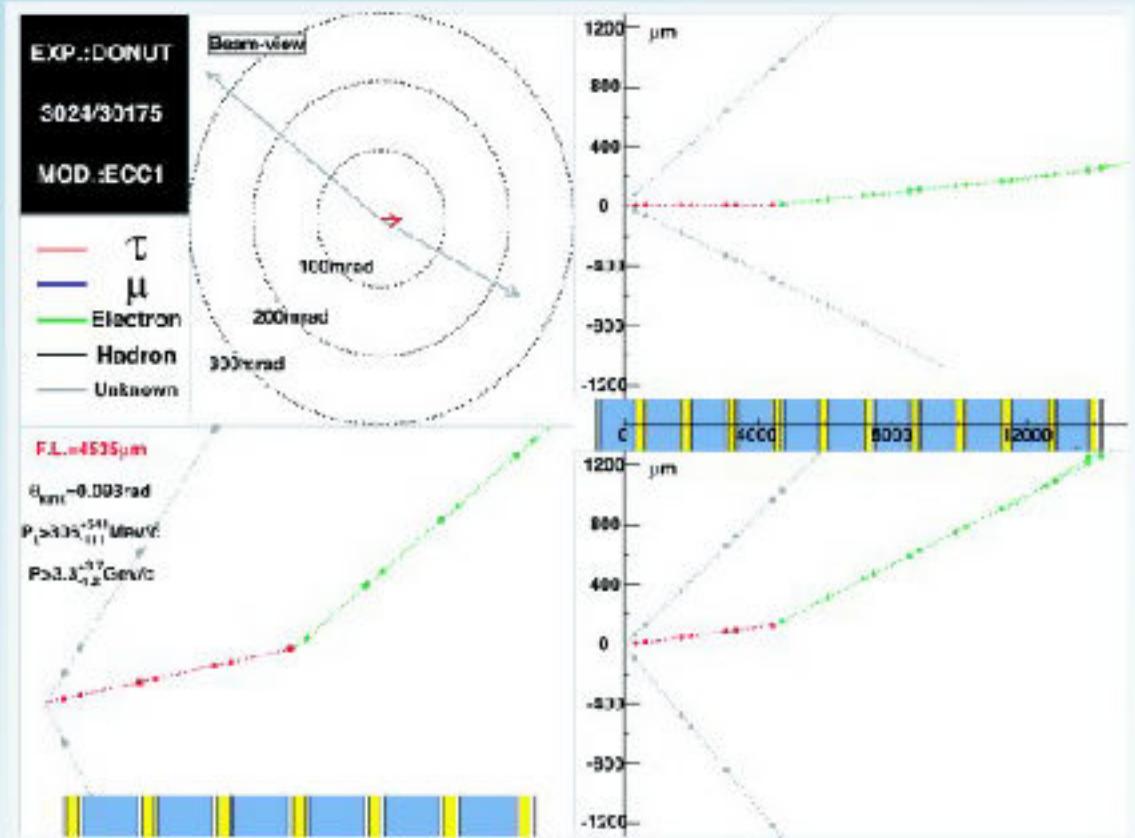
Todas las partículas observadas experimentalmente menos el bosón de Higgs

El quark top en el acelerador Tevatrón en el año 1996

El neutrino tau en el año 2000 en el experimento DONUT

## NEUTRINO TAU

## TOP QUARK



Últimas partículas descubiertas del Modelo Estándar.  
completan la "tabla periódica" de las partículas  
de materia.

# ¿Cómo son las fuerzas entre partículas elementales?

Líneas de fuerza para el electromagnetismo (QED) y la fuerza fuerte (QCD).

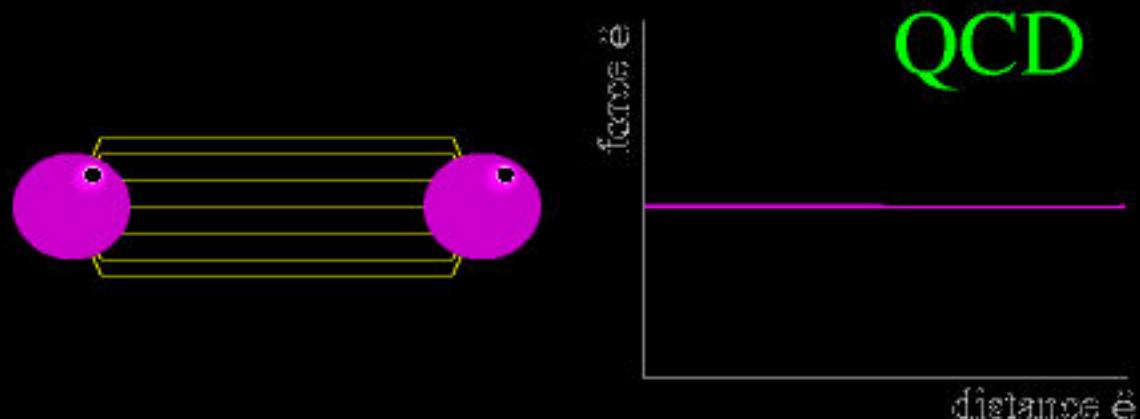
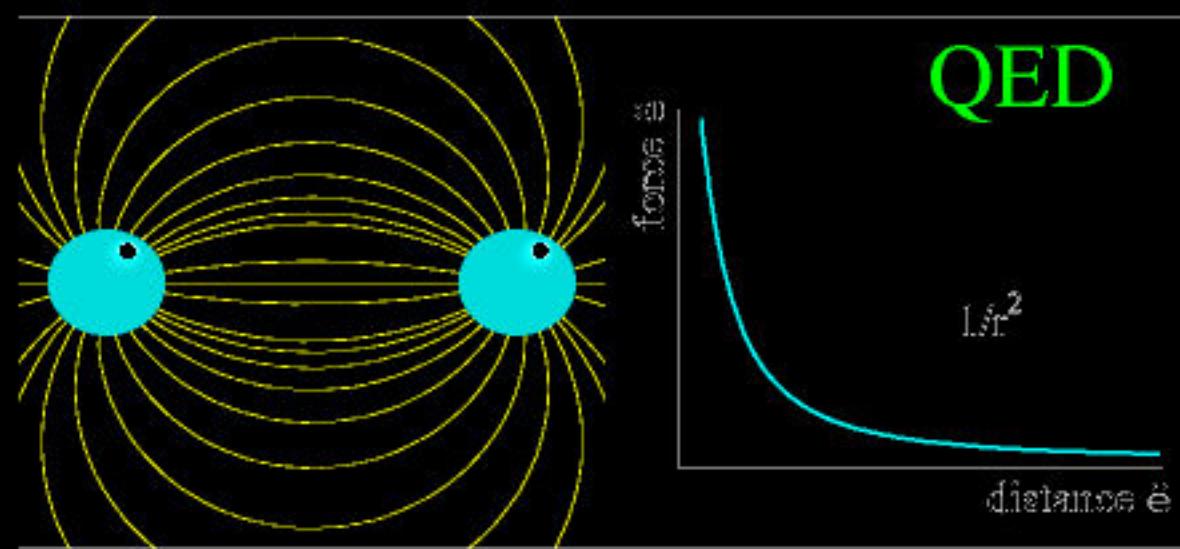


Imagen clásica aproximada

# Enorme rango de distancias y energías descrito por el Modelo Estándar

---

Experimentos de violación  
de paridad en átomos  
( $10^{-5}$  GeV)

---

"scattering" electrón-neutrino  
(~0.3 GeV)

---

DIS leptón-hadrón  
(1-10 GeV)

---

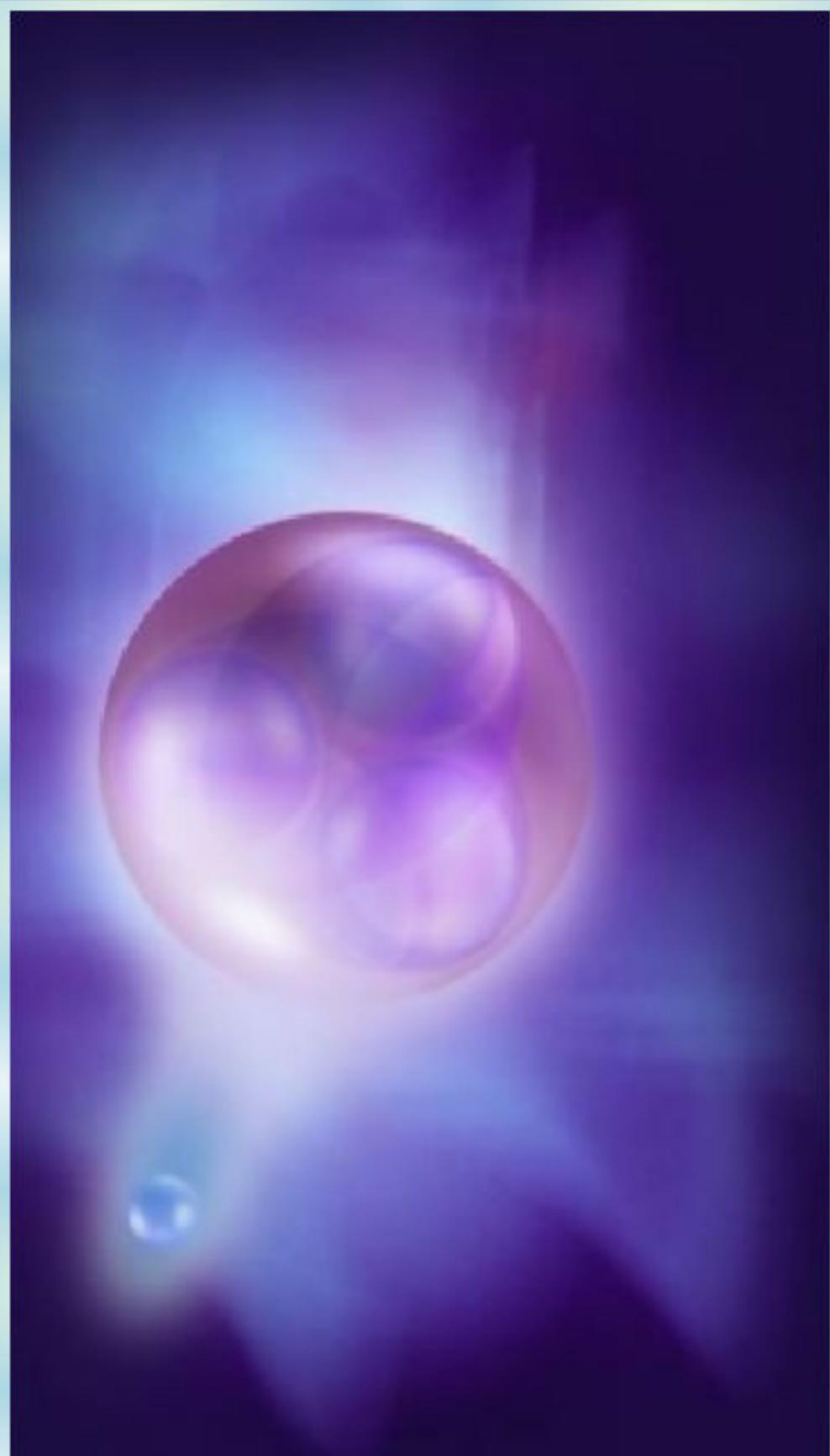
Colisionadores  
(~200 GeV)

---

Se ha llegado a observar  
experimentalmente hasta  
distancias del orden de  
 $10^{-18}$  m

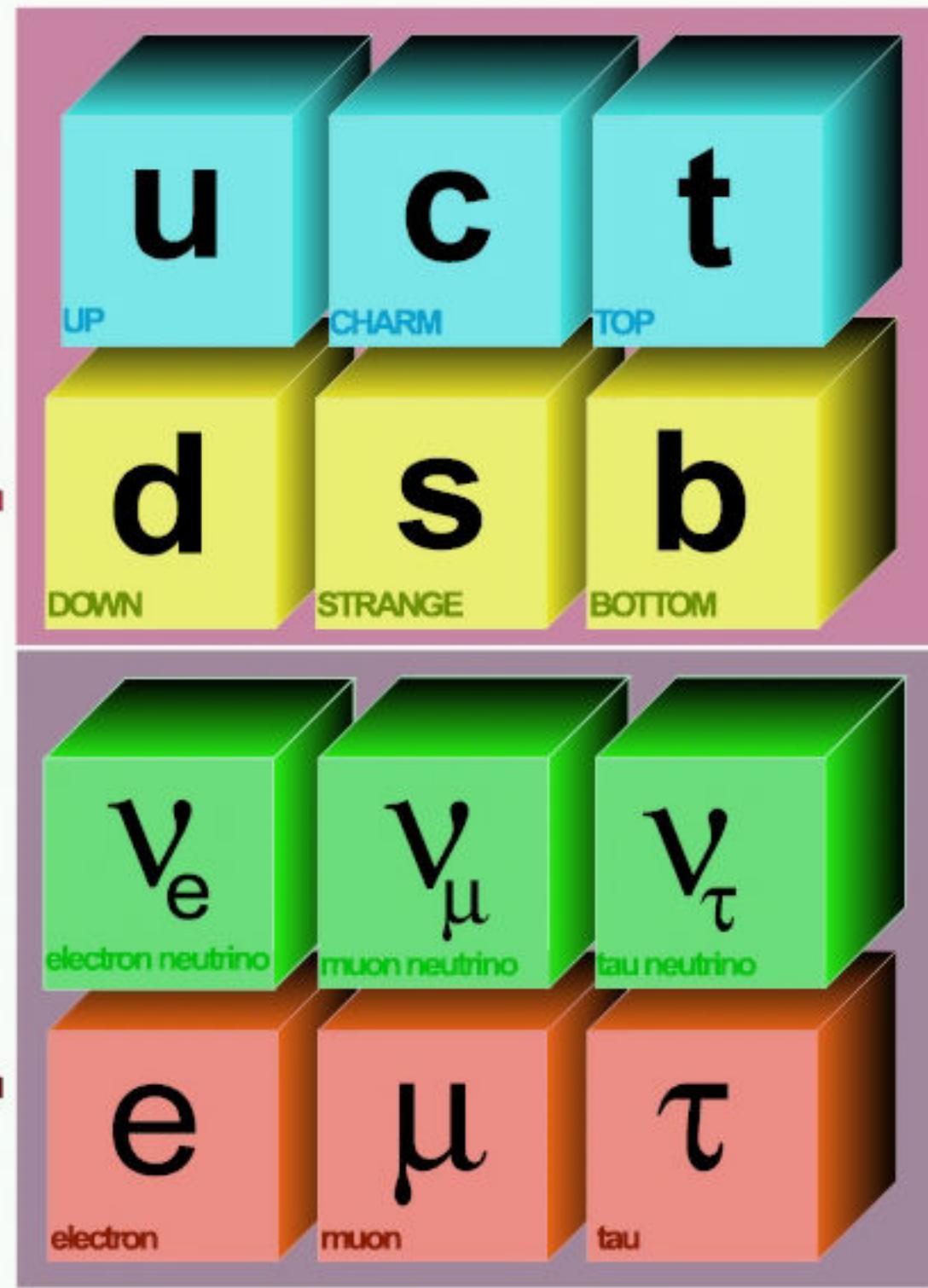
---

El Modelo Estándar describe  
la física de las partículas  
en todo el universo.



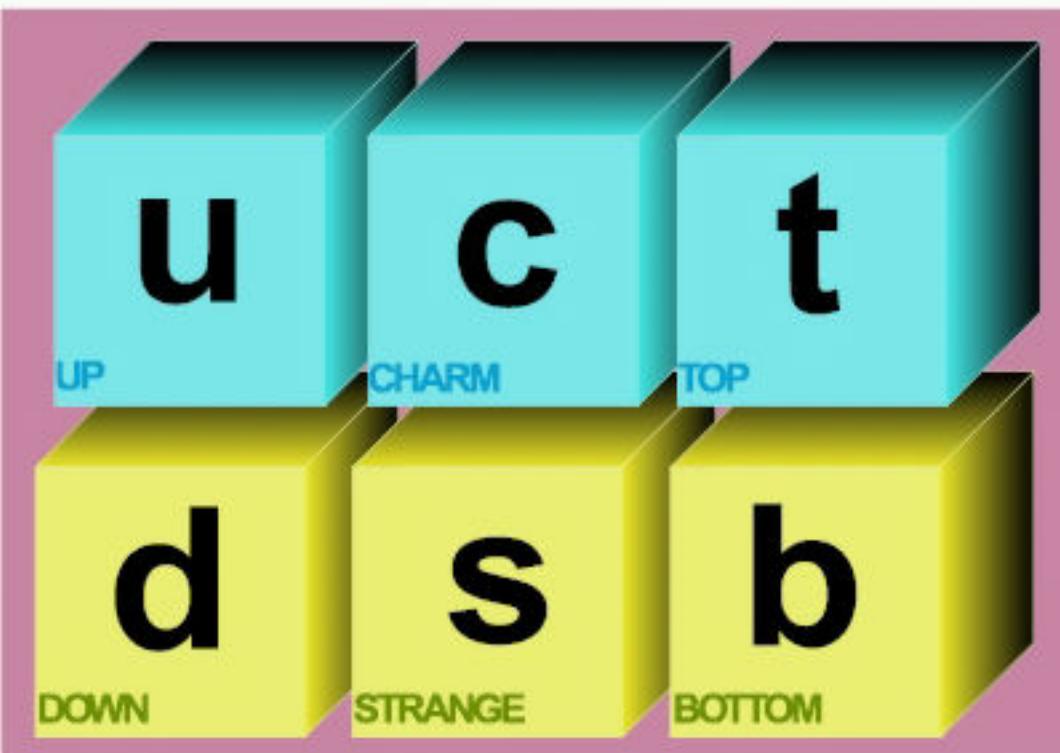
# The Standard Model of Elementary Particles

**leptons**

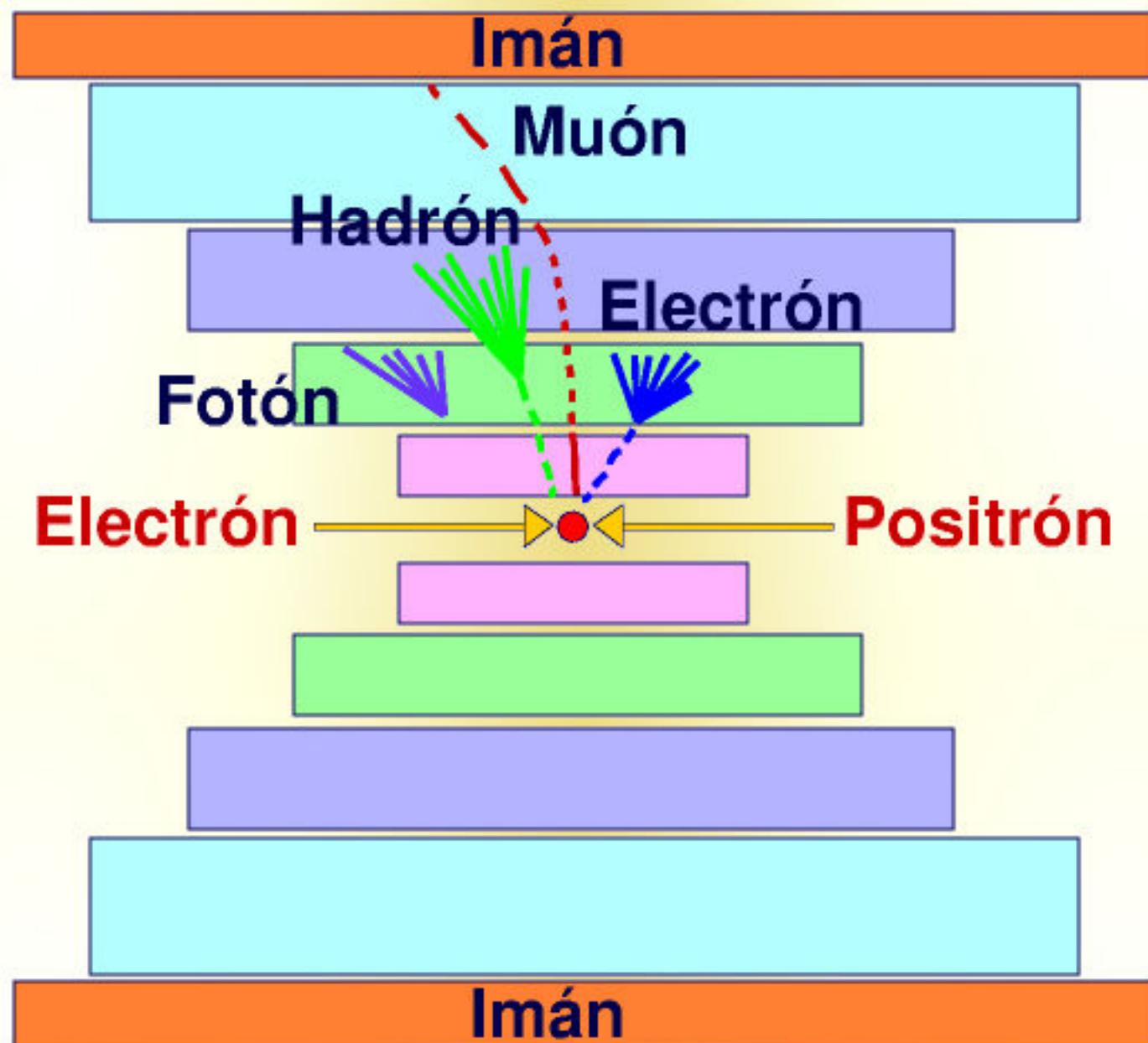


**quarks**

**force carriers**

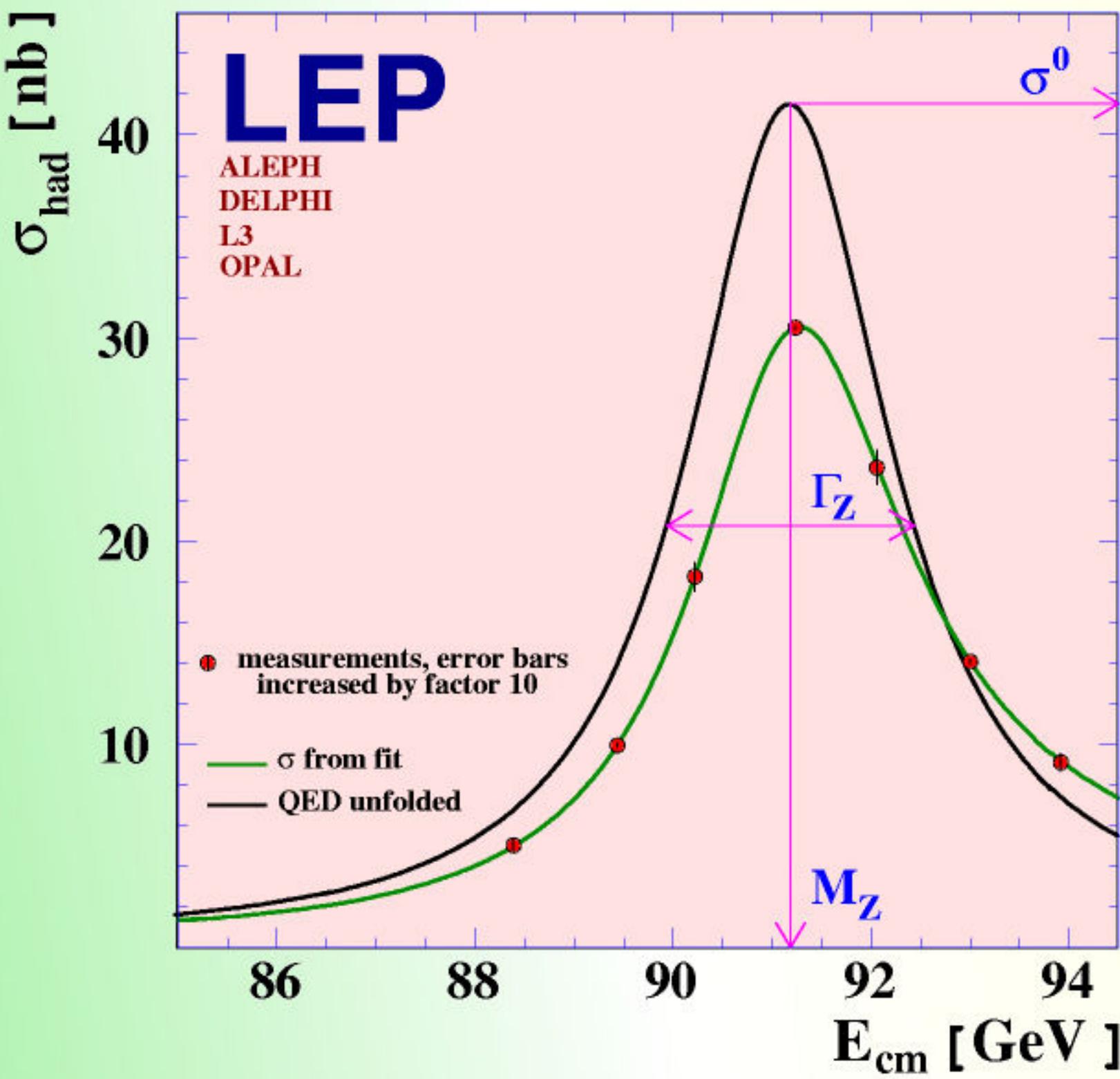


# ¿Cómo se miden las partículas elementales?



**Se detectan las partículas estables producto de las interacciones.**  
**Se mide su energía, momento, carga eléctrica...**

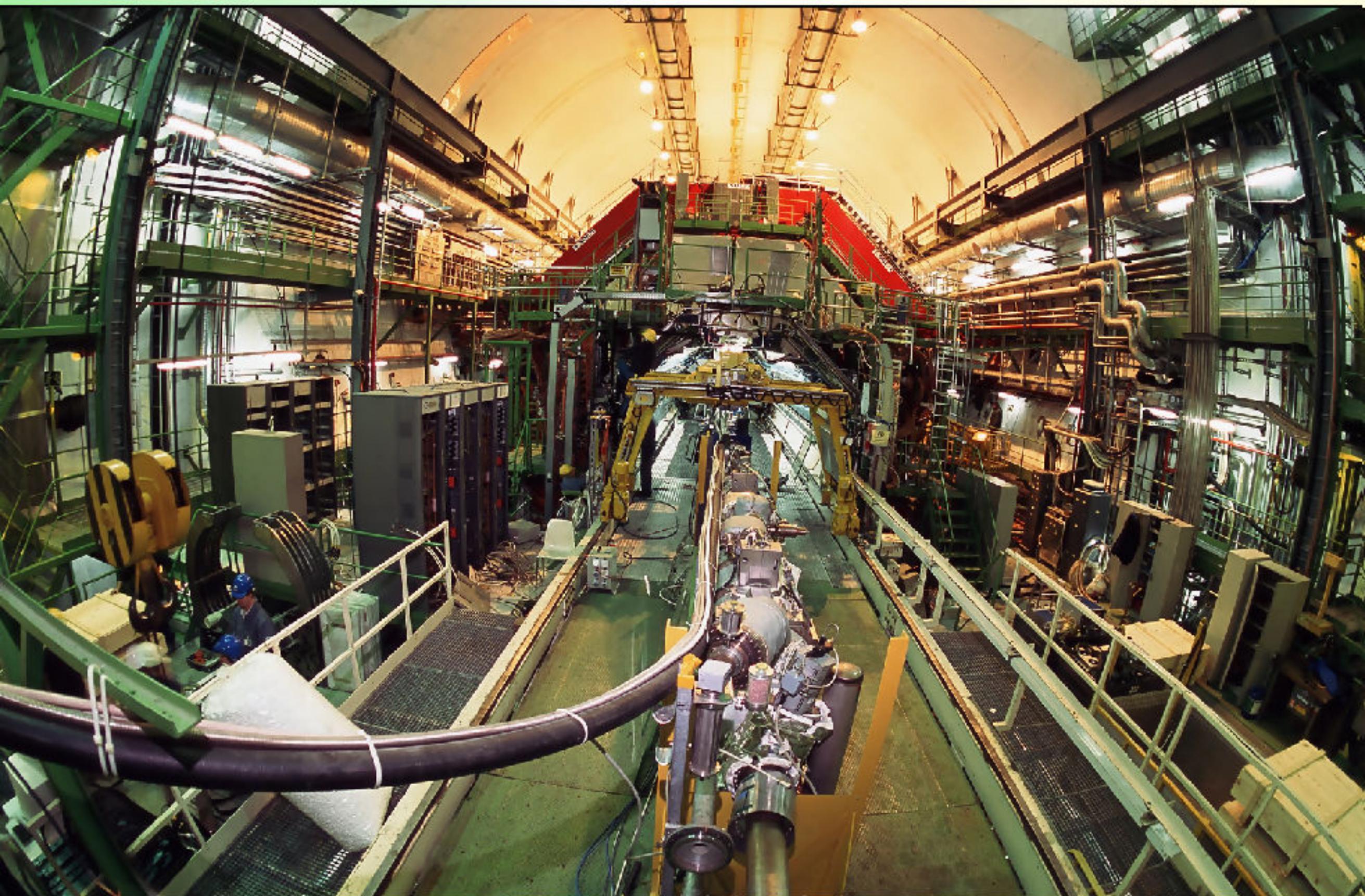
# MASA DEL Z EN LEP



# LEP



**El acelerador LEP (Large Electron Positron collider), que situado en la frontera franco-suiza (Ginebra). Funcionó hasta el año 2000.**



Uno de los detectores de LEP

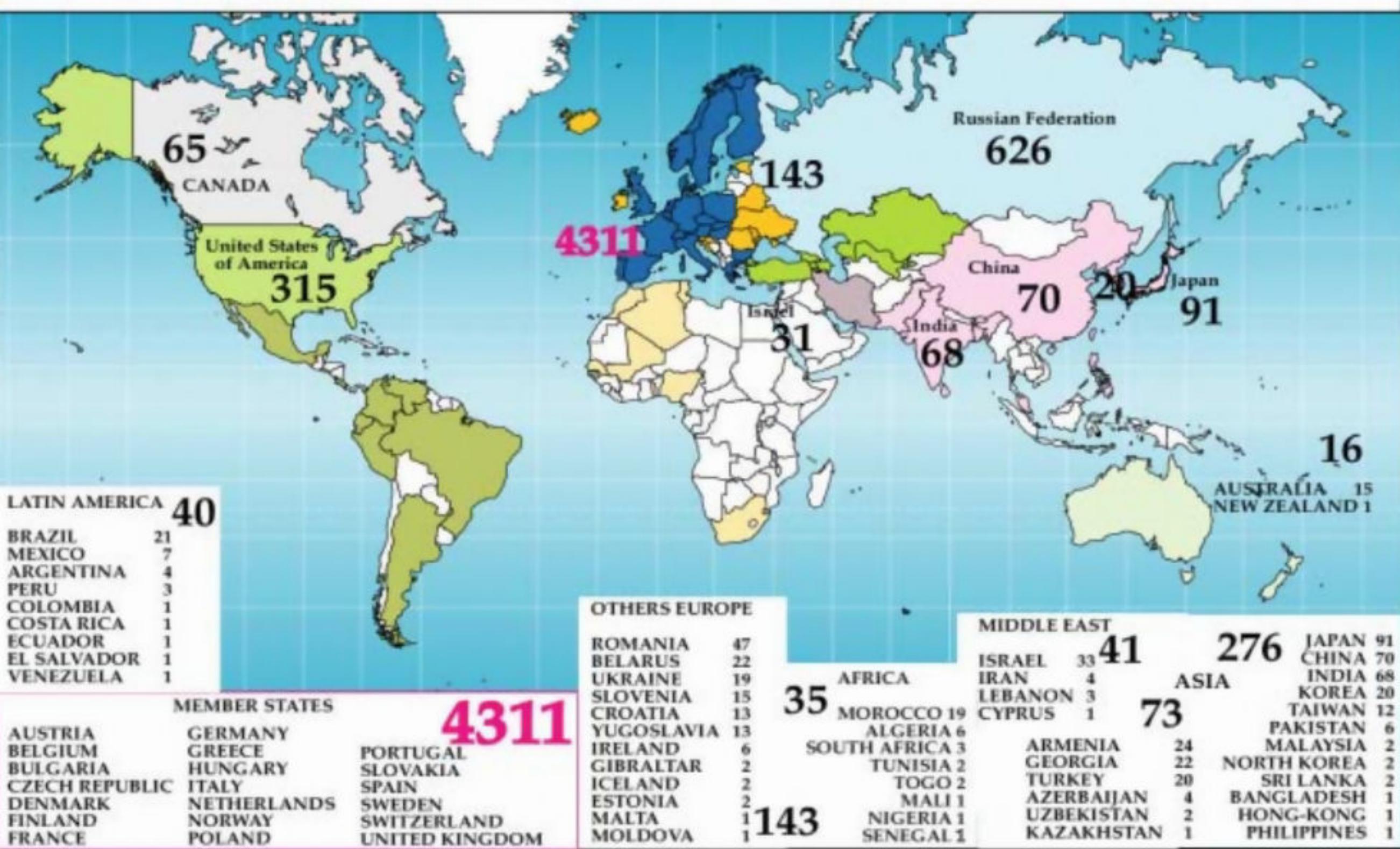
# The Twenty Member States of CERN



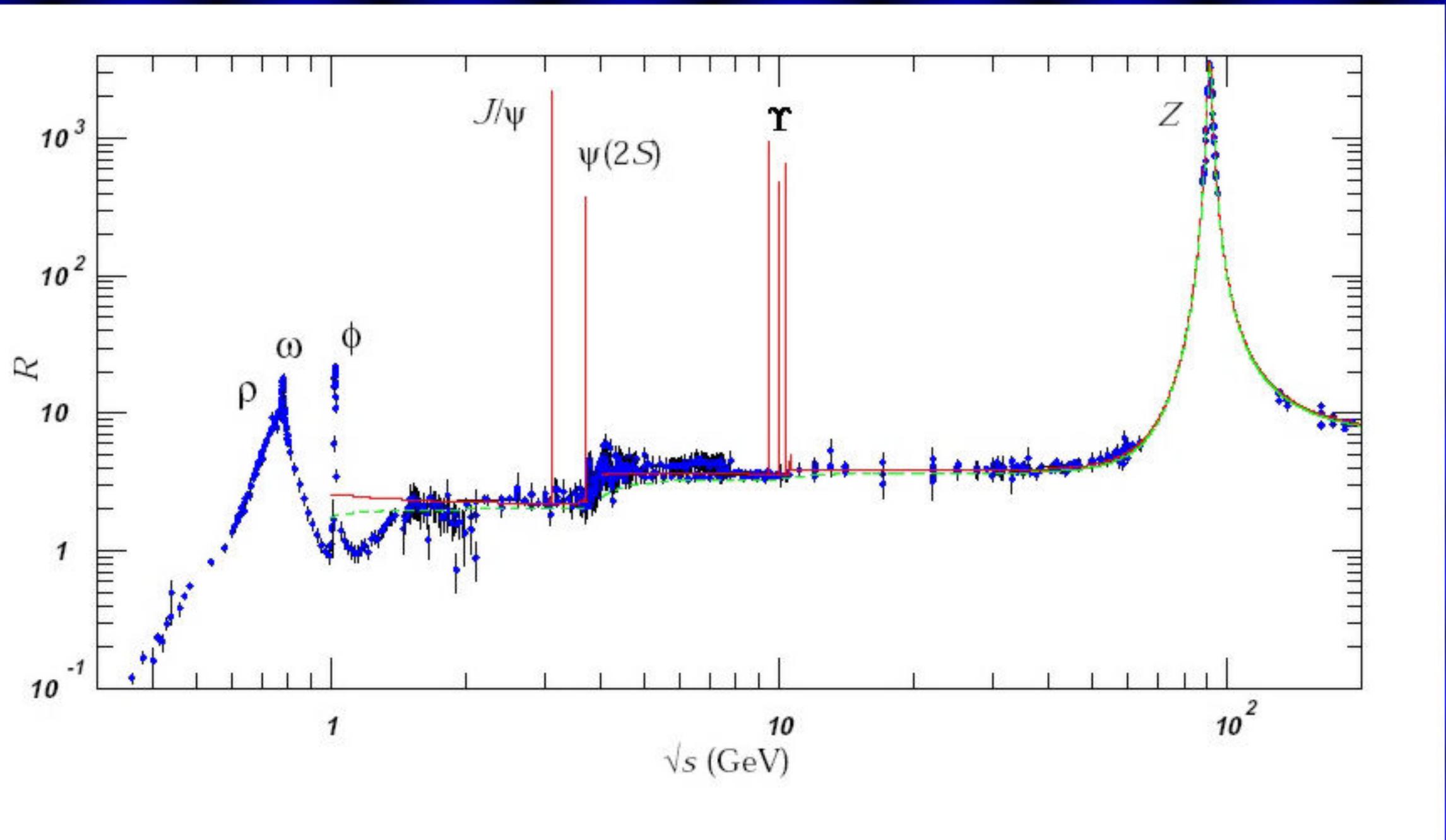
## Member States (Dates of Accession)

AUSTRIA (1959)	DENMARK (1953)	GREECE (1953)	NORWAY (1953)	SPAIN (1/1961-12/1968-1/1963)
BELGIUM (1953)	FINLAND (1991)	HUNGARY (1992)	POLAND (1991)	SWEDEN (1953)
BULGARIA (1999)	FRANCE (1953)	ITALY (1953)	PORTUGAL (1986)	SWITZERLAND (1953)
CZECH FR (1993)	GERMANY (1953)	NETHERLANDS (1953)	SLOVAK FR (1993)	UNITED KINGDOM (1953)

# CERN USERS



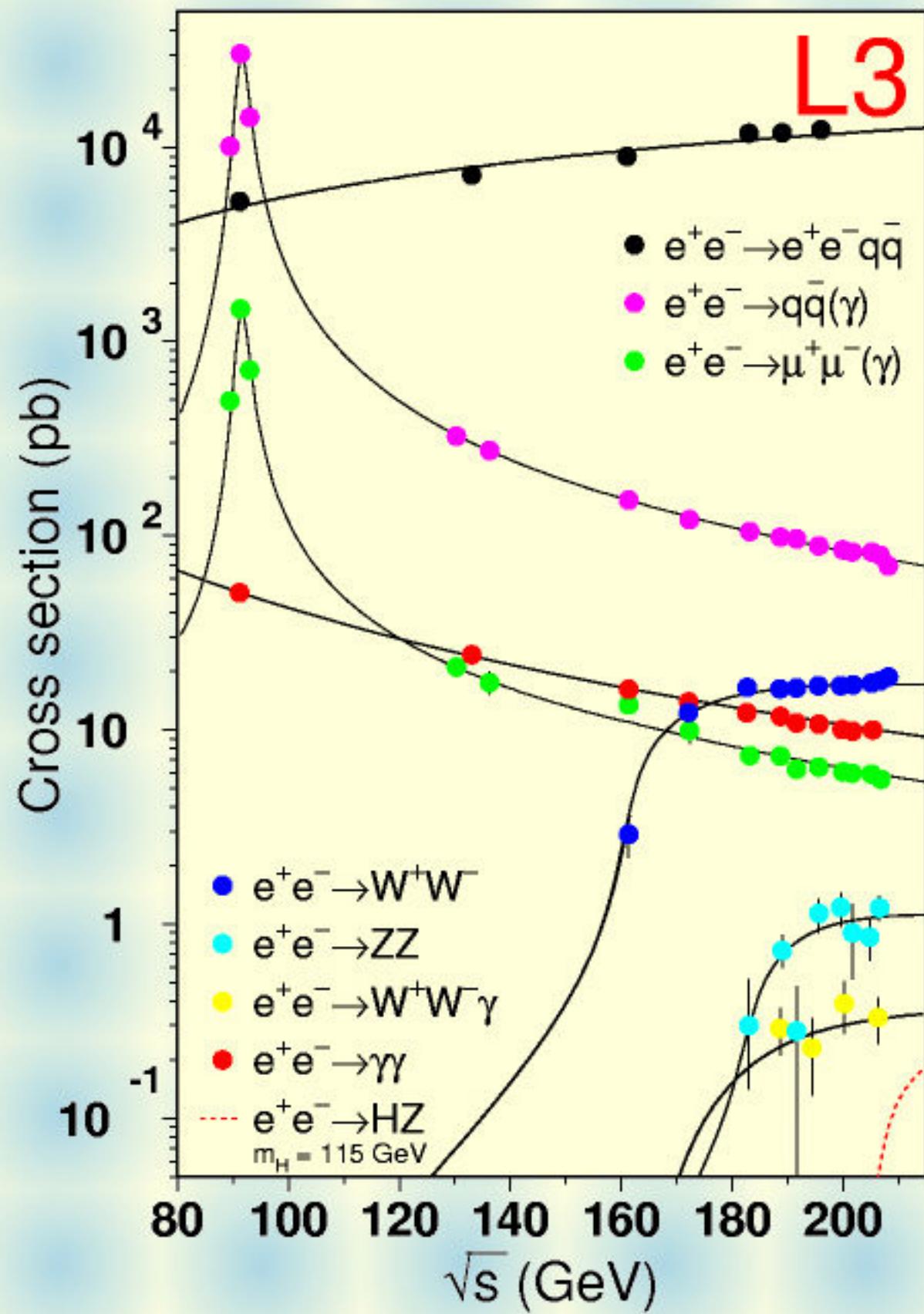
# Sección eficaz electrón-positrón a hadrones



**El Modelo Estándar describe todos los datos experimentales**

**Los picos corresponden a nuevas partículas (resonancias)**

# Sección eficaz a altas energías



Medida en unos de los experimentos del acelerador LEP.

Todos ellos obtuvieron resultados similares.

Corresponden a interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes

Todos los datos en perfecto acuerdo con las predicciones del Modelo Estándar

# Parámetros del Modelo Estándar obtenidos de los experimentos

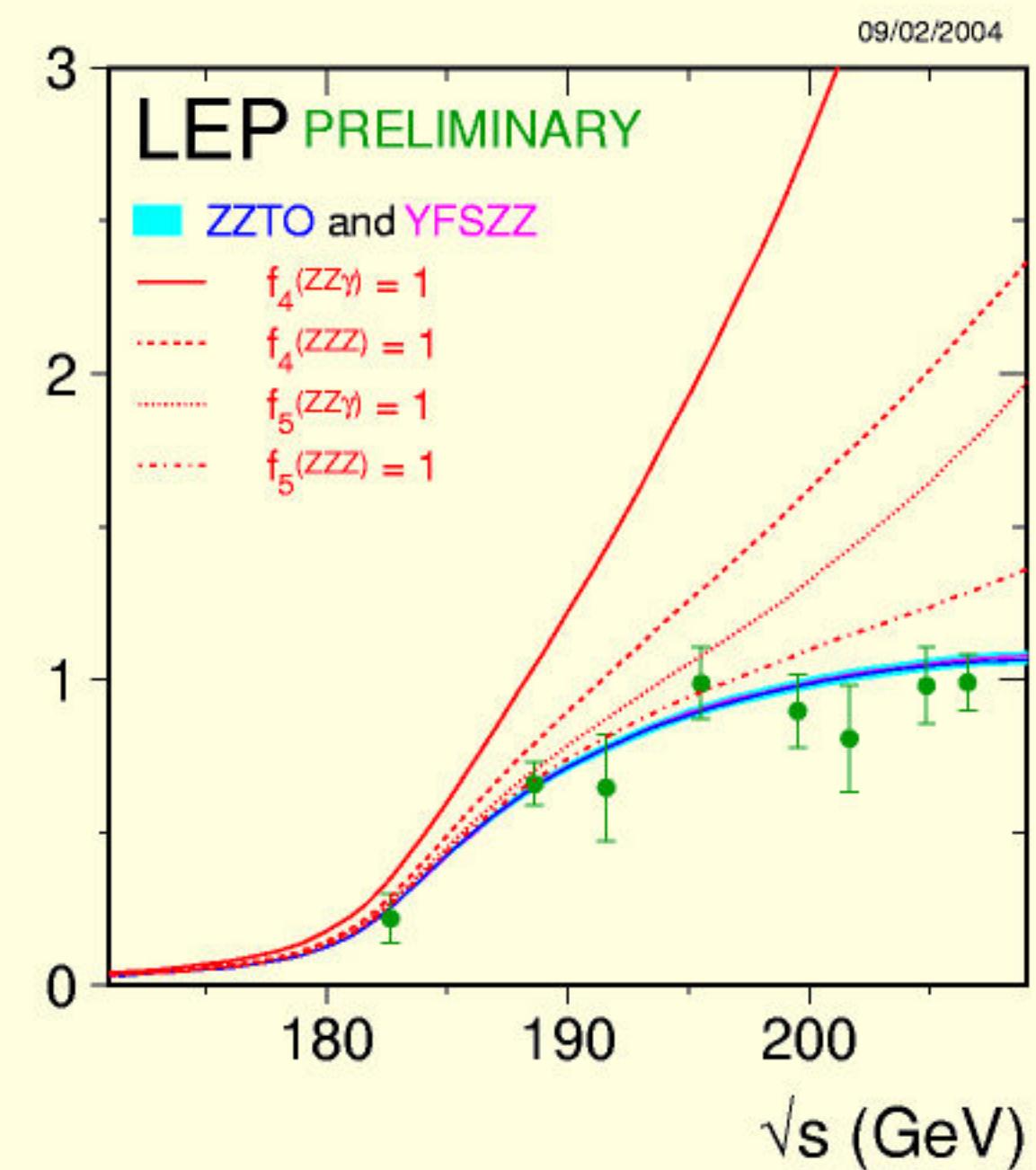
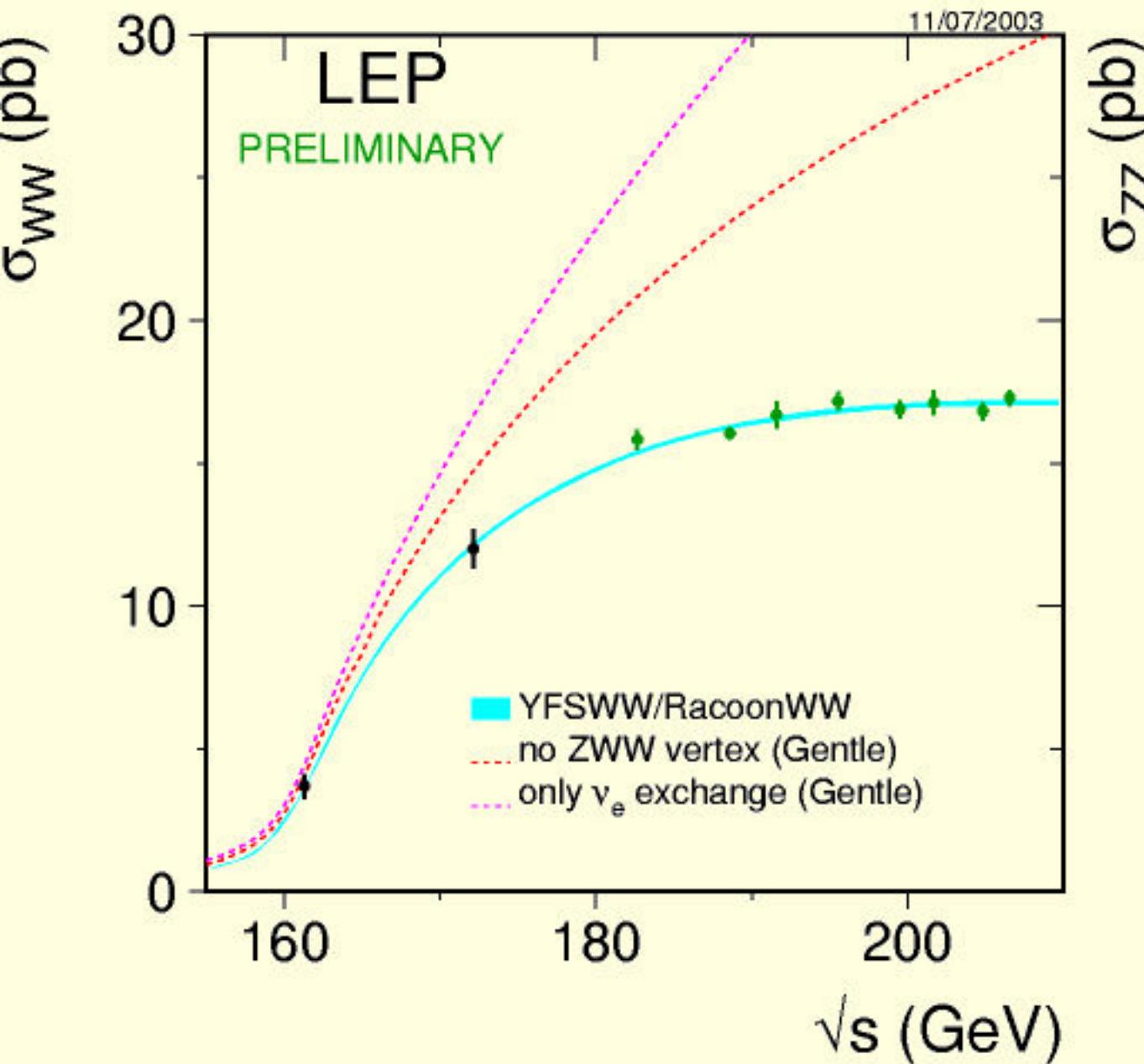
Todos los experimentos de física de partículas del mundo contribuyen a obtener esta lista de parámetros

Perfecto acuerdo entre datos experimentales y cálculos teóricos

Gran precisión. En muchos casos por debajo del 1%



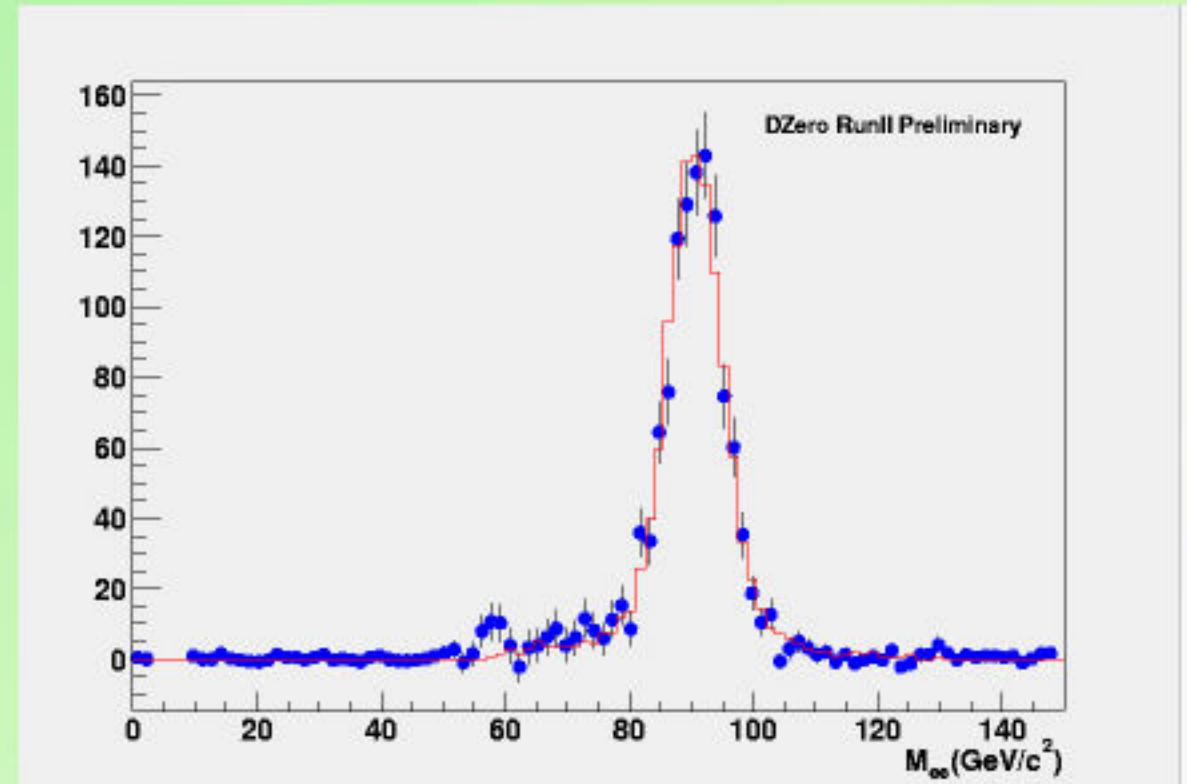
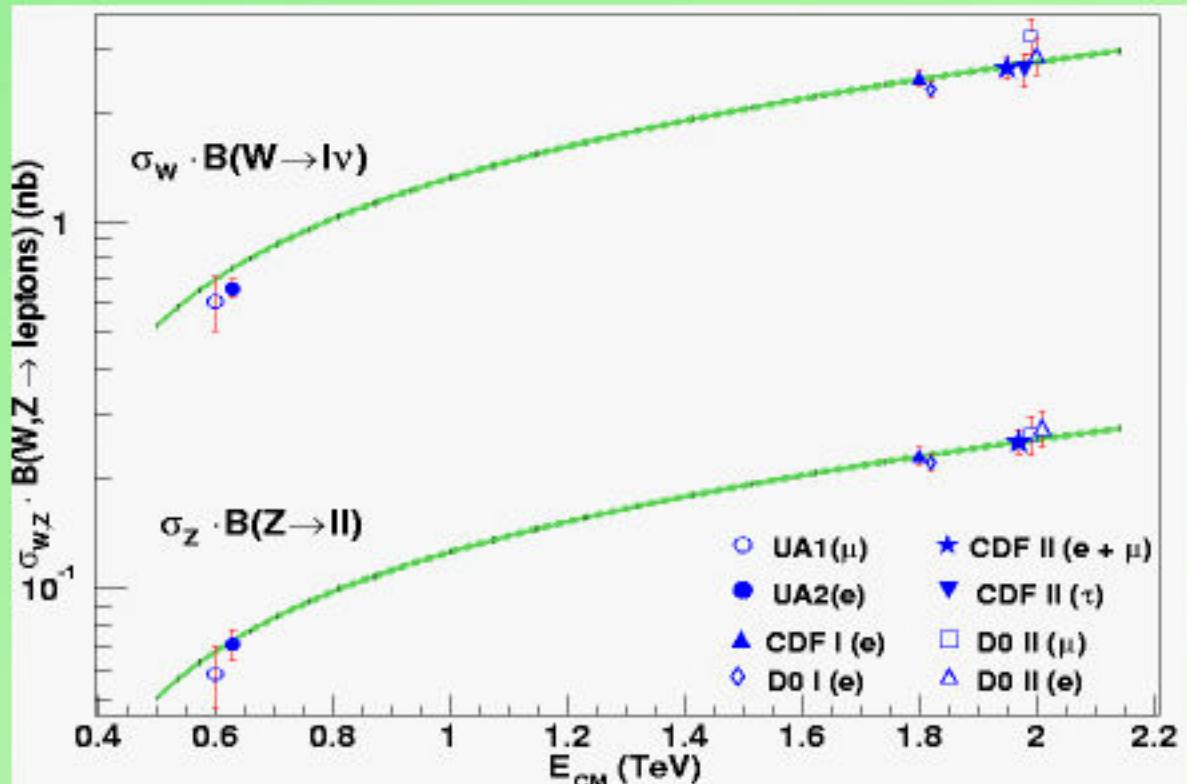
# Secciones eficaces de bosones vectoriales débiles



Test del carácter no abeliano del Modelo Estándar

# COLISIONADORES HADRÓNICOS

Desde los años 70 (UA1, UA2) hasta la actualidad (CDF, D0)



Sus resultados también quedan perfectamente descritos por el Modelo Estándar.

Éste es un test muy exigente para la descripción de la fuerza fuerte.



Situado en el laboratorio Fermilab, en Chicago

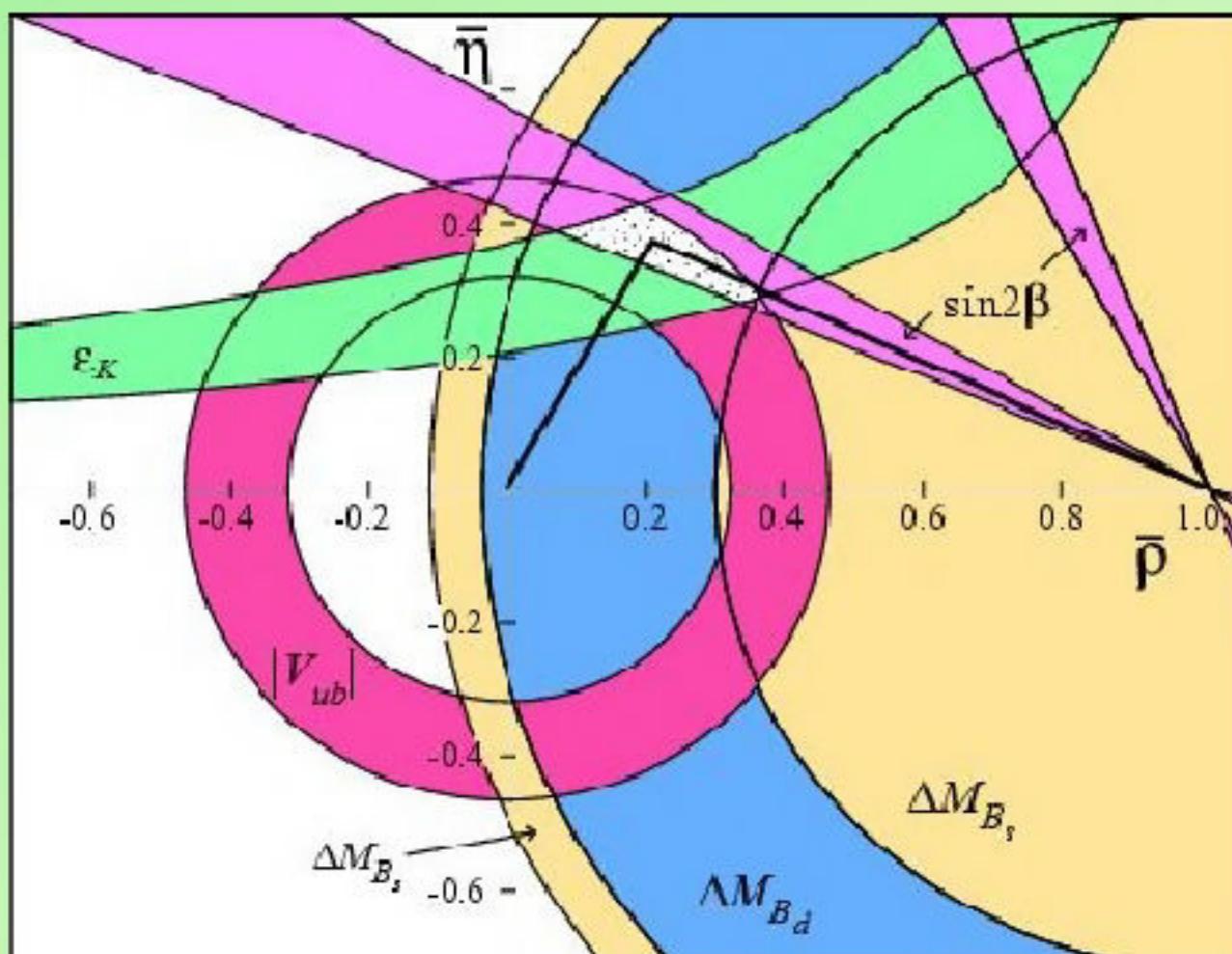
Es el mayor acelerador que funciona en la actualidad

Colisiona protones contra antiprotones a una energía de 1 TeV



# FACTORÍAS de B's

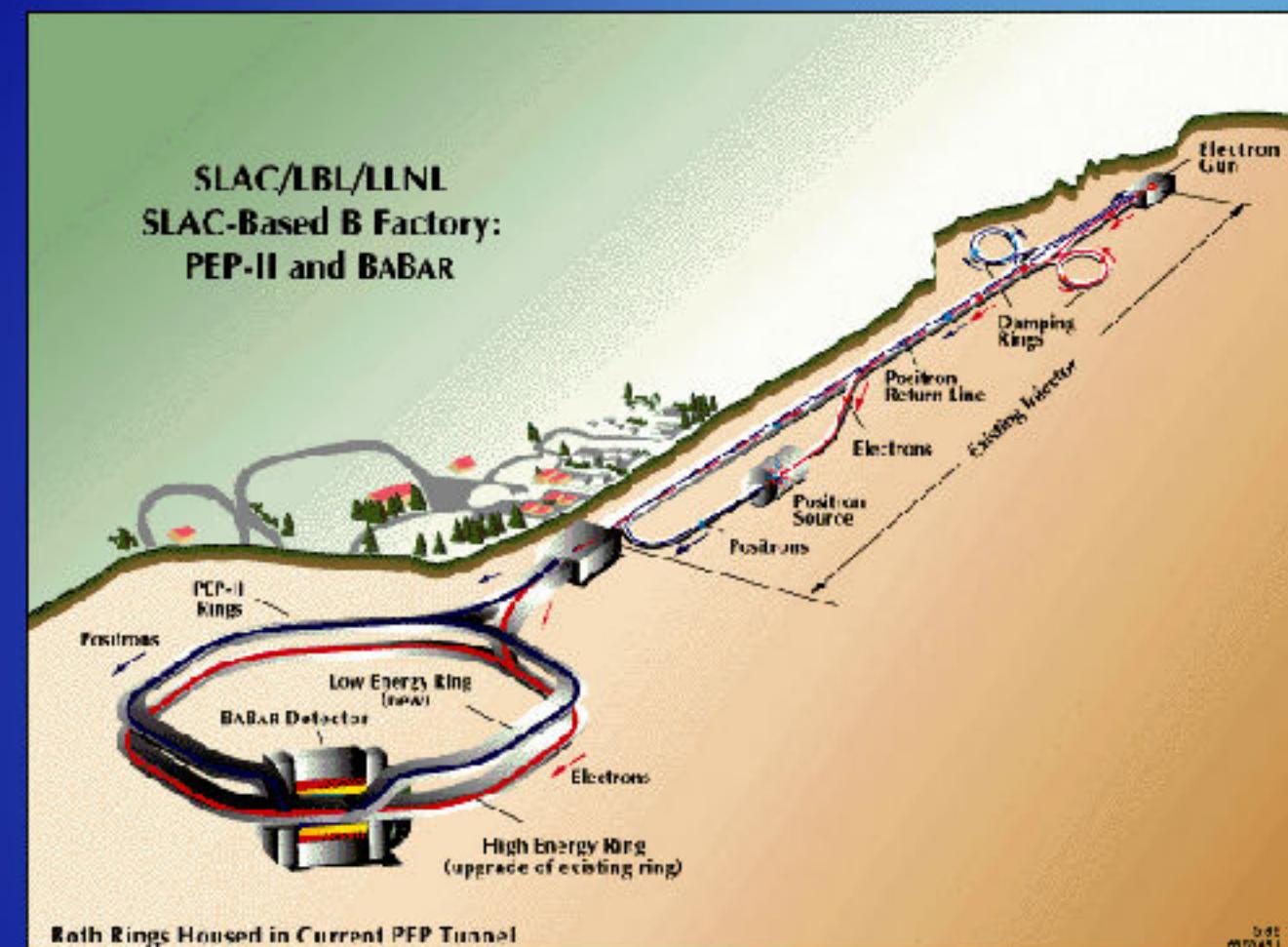
Pequeños colisionadores, construídos recientemente, especializados en la producción de algunas partículas para hacer test de altísima precisión.



El Modelo Estándar supera con éxito la prueba

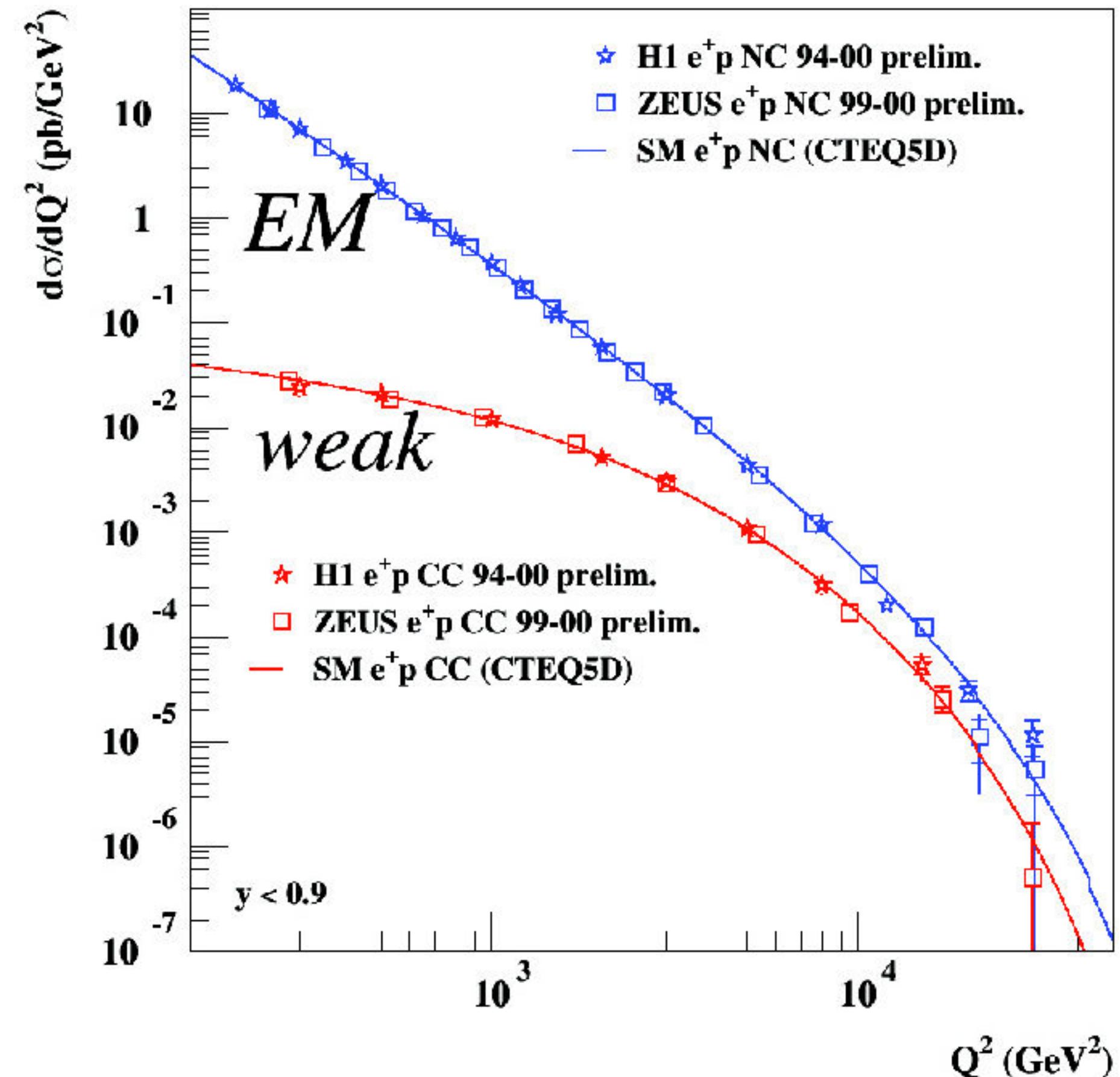
BaBar en SLAC (California)

Belle (Japon)



Test del paradigma CKM para la violación de CP  
en el Modelo Estándar

# Colisionadores leptón-hadrón



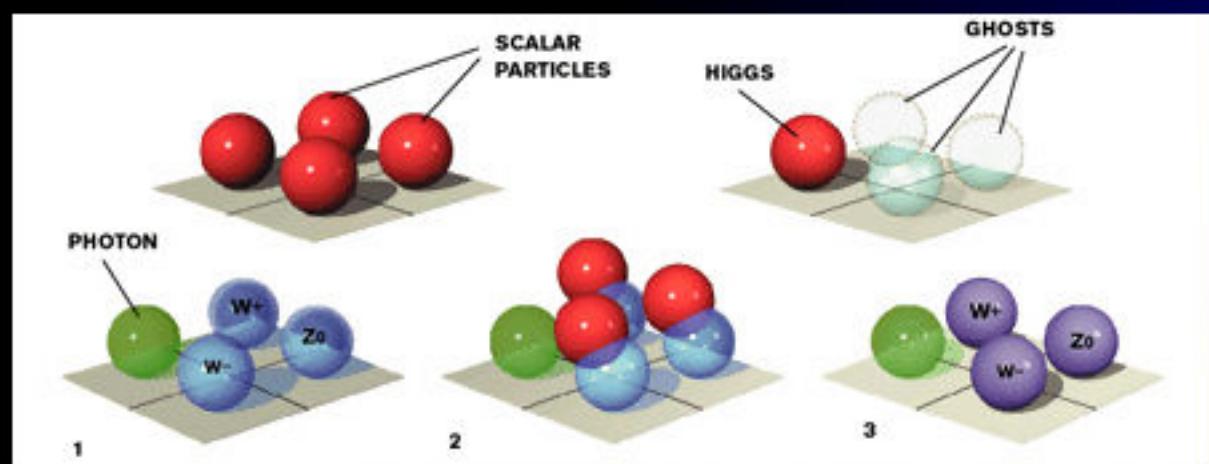
Colisionador  
HERA

Electrón-protón

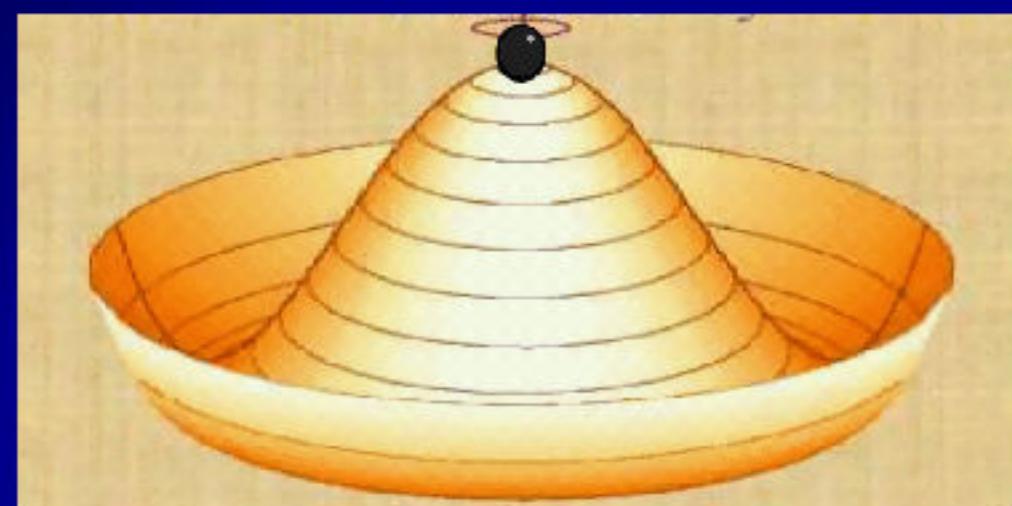
Situado en  
Hamburgo, en  
el centro  
DESY

# EL BOSÓN DE HIGGS

El SM predice la existencia de un escalar elemental: El bosón de Higgs, que no se ha observado.



Mecanismo de rotura de simetría



Potencial de Higgs

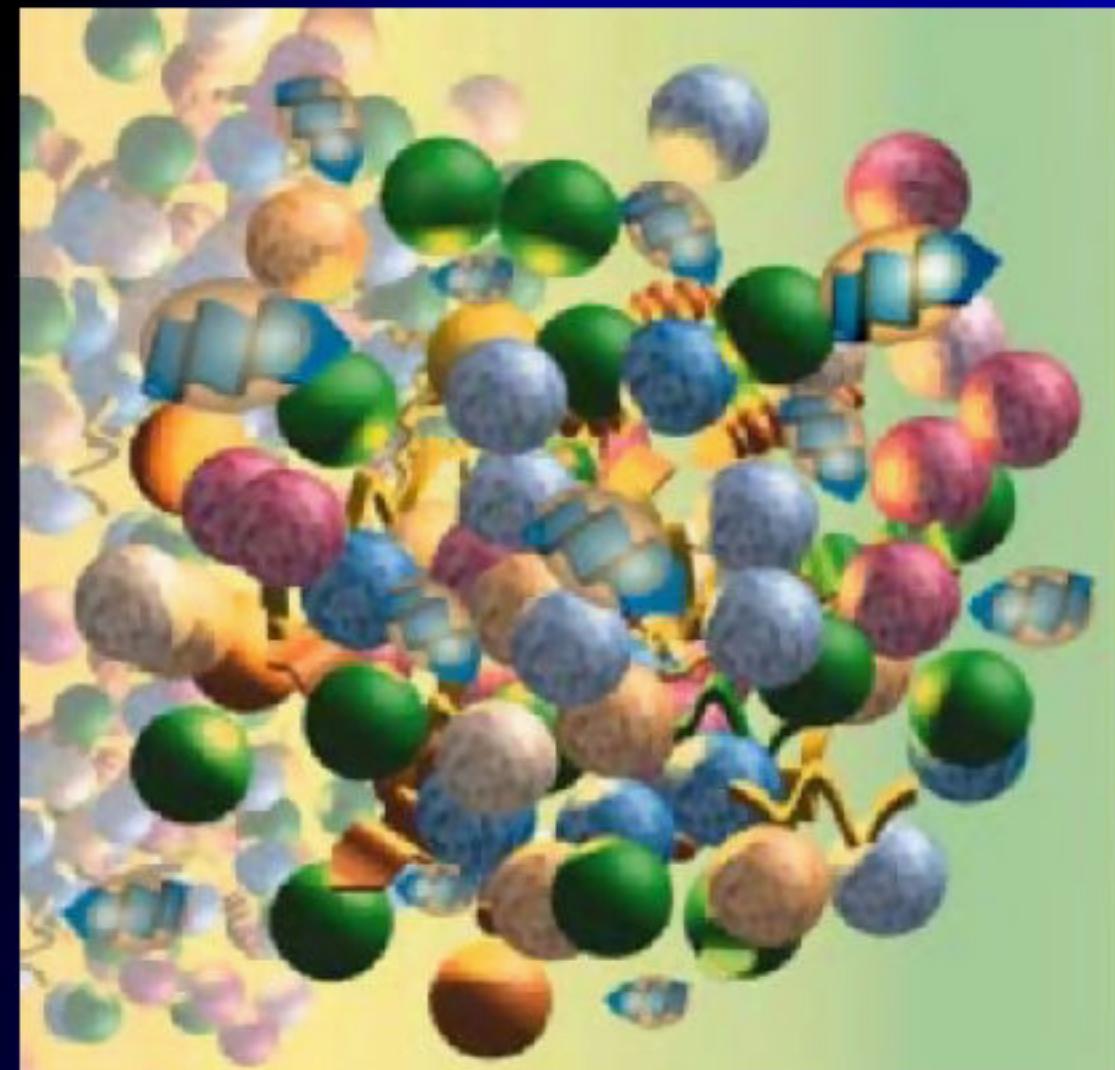
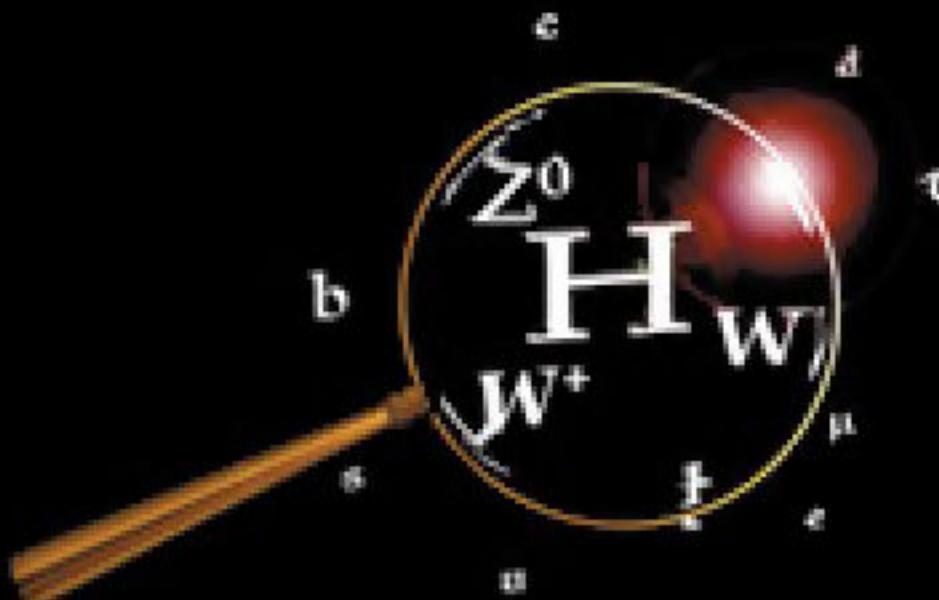
La rotura espontánea de simetría dota de masa a los bosones vectoriales débiles, pero deja que el fotón permanezca no masivo.

Así la interacción débil queda como fuerza de corto alcance, mientras que la electromagnética es de largo alcance.

Esta parte del Modelo Estándar no ha sido verificada experimentalmente (¿Aun?).

# EL BOSÓN DE HIGGS

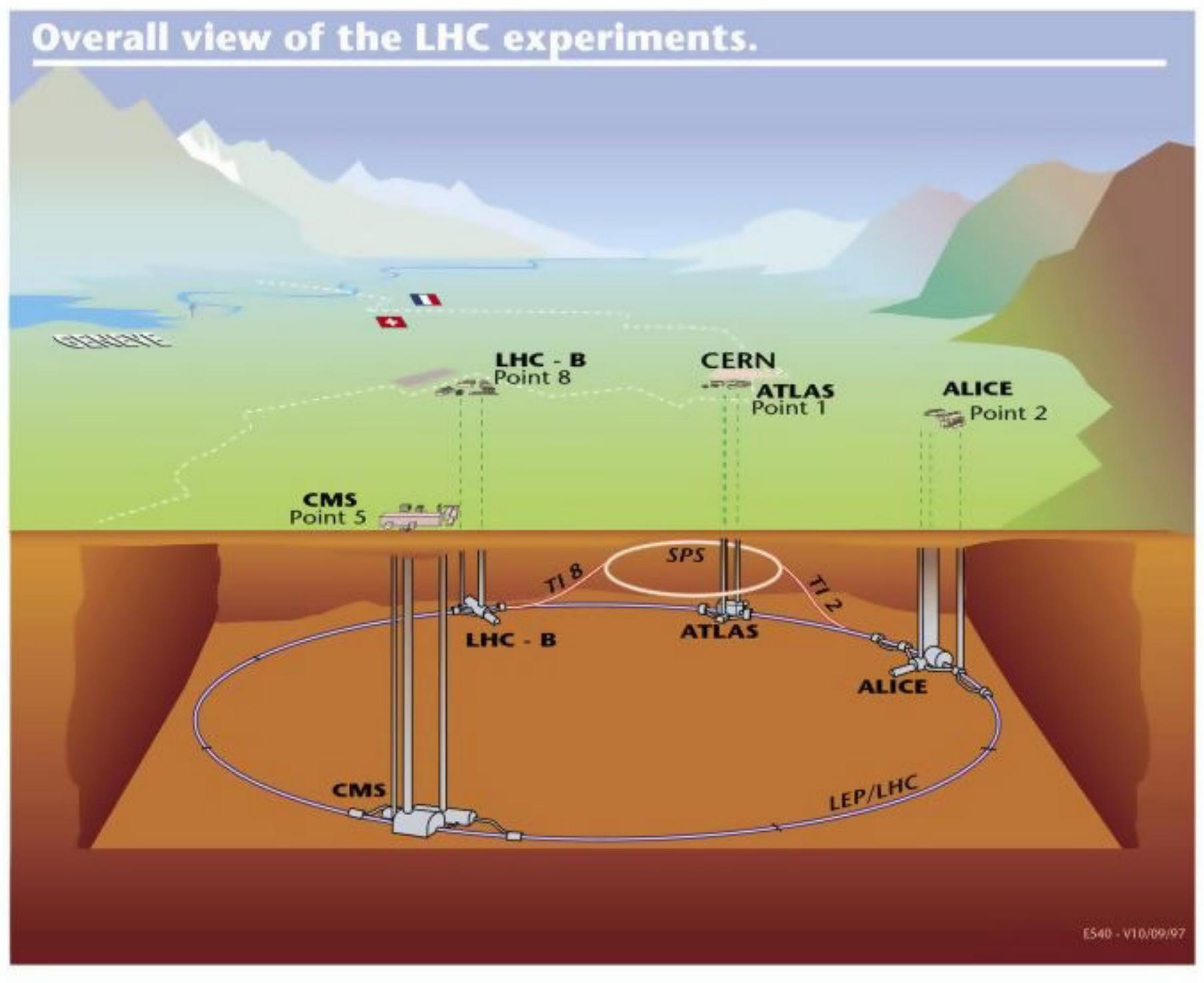
El siguiente gran objetivo de la física de partículas es buscar el Higgs.



Para ello se está construyendo el próximo gran acelerador en el CERN

# EL BOSÓN DE HIGGS

Overall view of the LHC experiments.



Si el Modelo Estándar es correcto, el Higgs debería encontrarse en el próximo gran colisionador, **el LHC**

Colisionador protón-protón a 14 TeV

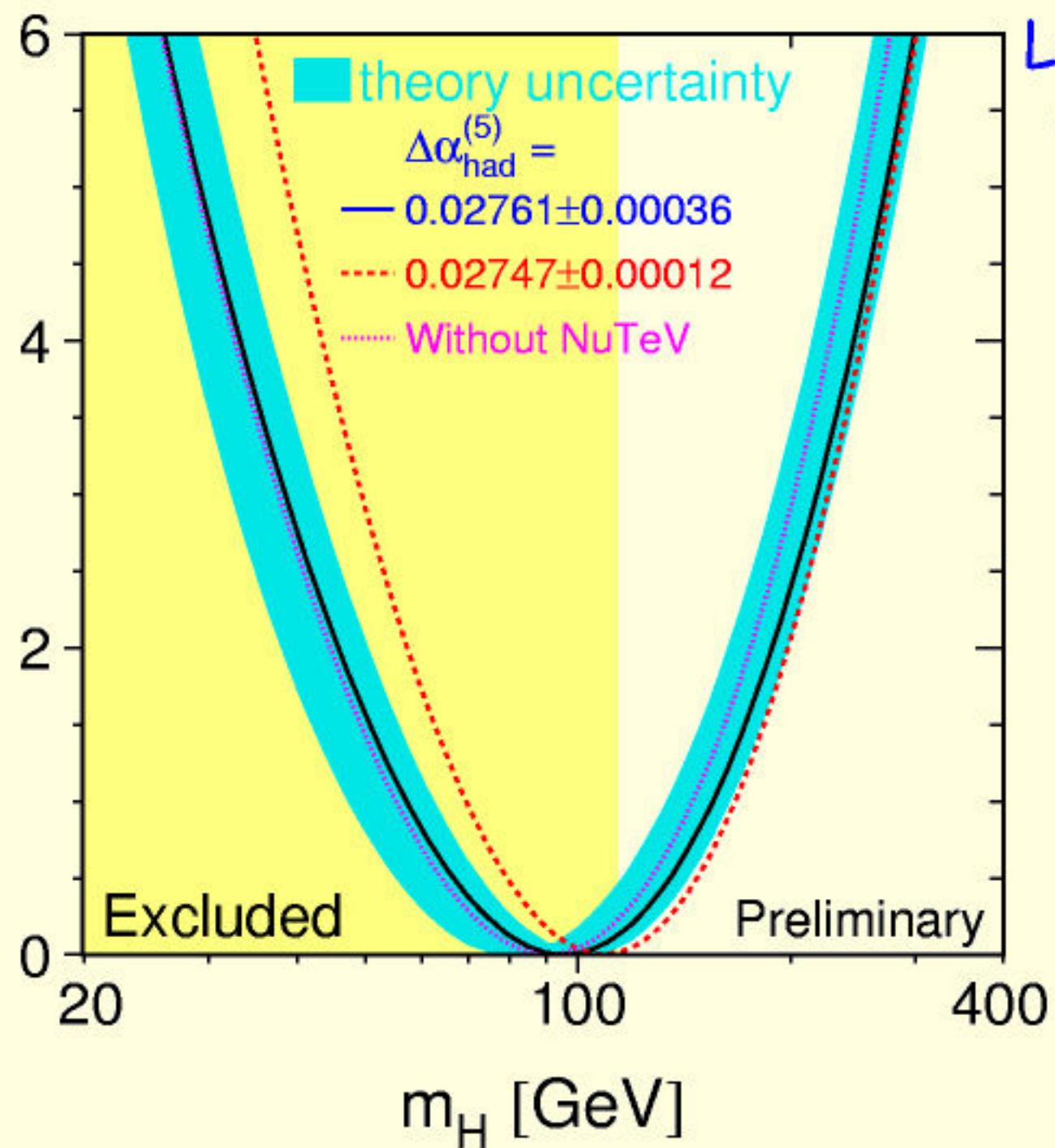
En el túnel de LEP

Previsto para 2007-2008

¿Qué se sabe del sector de rotura de simetría?

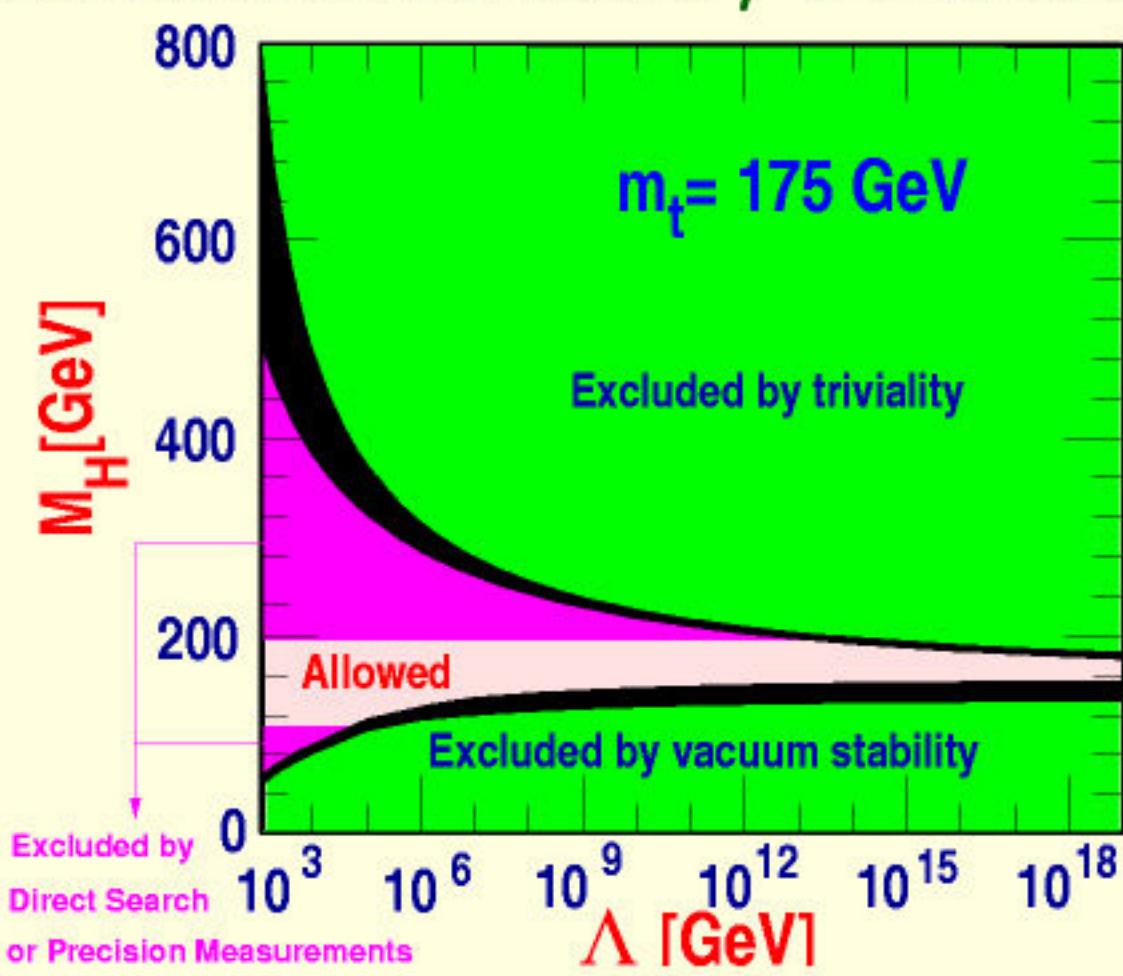
Búsqueda directa:  $M_H > 114 \text{ GeV}$  (95% C.L.)

Ajuste electrodébil:  $M_H < 200 \text{ GeV}$  (aprox.)



La consistencia de la teoría también impone restricciones al valor de la masa del bosón de Higgs

Estabilidad del vacío y trivialidad



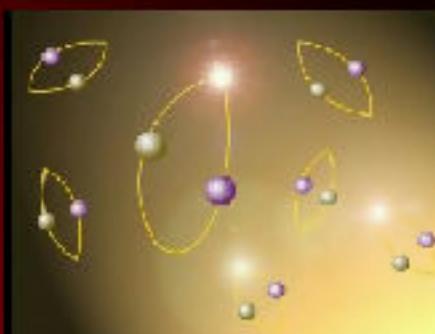
# SUMARIO

**En resumen, el modelo estándar es la teoría física más exitosa y que ha pasado los tests experimentales más exigentes de la historia.**

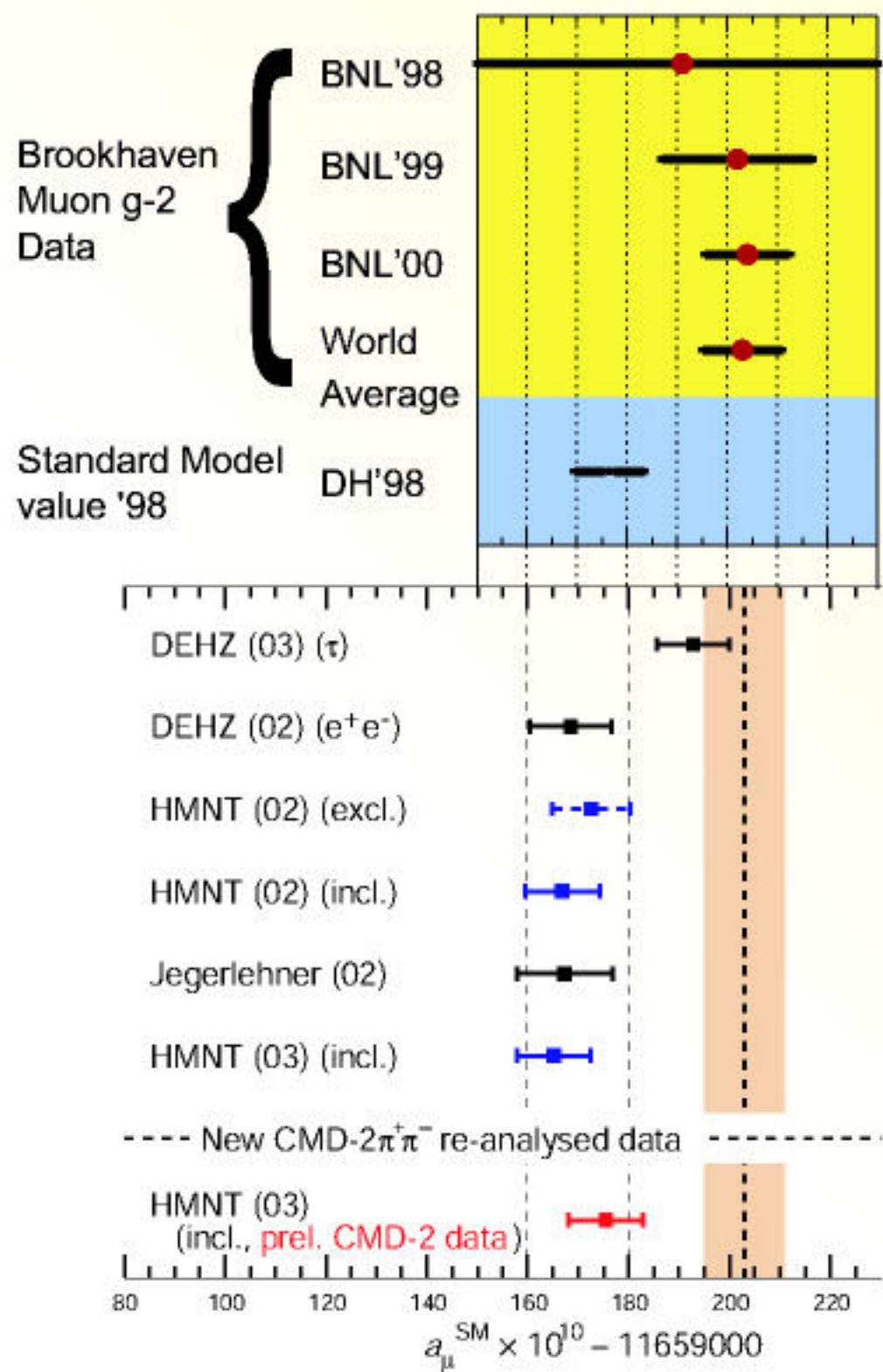
**Describe las interacciones entre partículas elementales en un rango amplísimo de distancias y energías.**

**En términos de 4 fuerzas y 3 familias de partículas, más el mecanismo de rotura espontánea de simetría, que da lugar al bosón de Higgs. Éste es el único componente de la teoría que no ha sido encontrado. Para ello se está construyendo el acelerador más grande y potente de la historia.**

**Parece que la física de partículas se acerca a su final,  
PERO...**



# Más resultados



No todos los resultados experimentales están de acuerdo con el Modelo Estándar.

Año 2000: Discrepancia en g-2 del muón

Medida realizada en los laboratorios de Brookhaven en New York

Discrepancia del orden de 1 ppm

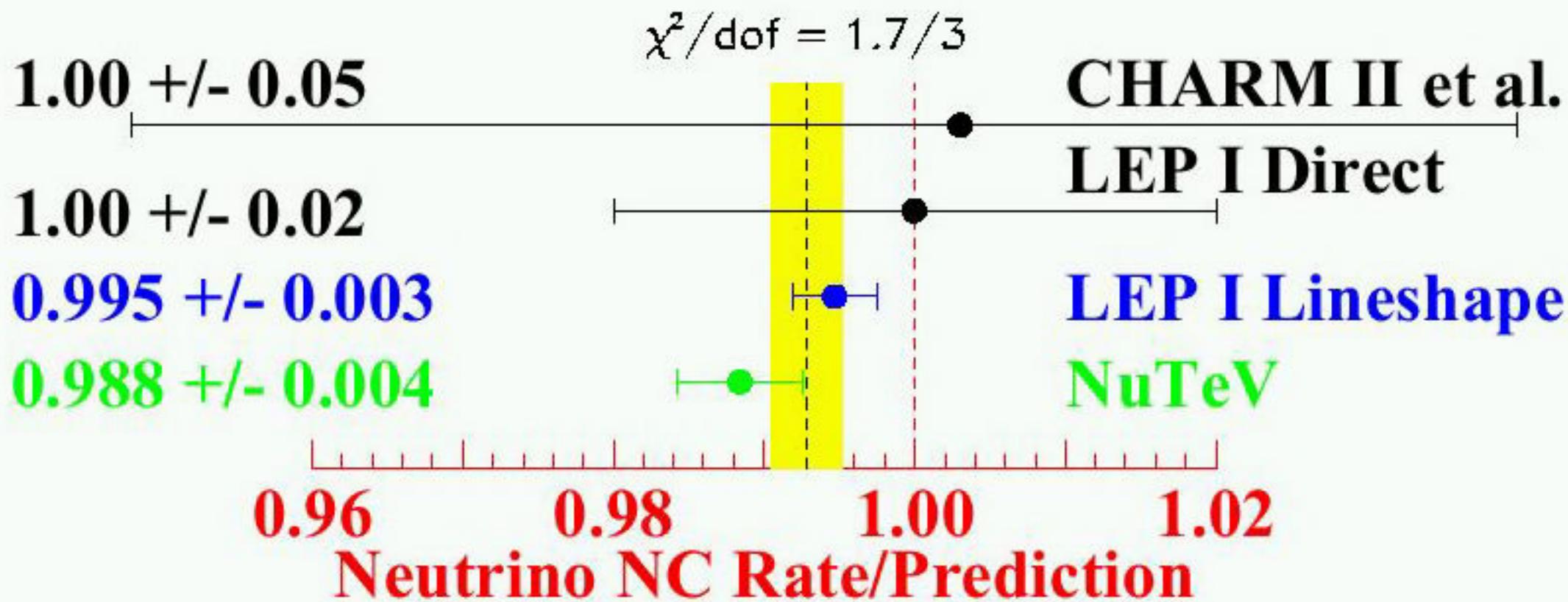
Medida de altísima precisión

Parece que se debe a la dificultad del cálculo...

## Más resultados

No todos los resultados experimentales están de acuerdo con el Modelo Estándar.

Año 2001: NuTeV. Experimento de colisión neutrino-núcleo situado en Fermilab, diseñado para medir con precisión uno de los parámetros del Modelo Estándar (el ángulo de Weinberg)



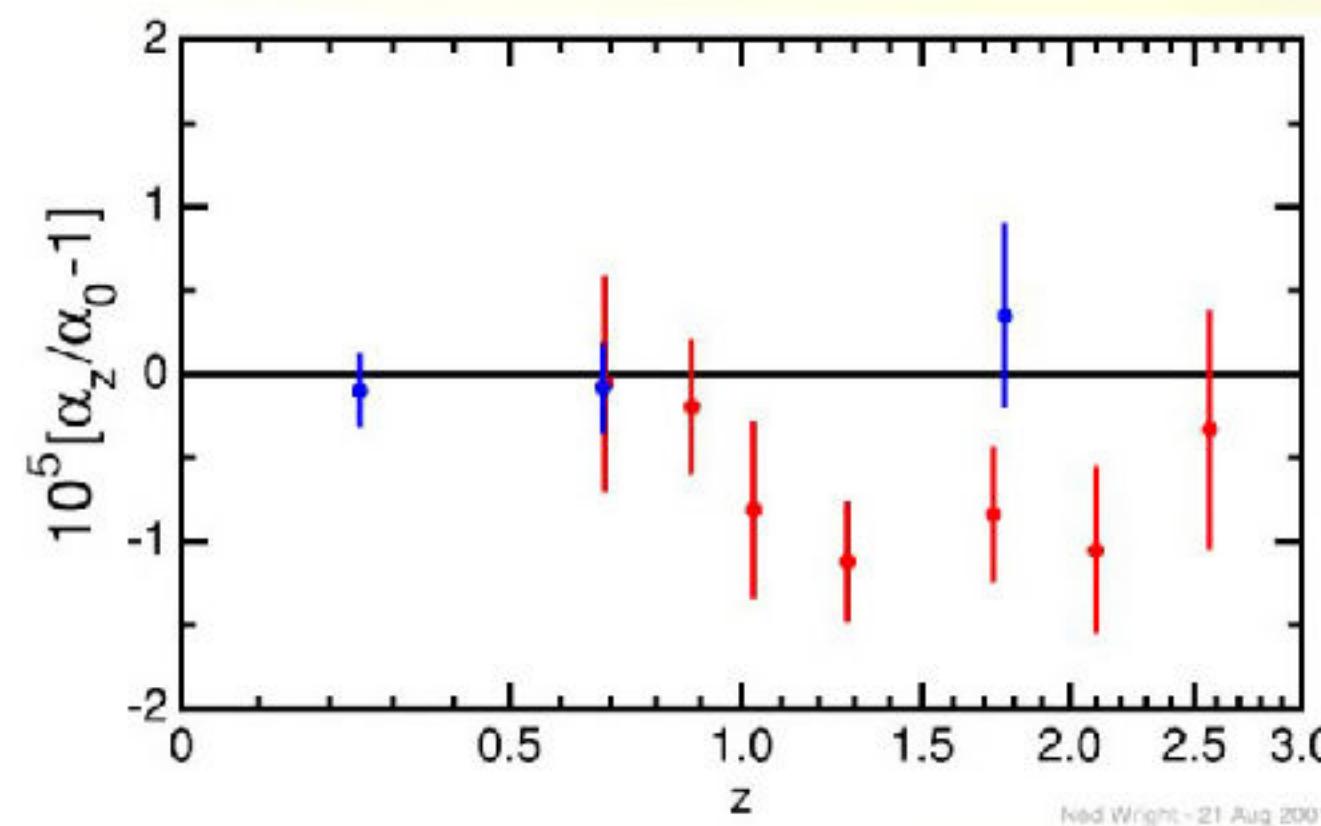
¿Problemas de control de errores sistemáticos en la medida?

# Más resultados

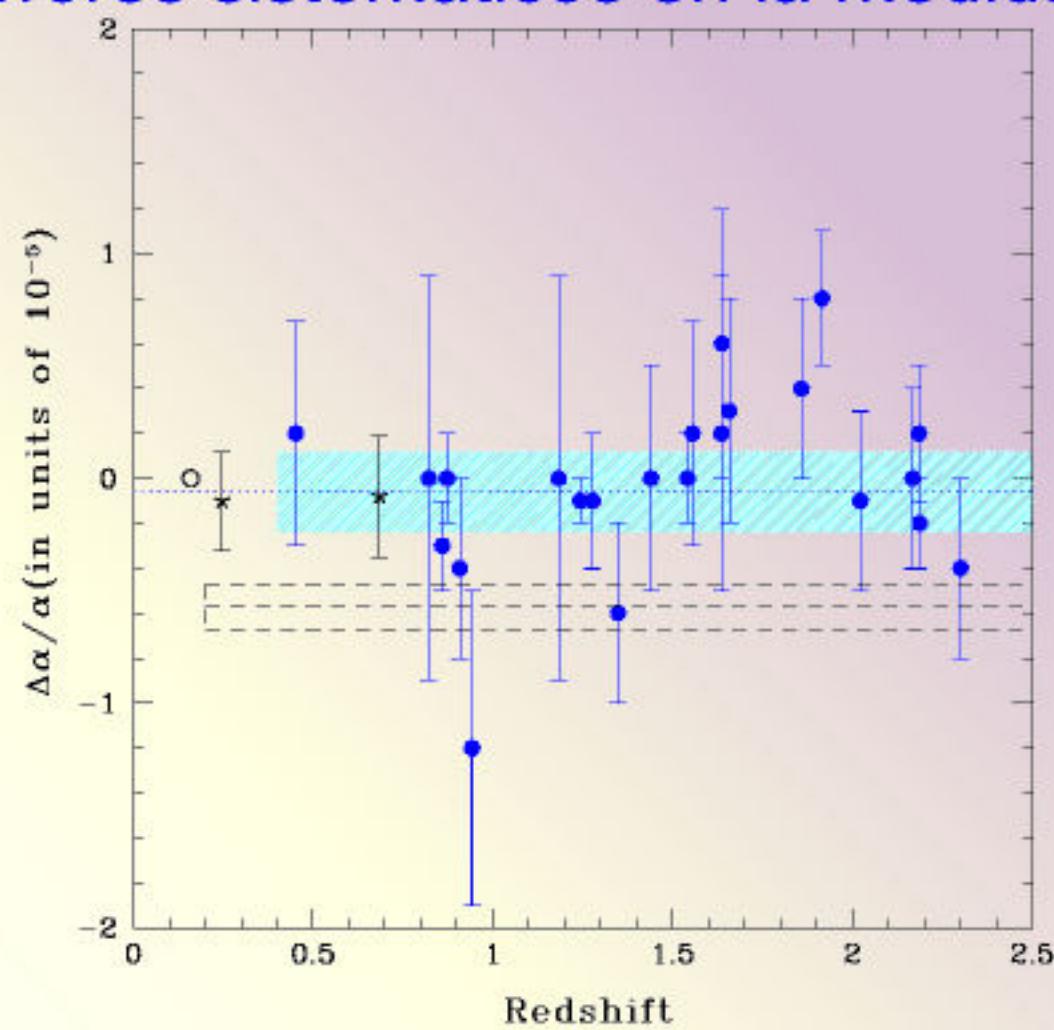
No todos los resultados experimentales están de acuerdo con el Modelo Estándar.

Año 2003: ¿Varían las constantes fundamentales?

Medidas cosmológicas: Absorción de radiación en clusters de galaxias



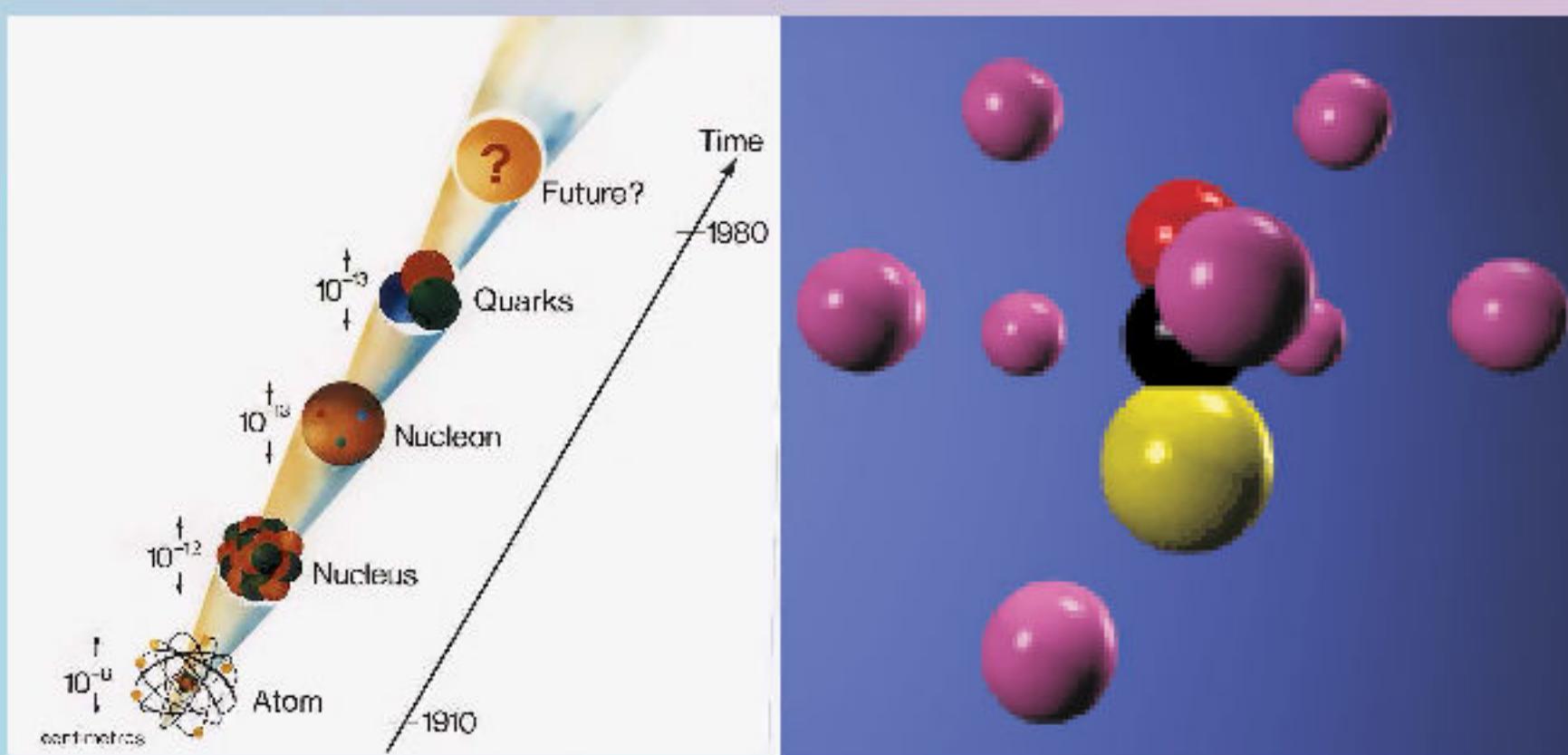
Año 2004: ¿Problemas de control de errores sistemáticos en la medida?



Las constantes son constantes

# Más resultados

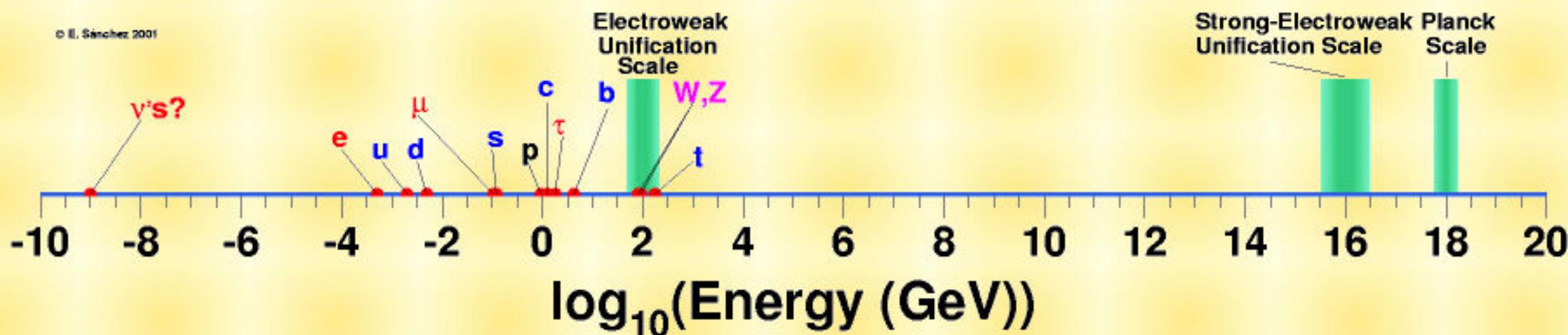
Estos resultados experimentales, que no están de acuerdo con la teoría, o no son muy sólidos o se espera que puedan explicarse dentro del Modelo Estándar.



El MODELO ESTÁNDAR sigue en pie

**PERO...**

- ◆ Contiene 20 (26) parámetros arbitrarios
- ◆ No incluye la gravitación
- ◆ Problema de la jerarquía y origen de la masa (¿Higgs?)



- ◆ Problema de la constante cosmológica: ¡120 órdenes de magnitud entre teoría y experimento!
- ◆ ¿Por qué  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ?
- ◆ ¿Por qué 3 generaciones?

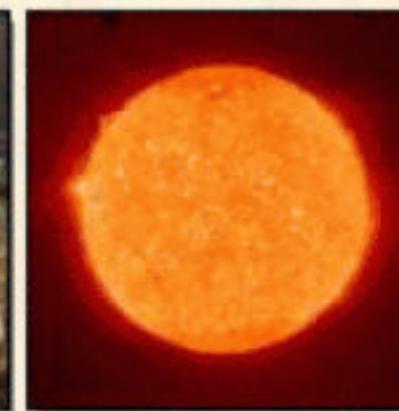
Podría decirse que estas objeciones son sólo filosóficas,

**PERO...**

# Where Do Neutrinos Appear in Nature?



Nuclear  
Reactors



Sun



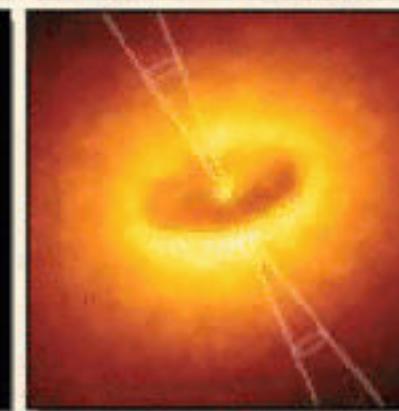
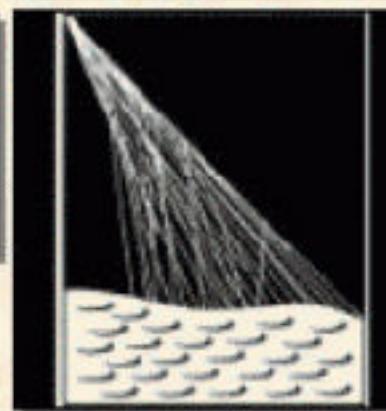
Particle  
Accelerators



Supernovae  
(Collapsing Stars)  
**SN 1987A**



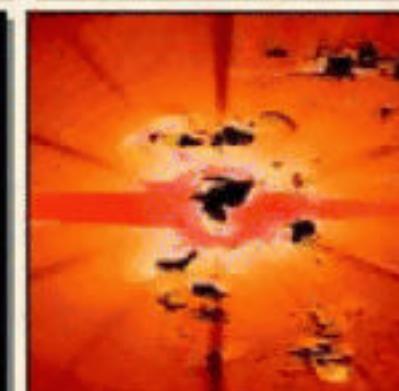
Atmosphere  
(Cosmic Rays)



Astrophysical  
Accelerators

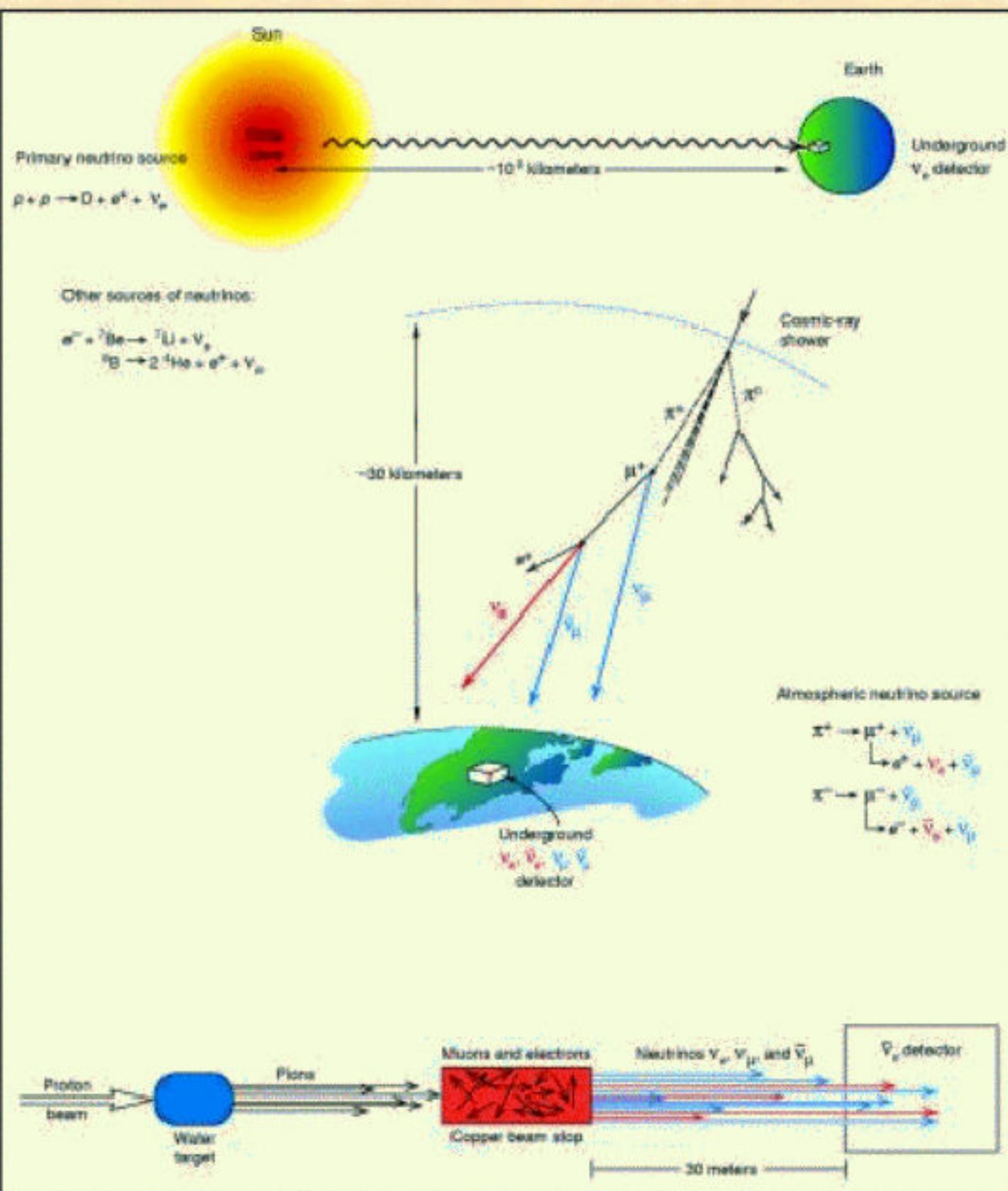
**Soon?**

Earth's Crust  
(Radio Activity)  
**After 2001?**



Cosmic Big Bang,  
today  $330 \nu/\text{cm}^3$   
**Indirectly**

# Evidence for Neutrino Oscillations



**Solar Neutrinos**

**Atmospheric Neutrinos**

**LSND Experiment**

# LOS NEUTRINOS OSCILAN

- ◆ Primer resultado experimental más allá del modelo estándar

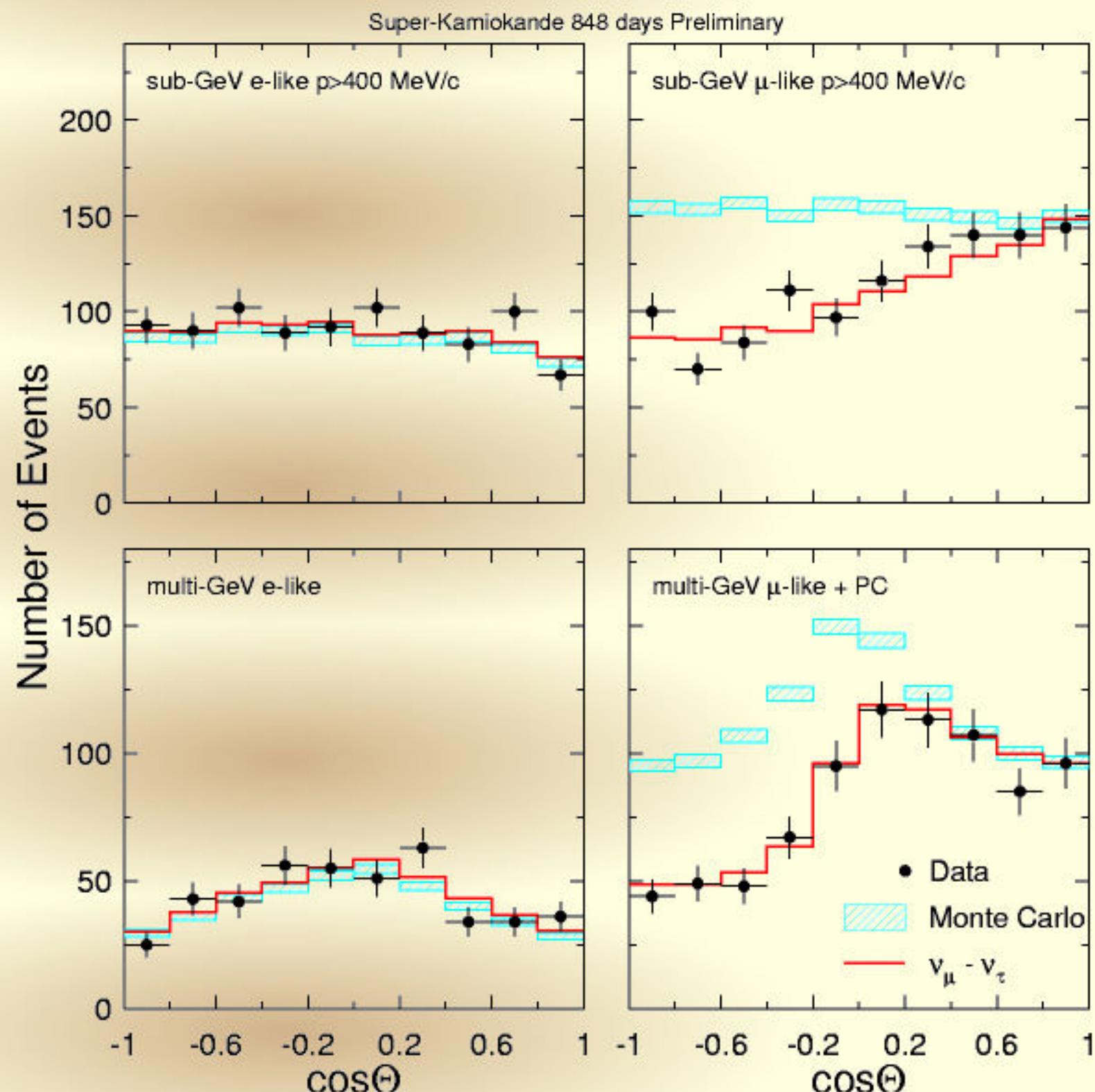
## ATMOSFÉRICOS (1998)

Experimento  
SuperKamiokande (Japón)

Detección de  
los productos  
de la interacción  
de los neutrinos

Neutrinos muon y  
neutrinos electrón

Evidencia por  
desaparición de  
neutrinos muon



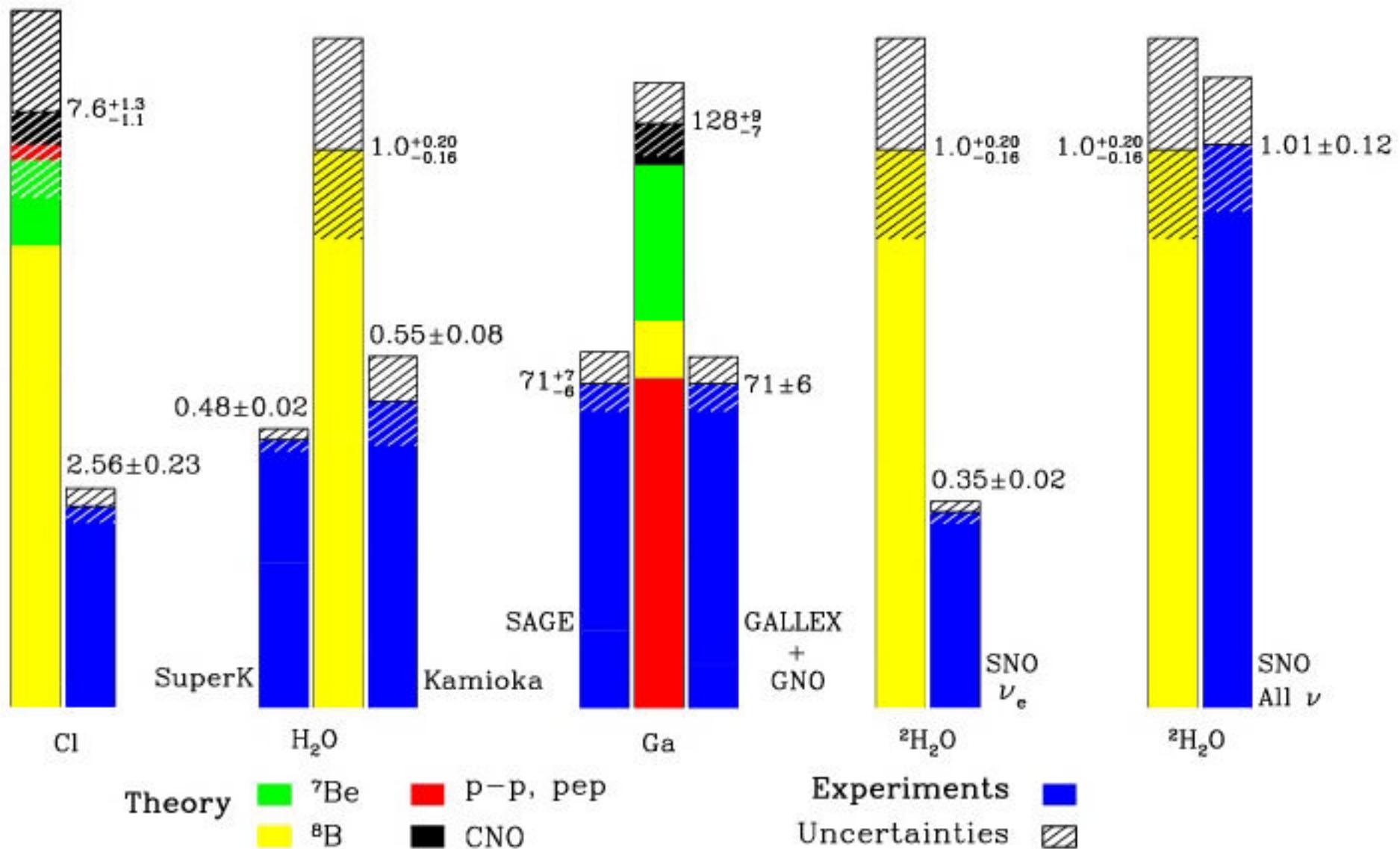
# LOS NEUTRINOS OSCILAN

## NEUTRINOS SOLARES

*El experimento SNO (2001) en Sudbury, Canadá, resolvió finalmente el "problema de los neutrinos solares"*

Total Rates: Standard Model vs. Experiment

Bahcall–Pinsonneault 2000

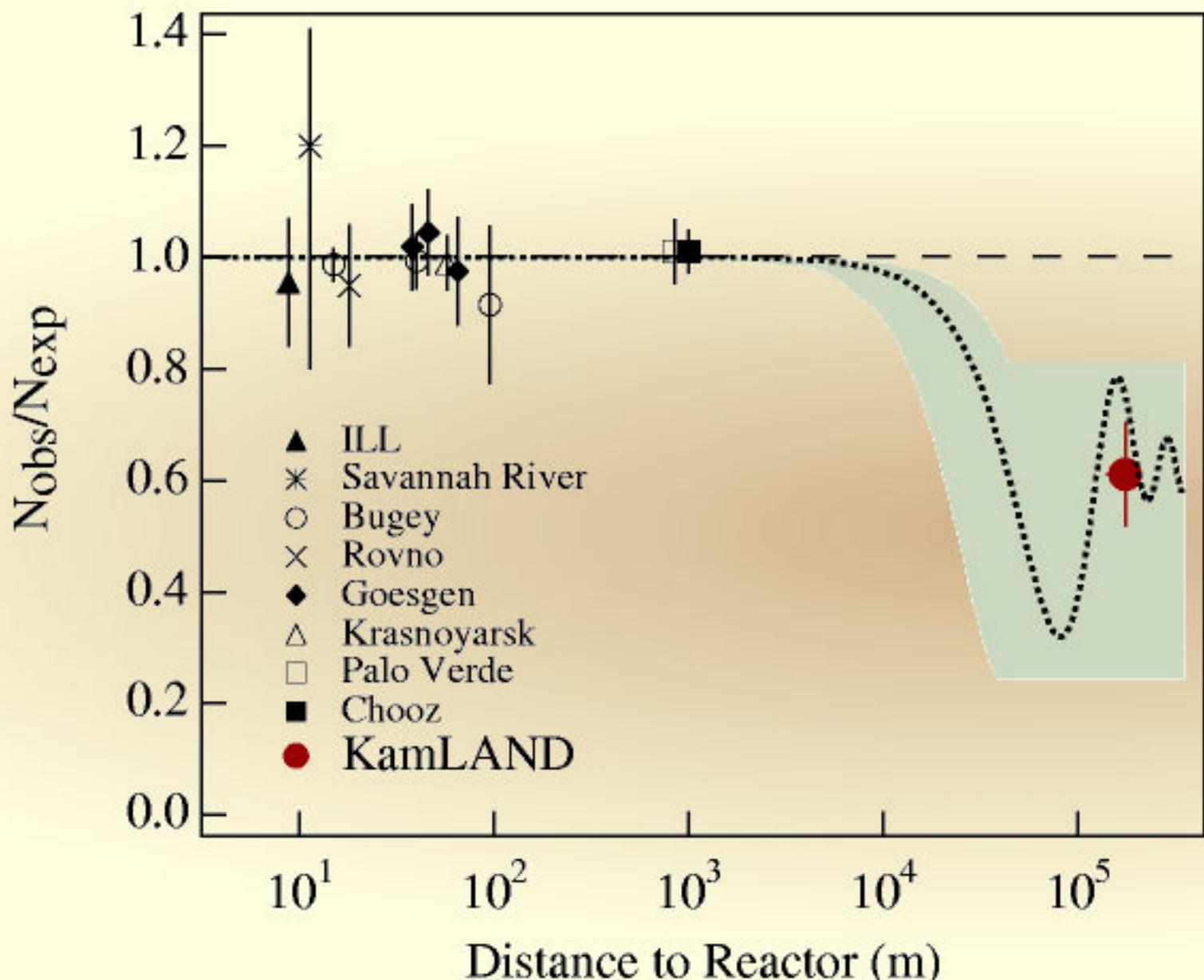


*Se detectaban menos neutrinos procedentes del Sol de los esperados*

*Se debe a la oscilación que hace desaparecer neutrinos electrón al convertirse en otras especies*

## LOS NEUTRINOS OSCILAN

EN REACTORES: *Kamland (2002), Kamioka, Japón*



*Neutrinos creados en reactores nucleares para producción de energía*

*Se puede obtener información acerca de las oscilaciones puesto que se conoce la distancia que hay entre el reactor y el detector utilizado para medir los neutrinos*

*Oscilaciones confirmadas en el experimento Kamland  
Los experimentos anteriores no estaban a la distancia suficiente de los reactores como para ser sensibles*

**Estos resultados, sin embargo, pueden acomodarse  
fácilmente en el Modelo Estándar, con modificaciones  
mínimas de la teoría.**

**Darían lugar a violación de CP en el sector leptónico.**

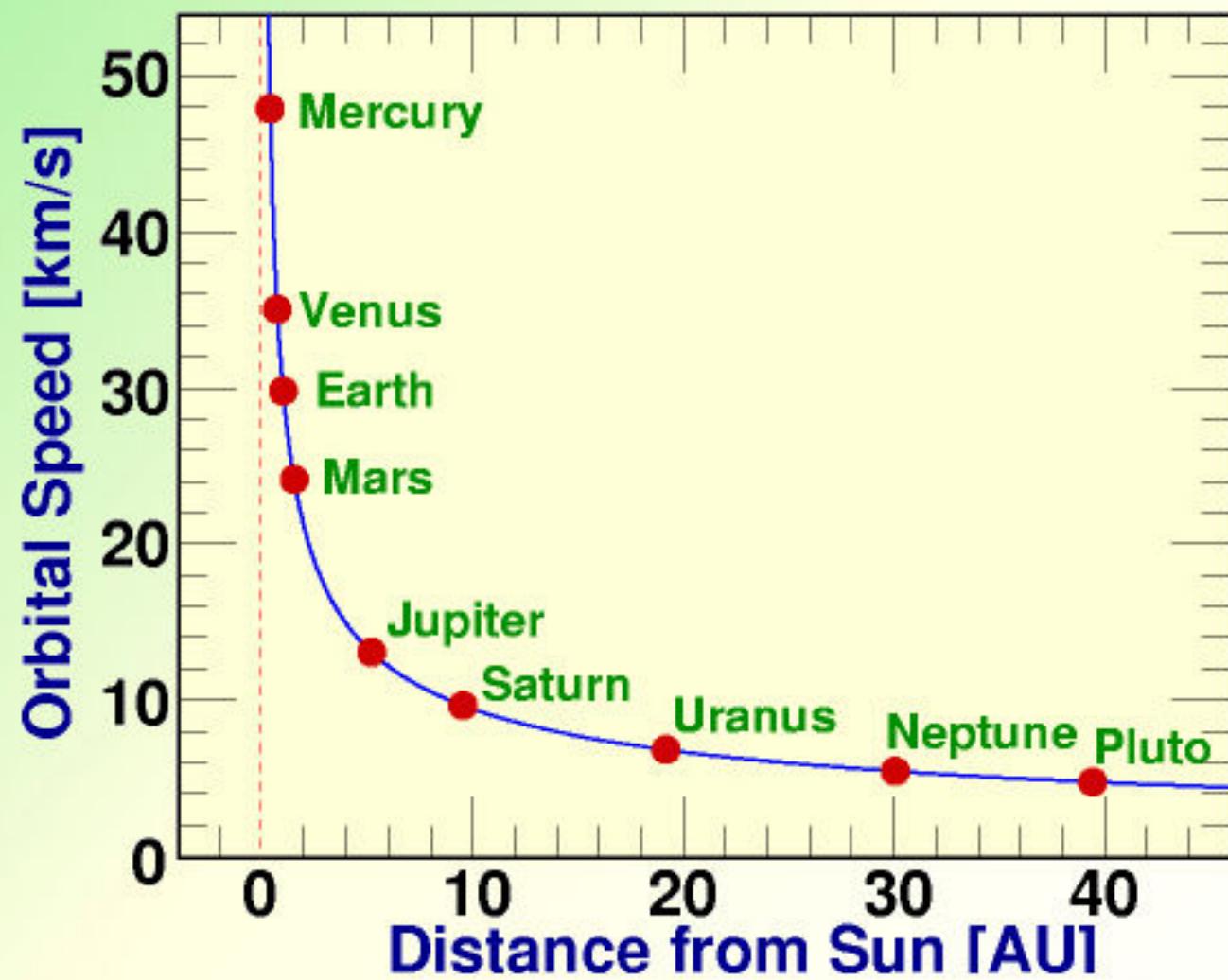
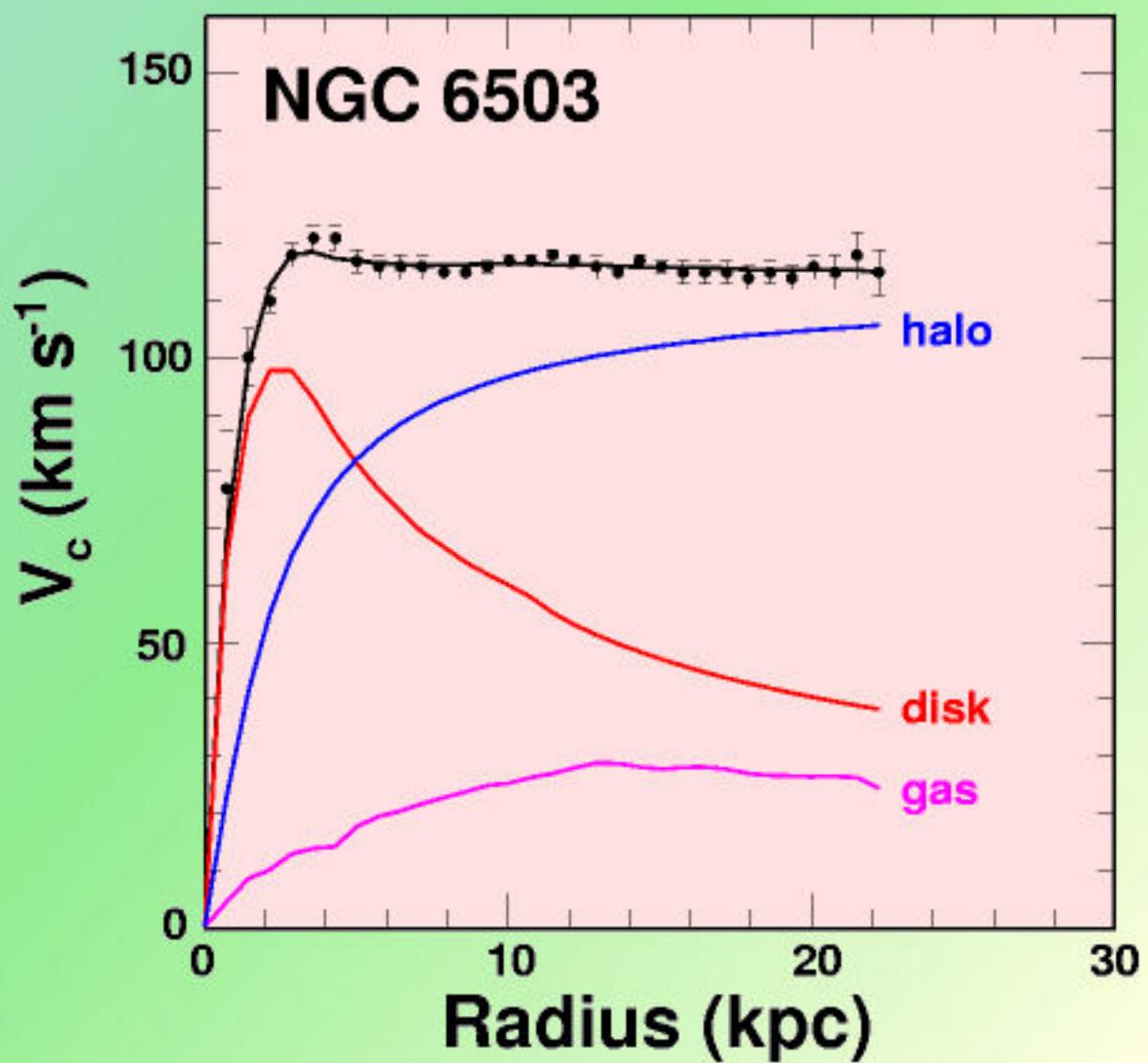
**El Modelo Estándar sigue OK,**

**PERO...**

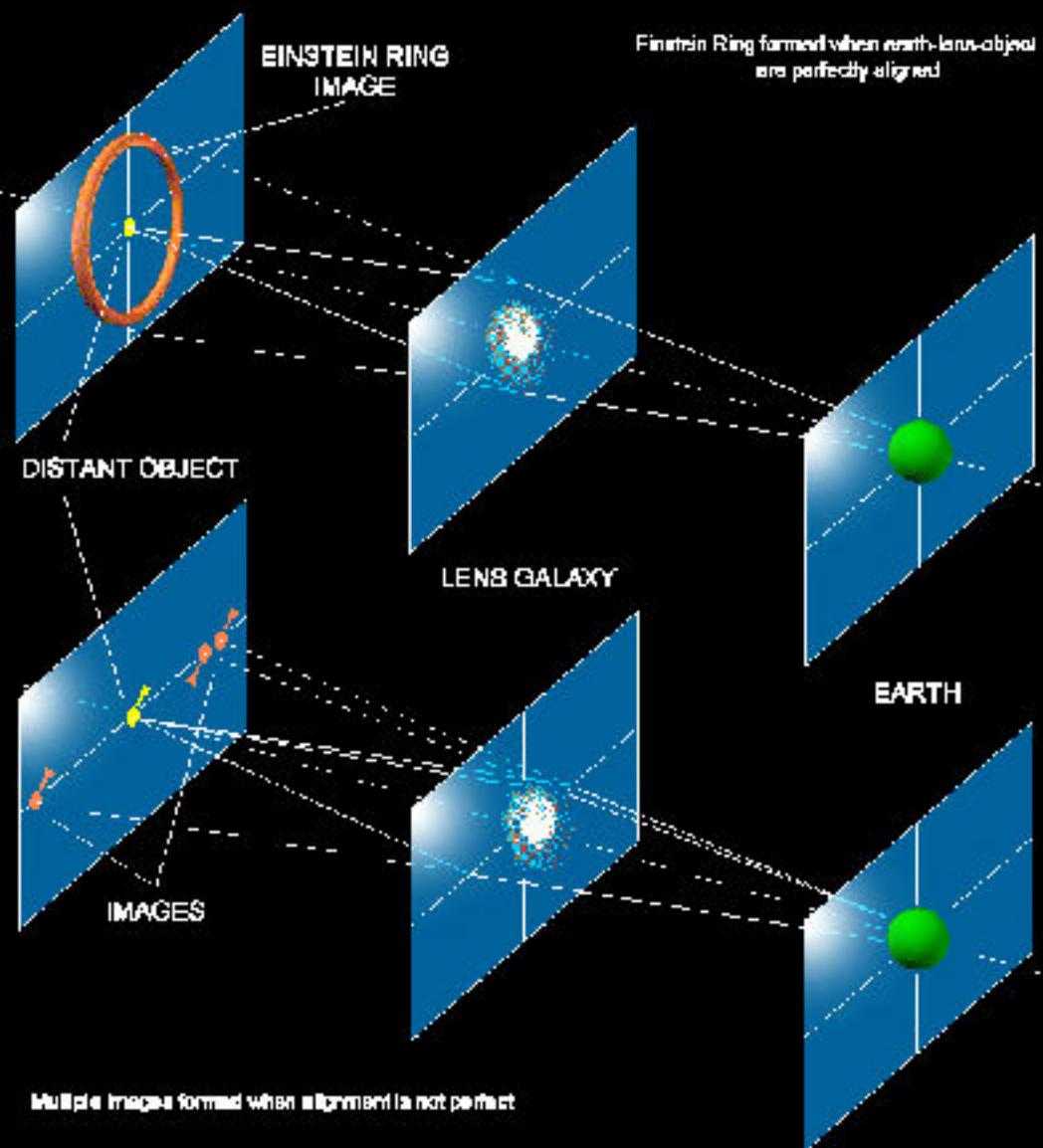
# MATERIA OSCURA NO BARIÓNICA (1998-2004)

Definitivamente más allá del modelo estándar  
(en todos los sentidos)

Evidencia de su existencia en muchos experimentos de muy diferentes tipos: distribución de materia a gran escala, radiación de rayos X en "clusters" de galaxias, curvas de rotación en galaxias espirales, lentes gravitacionales, radiación de fondo de microondas.



## Gravitational lensing



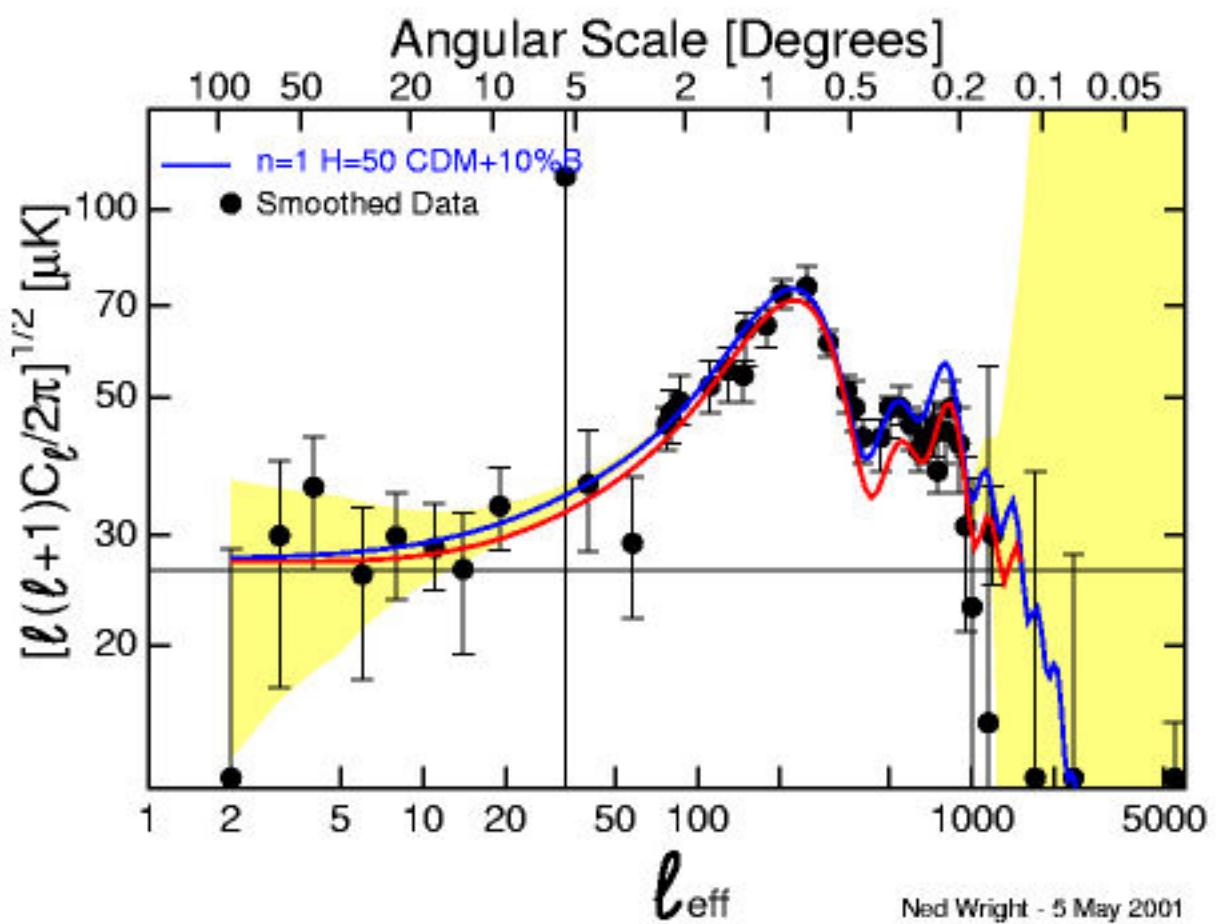
Se puede obtener la masa del objeto que actúa como lente gravitacional a partir de las distorsiones en la luz

## X ray clusters

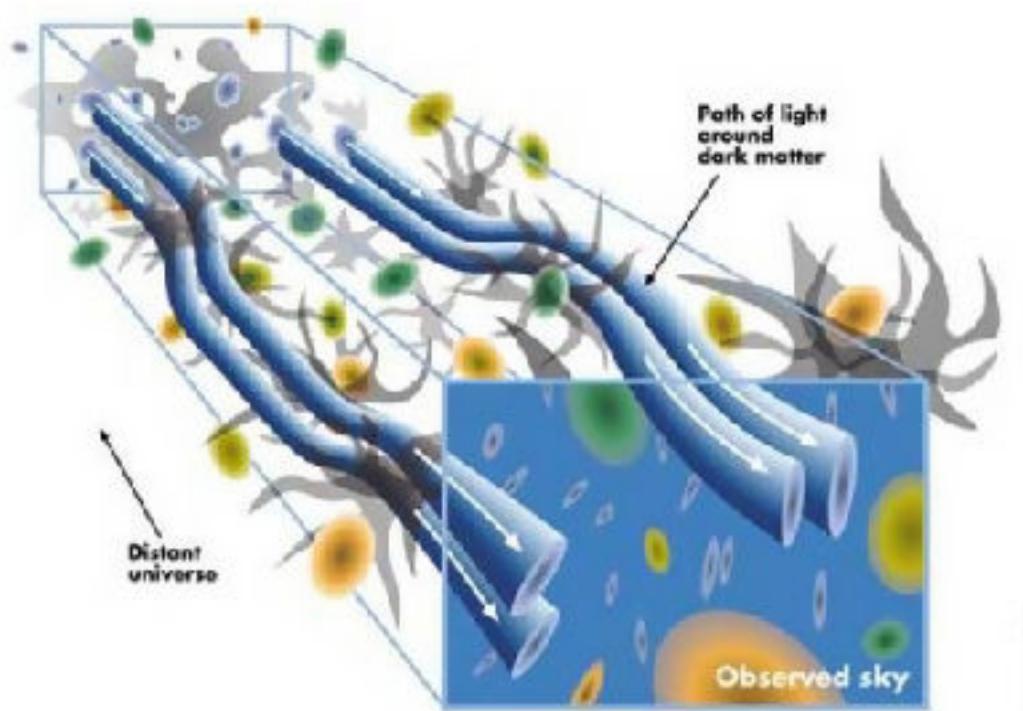


Las medidas de rayos X permiten obtener la temperatura del gas en las galaxias, y si la masa visible de éstas es suficiente para retenerlo

## Radiación de fondo



## Distribución de galaxias



*Estudios de precisión de la radiación de fondo  
El universo tiene geometría euclídea*

*Distribución de galaxias en el espacio  
Influída por la distribución de materia oscura*

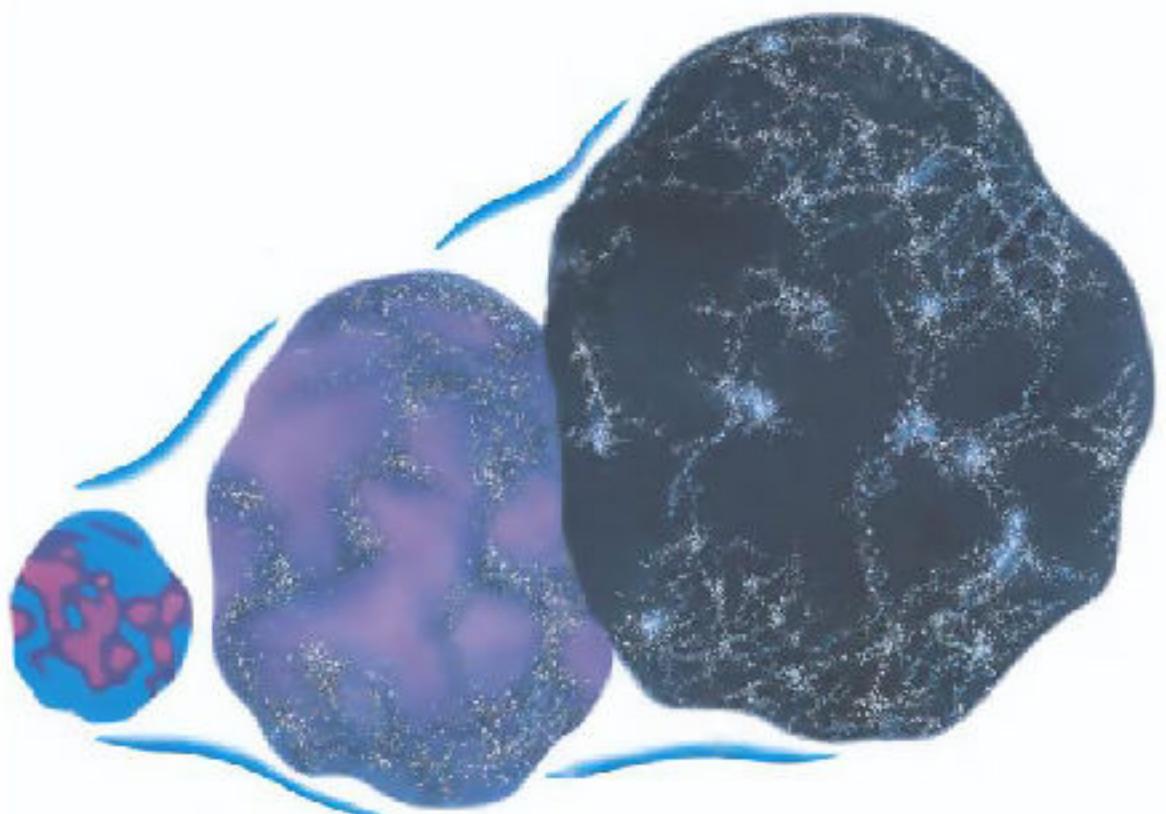
# MATERIA OSCURA NO BARIÓNICA (1998-2004)



Name	Neutrinos	WIMPs	MACHOs	Black holes
What they are	Subatomic relatives of the electron that have no electrical charge and interact only weakly with ordinary matter	(Weakly interacting massive particles) Also known as cold dark matter	(Massive compact halo objects) Dim Jupiter-size planets or white dwarf stars made of ordinary matter	Objects with gravitational fields so intense that light cannot escape from them
Pros	Known to exist in great numbers	Existence is predicted by theories	The simplest theory	Strongly predicted by general relativity
Cons	May have no mass, cannot account for existing cosmic structure	Are hypothetical	So many would be required that it seems unlikely that all the dark matter could be made of them	Their presence in such abundance should have been detected already

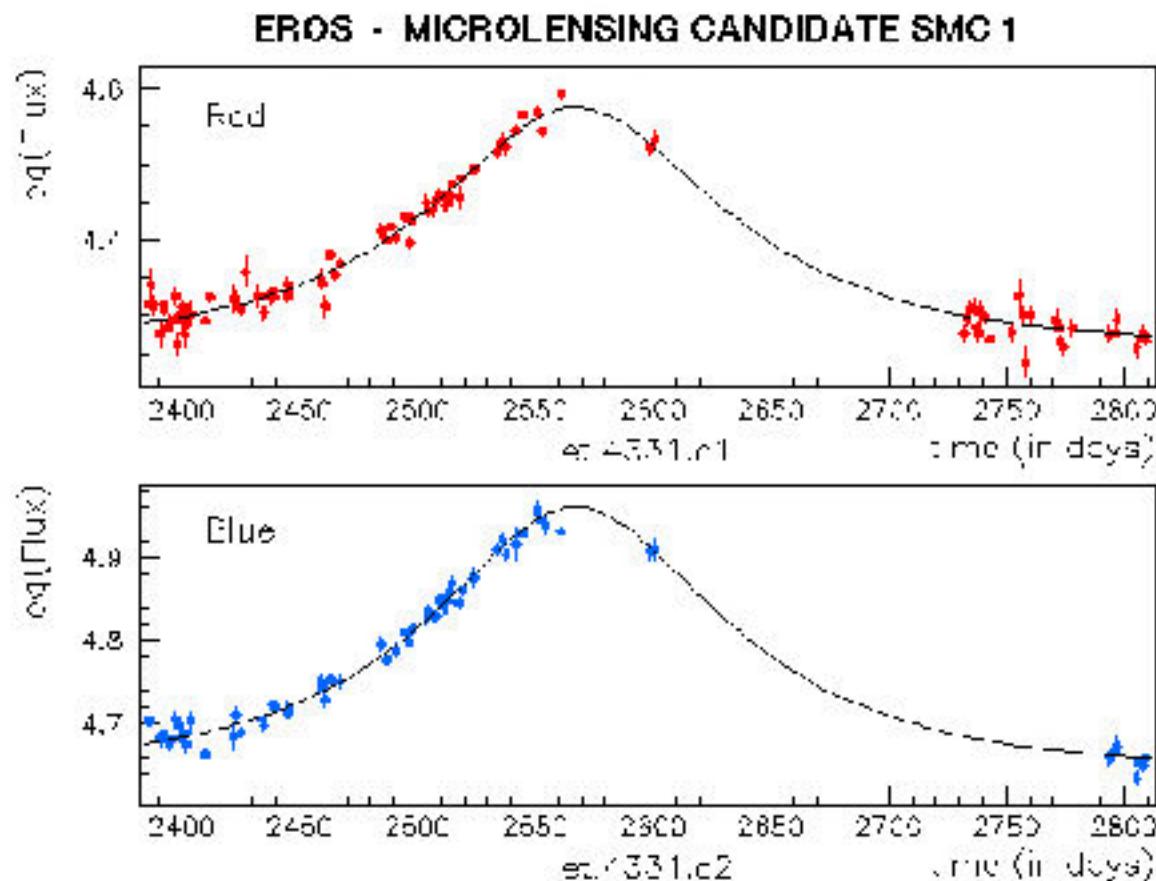
- Los neutrinos no son suficientes (aunque tengan masa): Formación de estructuras
- La cantidad de MACHOs y agujeros negros en los halos galácticos es demasiado pequeña (experimentos MACHO y EROS)
  - La materia oscura es fría : WIMPs

## Formación de estructuras



**El tipo de materia oscura condiciona la formación de estructuras, de las más grandes a las más pequeñas o viceversa**

## Microlentes



**Cuando un MACHO pasa por delante de una estrella, aumenta su luminosidad por efecto lente gravitatoria. Así se puede medir la cantidad de MACHOs en el halo de la galaxia.**

## MATERIA OSCURA NO BARIÓNICA

---

**La existencia de la materia oscura implica física más allá del Model Estándar.**

**Hay al menos una partícula que dicha teoría no incluye, la que forma la materia oscura.**

**Partícula de muy alta masa que interacciona de forma muy débil.**

**EL Modelo Estándar NO ES COMPLETO.**

---

**PERO...**

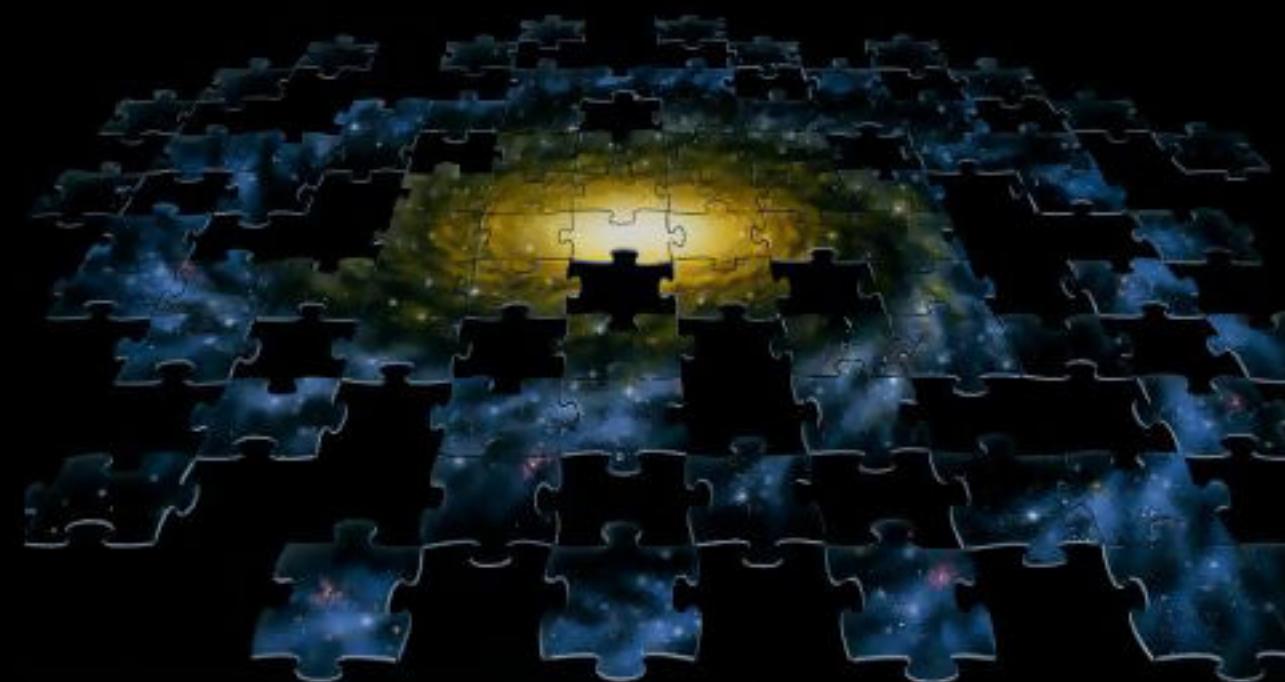
---

**La gran sorpresa de la cosmología contemporánea**

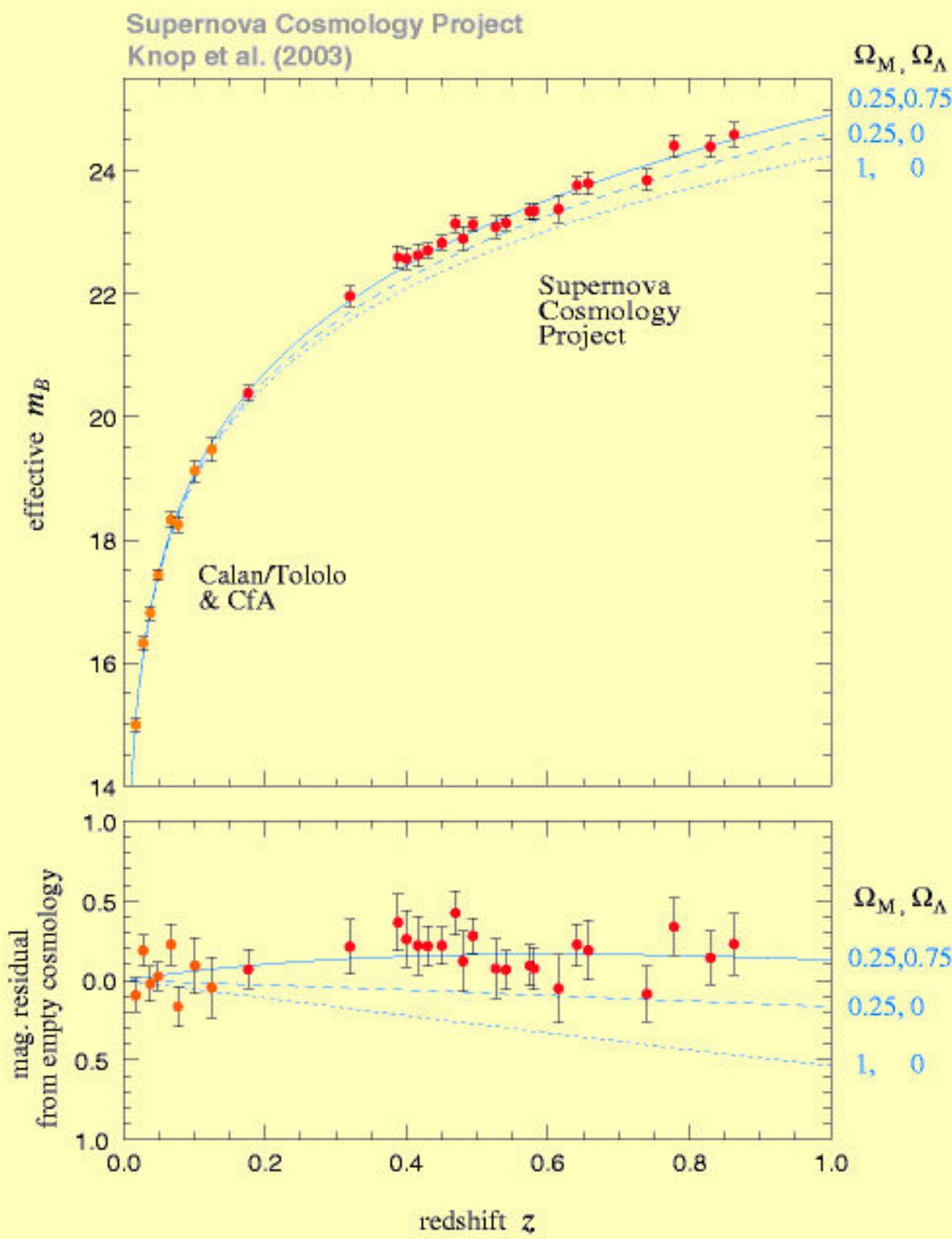
**Un campo que no está en el Modelo Estándar y  
que nadie esperaba que existiera**

## **Problema de la constante cosmológica**

**(desacuerdo con el Modelo Estándar de 120 órdenes de magnitud,  
el problema se hace aun más difícil si no es cero sino muy pequeña)**



# ENERGÍA OSCURA



Descubierta analizando supernovas tipo 1a (Supernova Cosmology Project, High z Supernova Team)

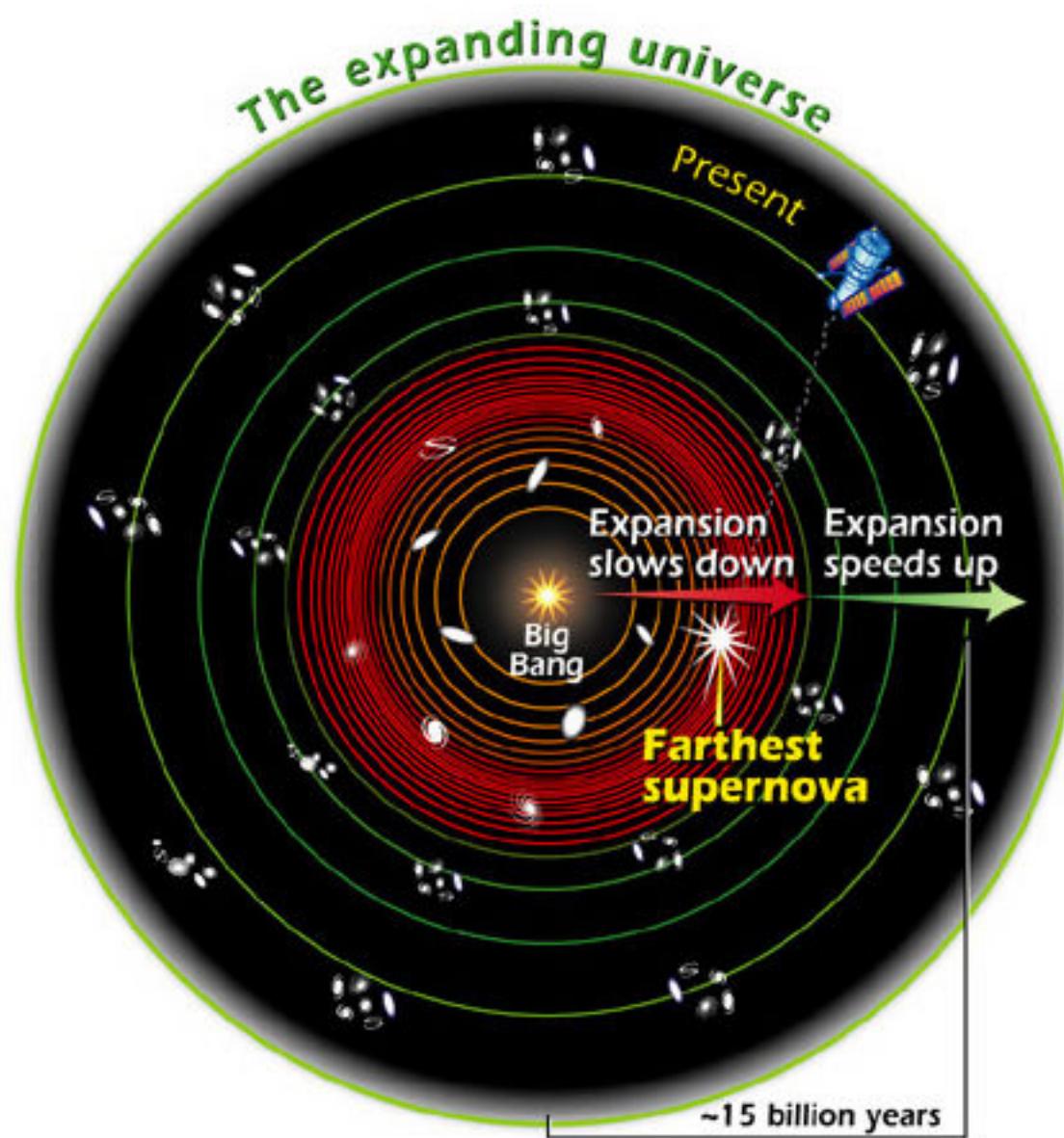
Estas supernovas son "candelas estándar"

Su distancia se puede medir si se mide su intensidad

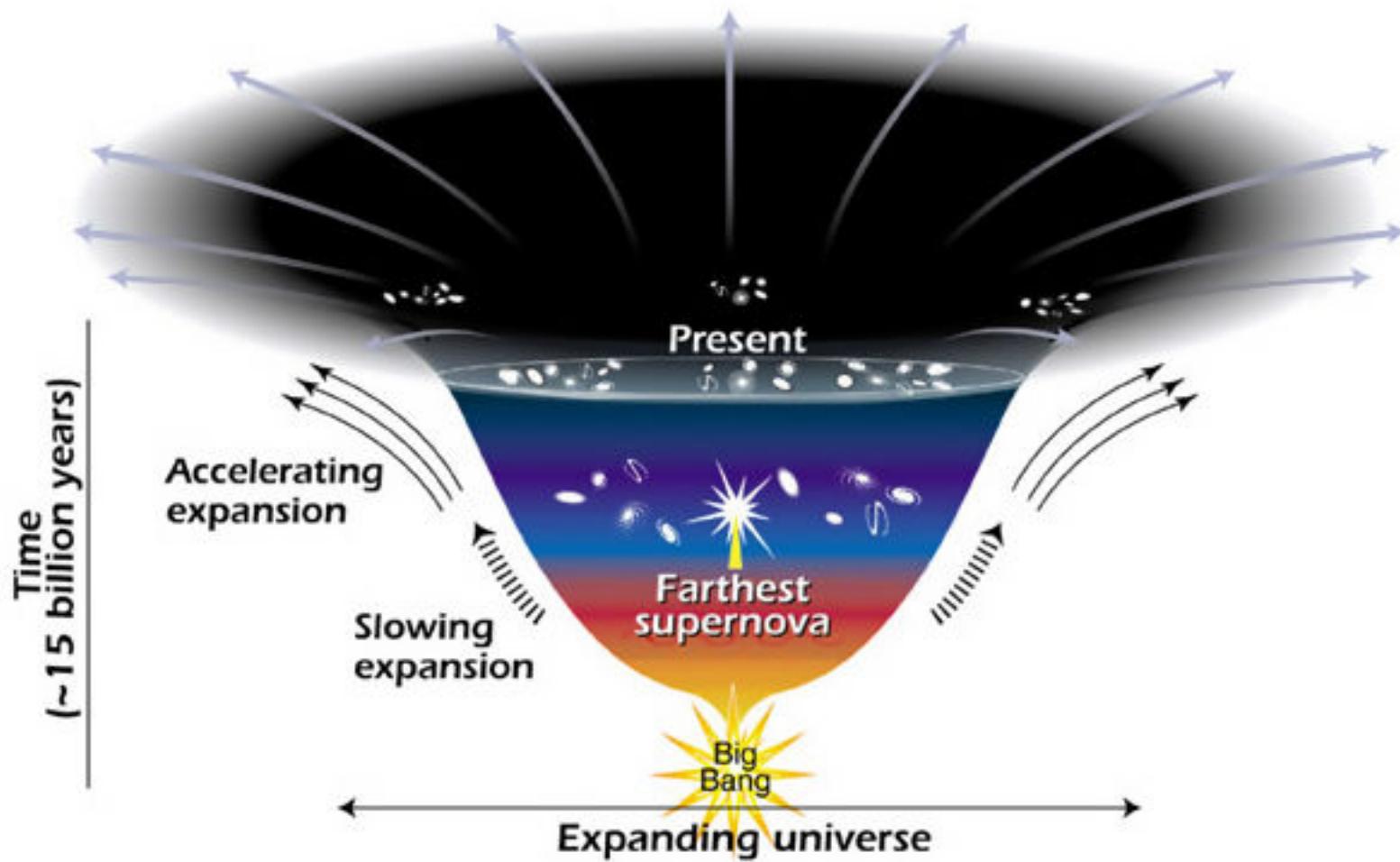
Están más lejos de lo que se espera según la teoría habitual del "Big Bang"

Hay algún tipo de efecto que produce una aceleración inesperada de la expansión del universo

Este efecto lo produce algo que se ha dado en llamar ENERGÍA OSCURA



This diagram shows how the universe slowed down and then revved up since the Big Bang. The **concentric red circles** denote that galaxies are migrating apart at a slower rate during the first half of the cosmos. Then a mysterious, dark force overcame gravity and began pushing galaxies apart at an ever-faster rate, signified by the **green circles**. Astronomers found evidence of the universe's deceleration when they observed the farthest supernova ever seen, which detonated so long ago that the universe was still slowing down.



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

# ¿QUÉ ES LA ENERGÍA OSCURA?

## **NO SE SABE**

*Algunas ideas que se manejan como posibles identidades son*

**Constante cosmológica**

**La energía del vacío**

**Quintaesencia**

**Campo escalar que impregna el universo y evoluciona con el tiempo**

**Otras cosa (más extrañas)**

**El gas de Chaplygin**

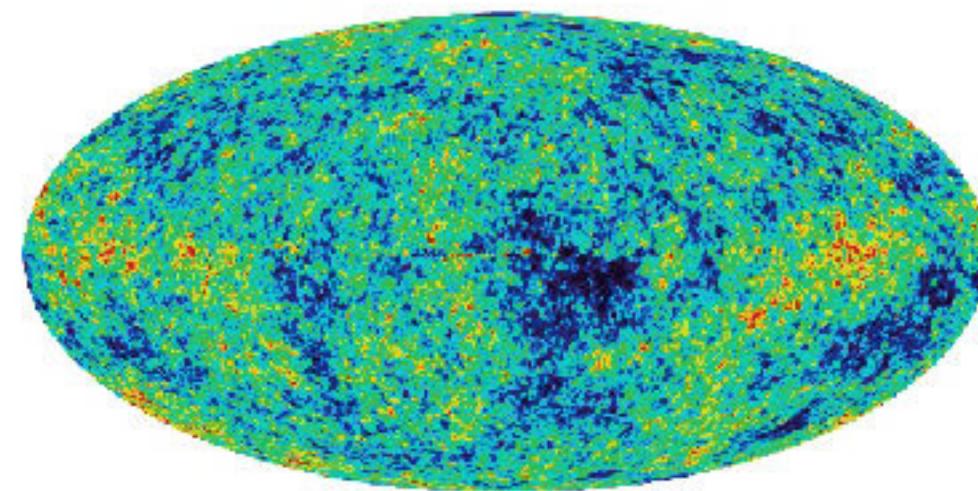
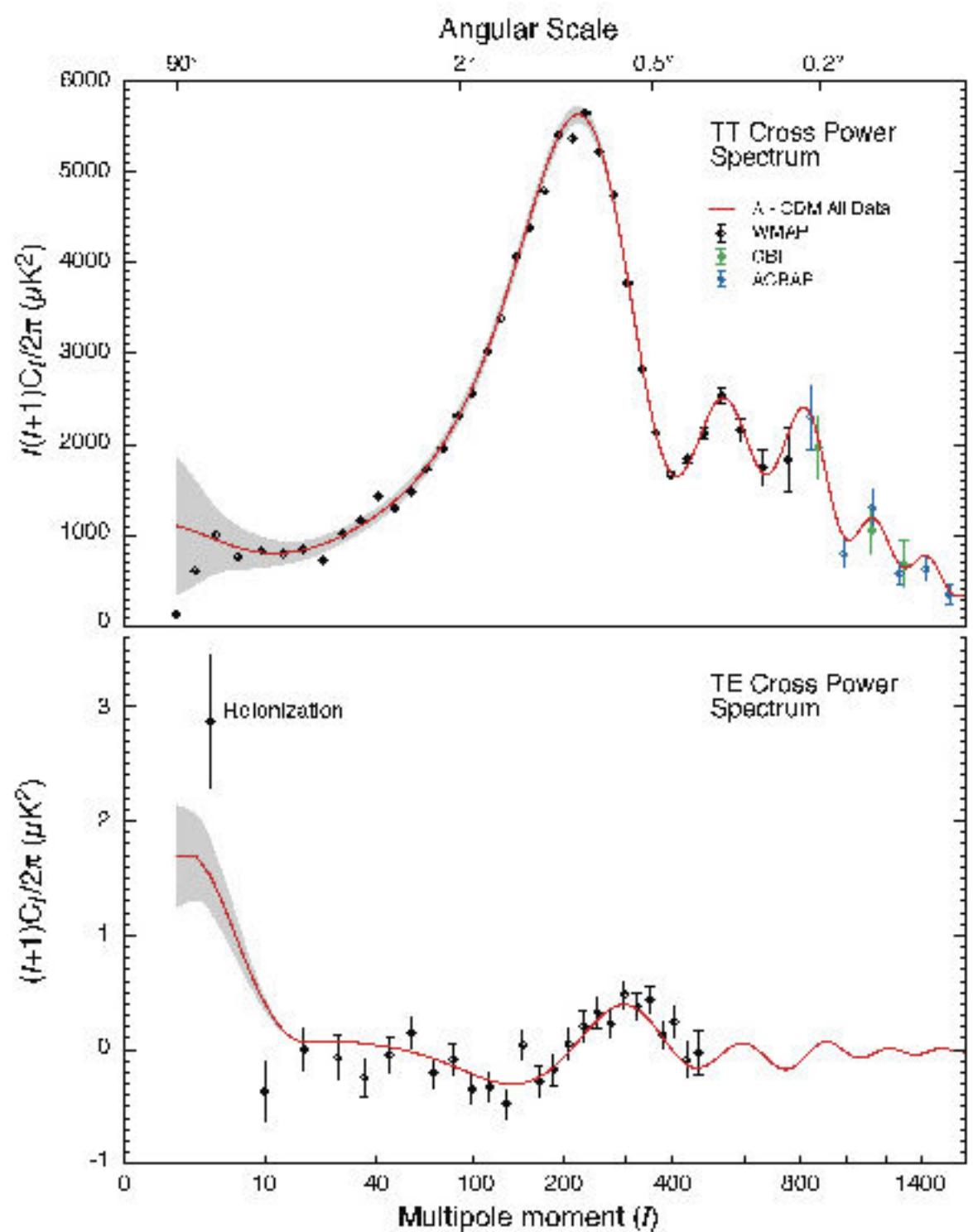
**Los universos brana**

**Los modelos Cardassianos (modificación de la relatividad general)**

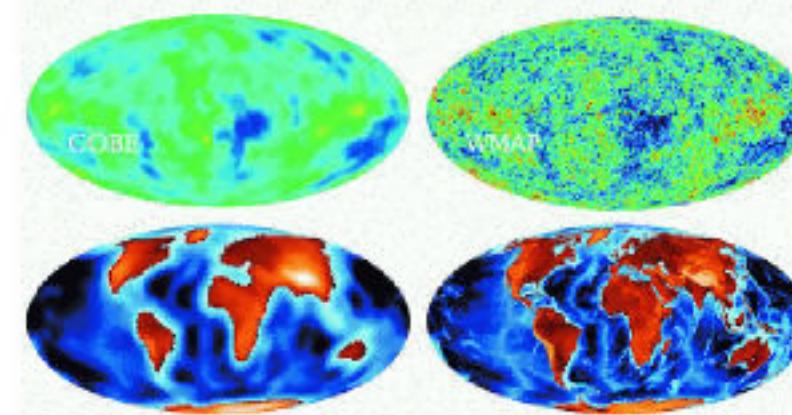
**La materia fantasma (y el "Big Rip")**

# LA NUEVA COSMOLOGÍA

**Modelo de concordancia: El modelo estándar de la cosmología  
Su piedra angular son las medidas de alta precisión de la radiación  
cósmica de fondo (satélite WMAP, 2003)**

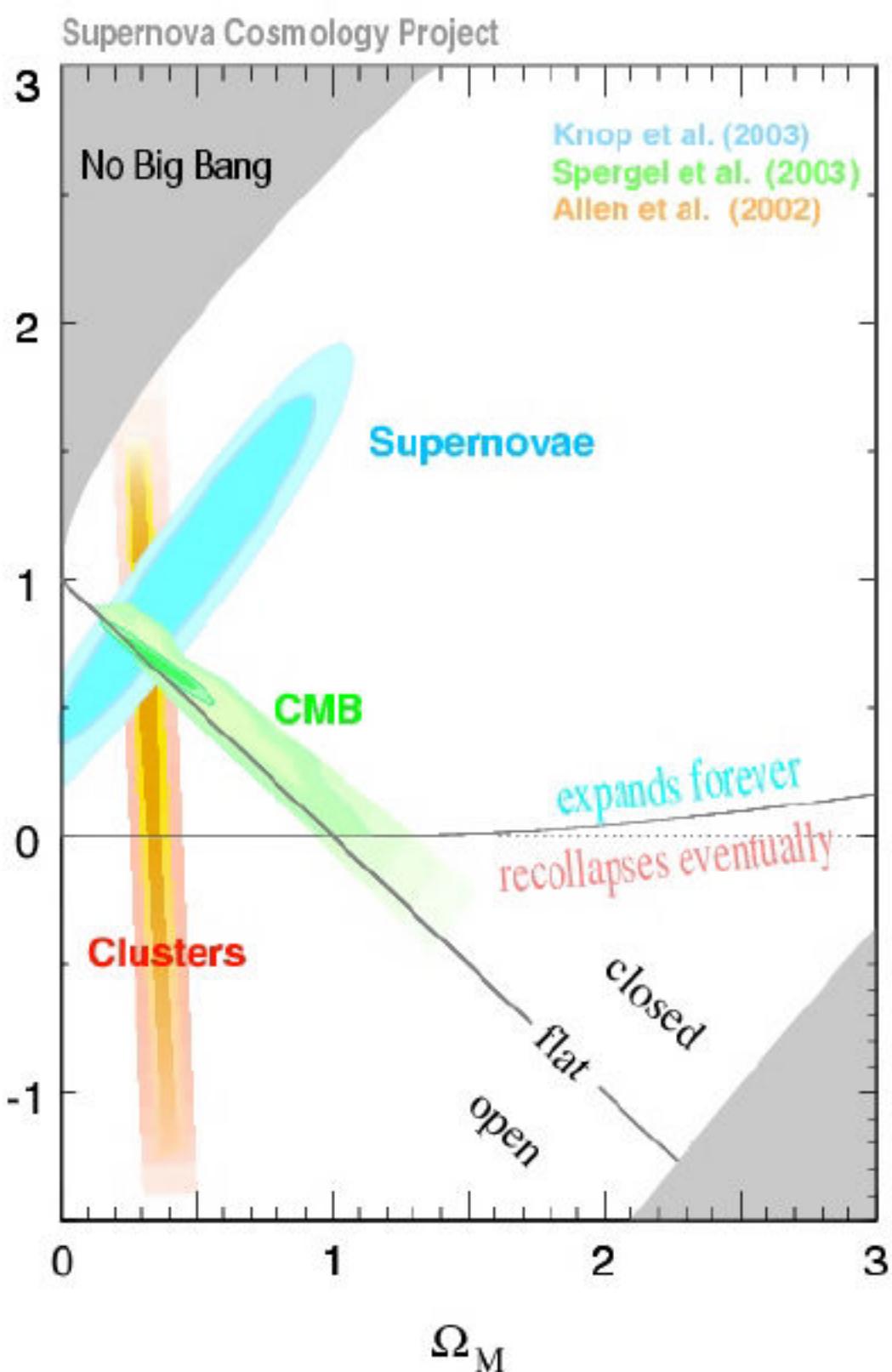


**Mejora muchísimo las medidas anteriores**



**Obtención de los parámetros  
cosmológicos con gran precisión:  
Confirma de forma definitiva el  
lado oscuro del universo**

# LA NUEVA COSMOLOGÍA



Todas las medidas cosmológicas están de acuerdo (supernovas, distribución de "clusters", radiación de fondo)

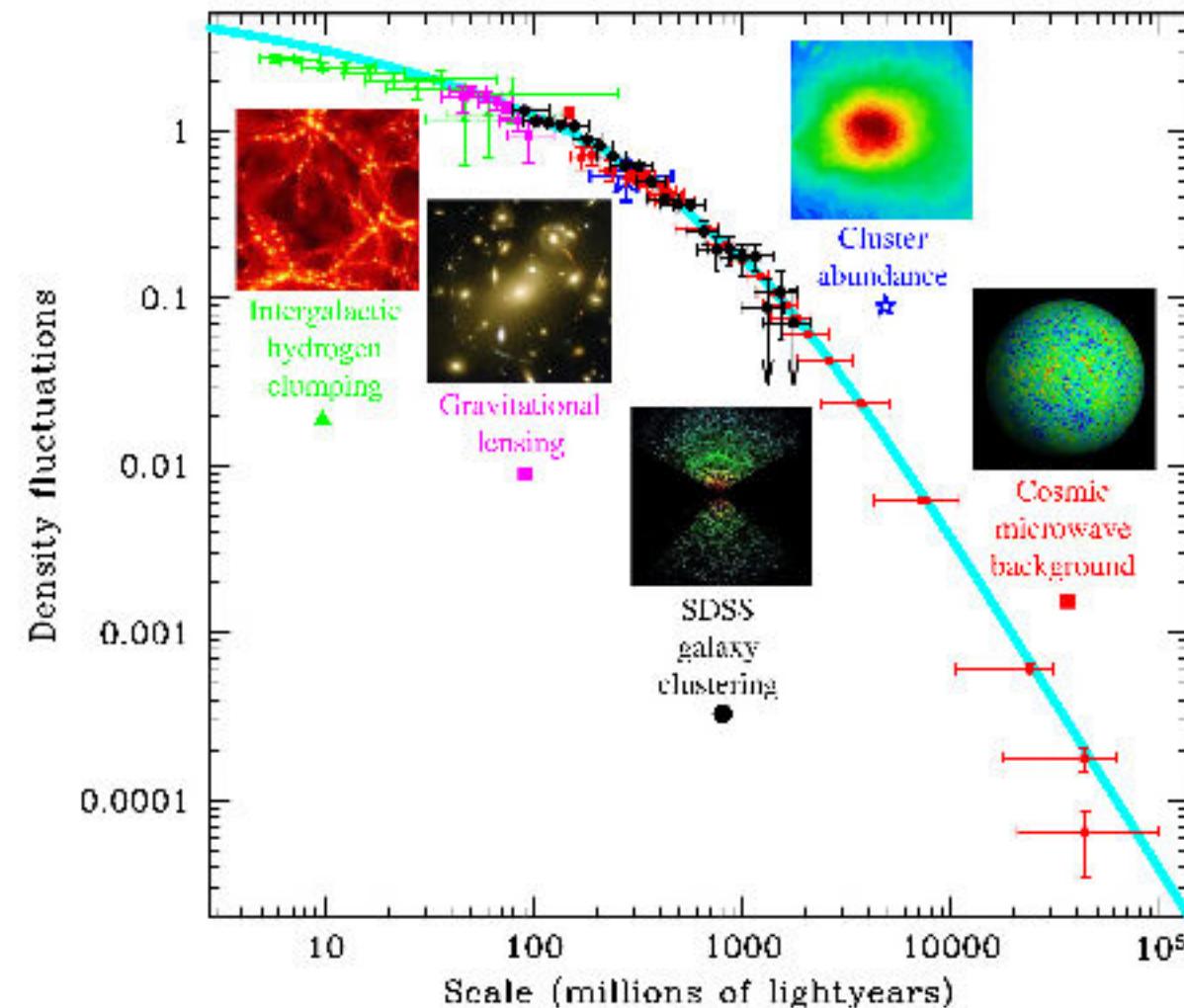
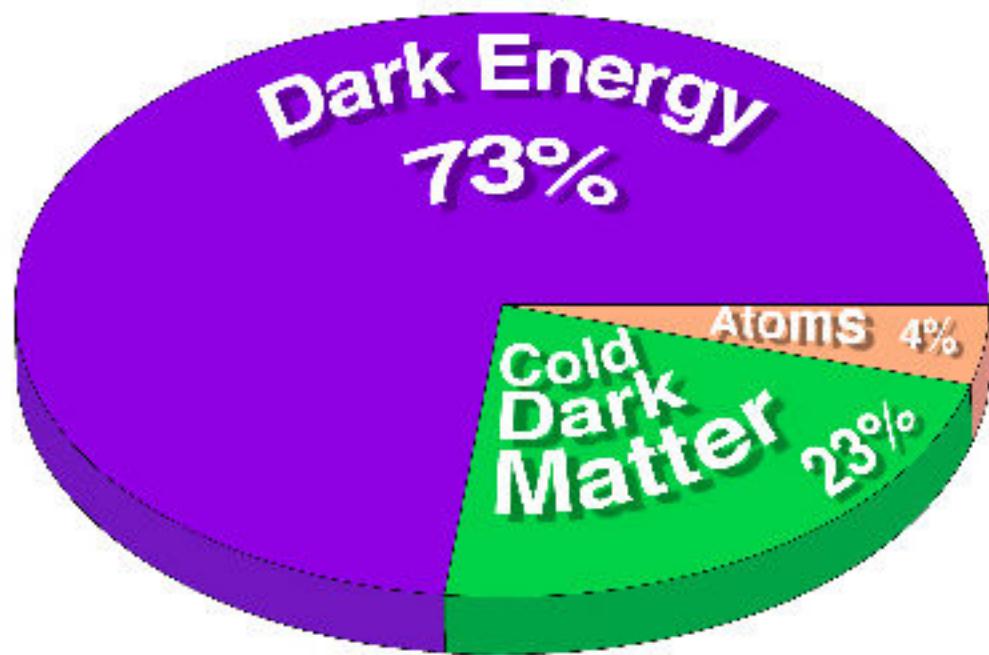
El modelo que las describe se ha dado en llamar "Modelo de Concordancia"

Hay nuevos resultados de este mismo año, de nuevas supernovas tipo 1a descubiertas con el telescopio espacial Hubble, que confirman estos resultados con más precisión.

La cosmología ha sufrido una revolución en los últimos 5 años.

## LA NUEVA COSMOLOGÍA

Perfecto acuerdo con los datos, pero situación diferente al Modelo Estándar de partículas. Del modelo cosmológico no se conocen los fundamentos últimos.



Por primera vez se tiene un inventario completo de la composición del cosmos.

# LA NUEVA COSMOLOGÍA

Universo homogéneo e isótropo, Relatividad general -> Universo FRWL  
 Métrica euclídea, Energía oscura + materia oscura + materia ordinaria

## Old Universe – *New* Numbers

$$\Omega_{\text{tot}} = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$$

$$w < -0.78 \text{ (95% CL)}$$

$$\Omega_{\Lambda} = 0.73^{+0.04}_{-0.04}$$

$$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$$

$$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$$

$$n_b = 2.5 \times 10^{-7} {}^{+0.1 \times 10^{-7}}_{-0.1 \times 10^{-7}} \text{ cm}^{-3}$$

$$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$$

$$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$$

$$\Omega_v h^2 < 0.0076 \text{ (95% CL)}$$

$$m_v < 0.23 \text{ eV (95% CL)}$$

$$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002} \text{ K}$$

$$n_\gamma = 410.4^{+0.9}_{-0.9} \text{ cm}^{-3}$$

$$\eta = 6.1 \times 10^{-10} {}^{+0.3 \times 10^{-10}}_{-0.2 \times 10^{-10}}$$

$$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$$

$$\sigma_8 = 0.84^{+0.04}_{-0.04} \text{ Mpc}$$

$$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44^{+0.04}_{-0.05}$$

$$A = 0.833^{+0.086}_{-0.083}$$

$$n_s = 0.93^{+0.03}_{-0.03}$$

$$dn_s/d \ln k = -0.031^{+0.016}_{-0.018}$$

$$r < 0.71 \text{ (95% CL)}$$

$$z_{\text{dec}} = 1089^{+1}_{-1}$$

$$\Delta z_{\text{dec}} = 195^{+2}_{-2}$$

$$h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$$

$$t_0 = 13.7^{+0.2}_{-0.2} \text{ Gyr}$$

$$t_{\text{dec}} = 379^{+8}_{-7} \text{ kyr}$$

$$t_r = 180^{+220}_{-80} \text{ Myr (95% CL)}$$

$$\Delta t_{\text{dec}} = 118^{+3}_{-2} \text{ kyr}$$

$$z_{\text{eq}} = 3233^{+194}_{-210}$$

$$\tau = 0.17^{+0.04}_{-0.04}$$

$$z_r = 20^{+10}_{-9} \text{ (95% CL)}$$

$$\theta_A = 0.598^{+0.002}_{-0.002}$$

$$d_A = 14.0^{+0.2}_{-0.3} \text{ Gpc}$$

$$l_A = 301^{+1}_{-1}$$

$$r_s = 147^{+2}_{-2} \text{ Mpc}$$

Problemas comunes a física de partículas y cosmología:  
¿Por qué?

COSMOLOGÍA (relatividad general) -> OBJETOS MASIVOS  
FÍSICA DE PARTÍCULAS (teoría cuántica) -> OBJETOS PEQUEÑOS

En situaciones habituales nunca hay necesidad de utilizar las dos teorías juntas. Los objetos o bien son masivos o bien son pequeños, pero nunca ambas cosas.

PERO

El BIG BANG (el universo en sus primeros instantes) fue tanto masivo (masa completa del universo) como pequeño (puntual)

Ambas disciplinas están intimamente relacionadas

## **PROBLEMAS DEL MODELO DE CONCORDANCIA**

---

**¿Qué es la materia oscura?**

**Se sabe que está ahí, pero no su identidad. ¿Qué tipo de partícula es? No se sabe nada.**

**¿Qué es la energía oscura?**

**Se sabe menos que nada. No se tiene ninguna pista sobre su identidad, y sus propiedades (gravedad repulsiva) no se dan en ninguna otra situación física.**

**¿Qué ocurrió en los primerísimos instantes del universo?**

**¿Inflación?**

**Para avanzar en la descripción del inicio, es necesario conocer mejor la física de partículas.**

**La identidad del lado oscuro del universo está directamente relacionada con el comportamiento en los primerísimos instantes**

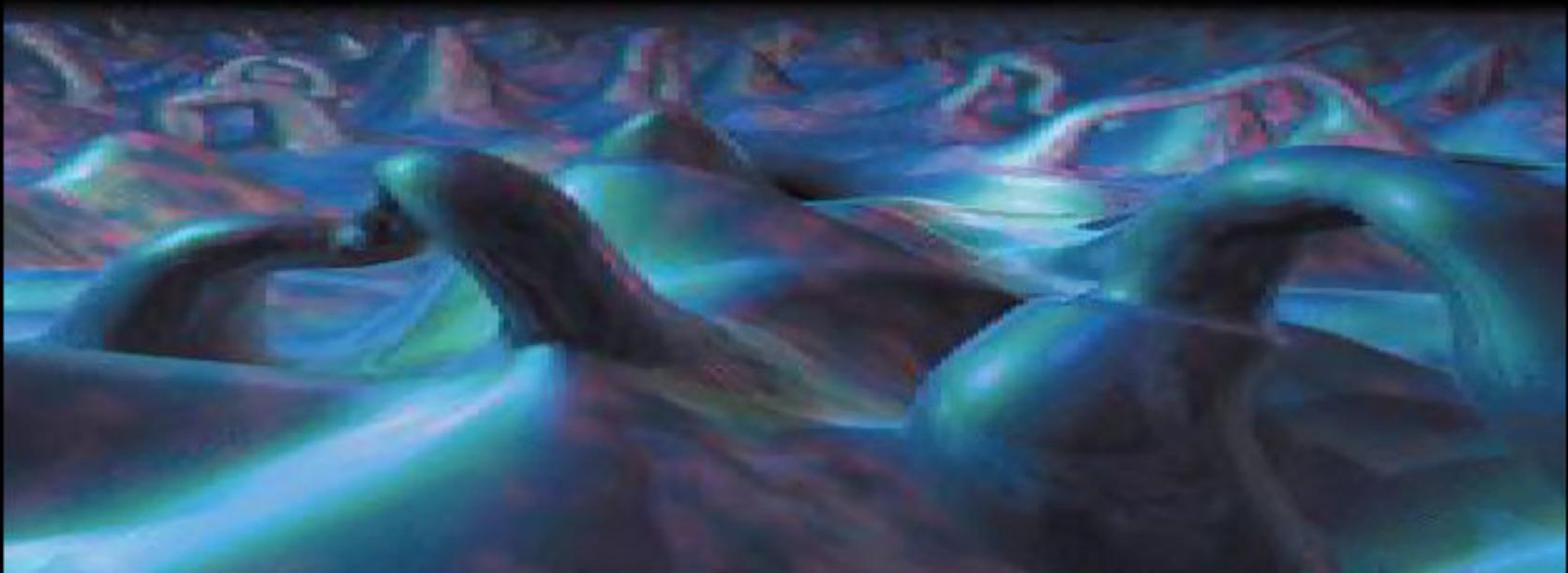
# PROBLEMAS COMUNES PARTÍCULAS-COSMOLOGÍA

El exitoso modelo estándar sólo describe un 5% del universo.

No estamos hechos de la misma materia que los cielos  
¿Volvemos a la edad media?

El resto es absolutamente desconocido.

Para ir más allá en la descripción del cosmos, se necesita extender la teoría.

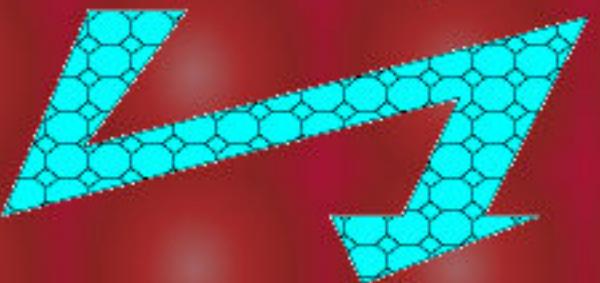


# POSIBLES EXTENSIONES (conocidas)

Desde el punto de vista de las partículas elementales

Escenarios tipo 1.- NO HAY HIGGS ELEMENTAL

Consecuencias: La rotura de simetría se debe a  
objetos compuestos o "condensates"  
(technicolor, compositeness...)



*Interacción fuerte  
en torno a  $\Lambda \sim 1 \text{ TeV}$*

Los bosones W,Z juega un papel parecido al de los piones en QCD, con una fenomenología similar

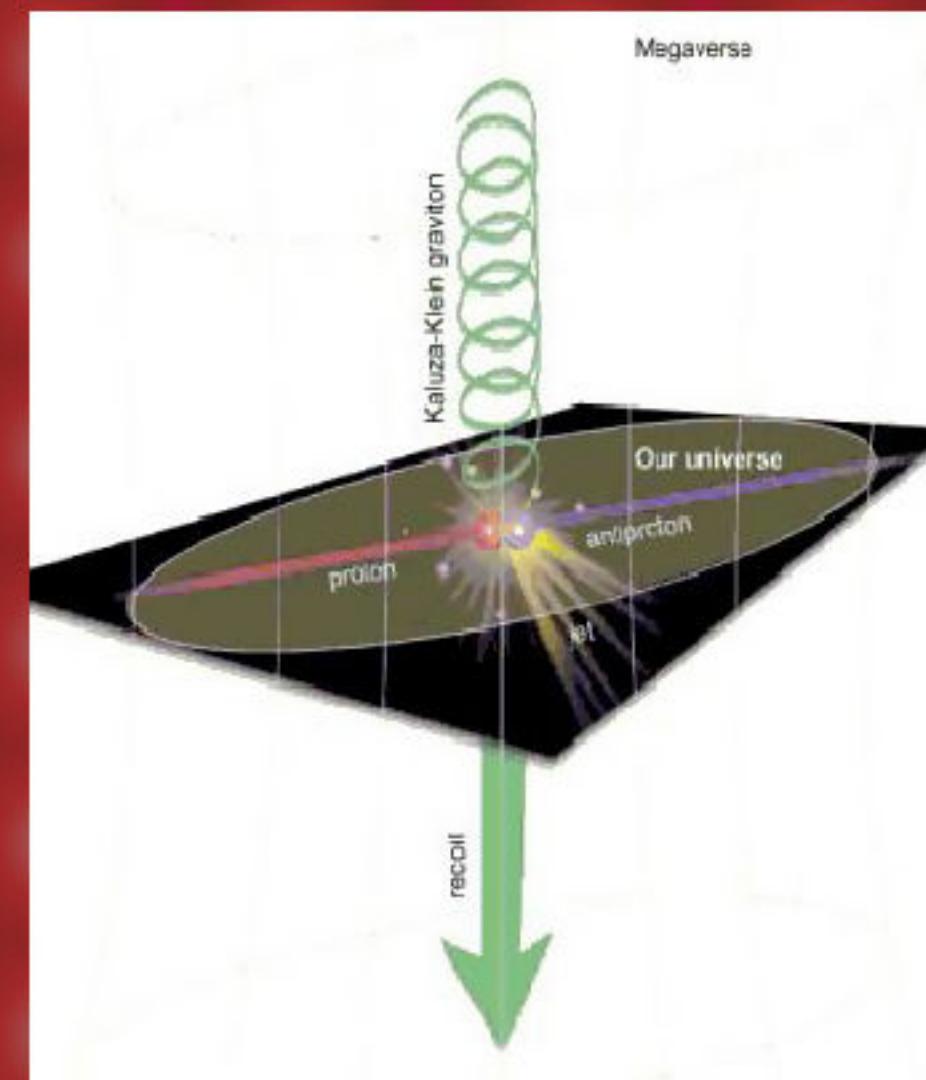
# POSIBLES EXTENSIONES (conocidas)

Escenarios tipo 2.- LA ÚNICA ESCALA FUNDAMENTAL EN LA NATURALEZA ES 1 TeV

DIMENSIONES EXTRA DEL ESPACIO QUE HACEN QUE LA VERDADERA ESCALA DE PLANCK SEA 1 TeV Y NO LA QUE SE OBSERVA EN 3+1 DIMENSIONES

Predicción fundamental:  
Nueva física en las dimensiones extra y gravitación cuántica a la escala de 1 TeV

Acceso experimental a la teoría M y de supercuerdas

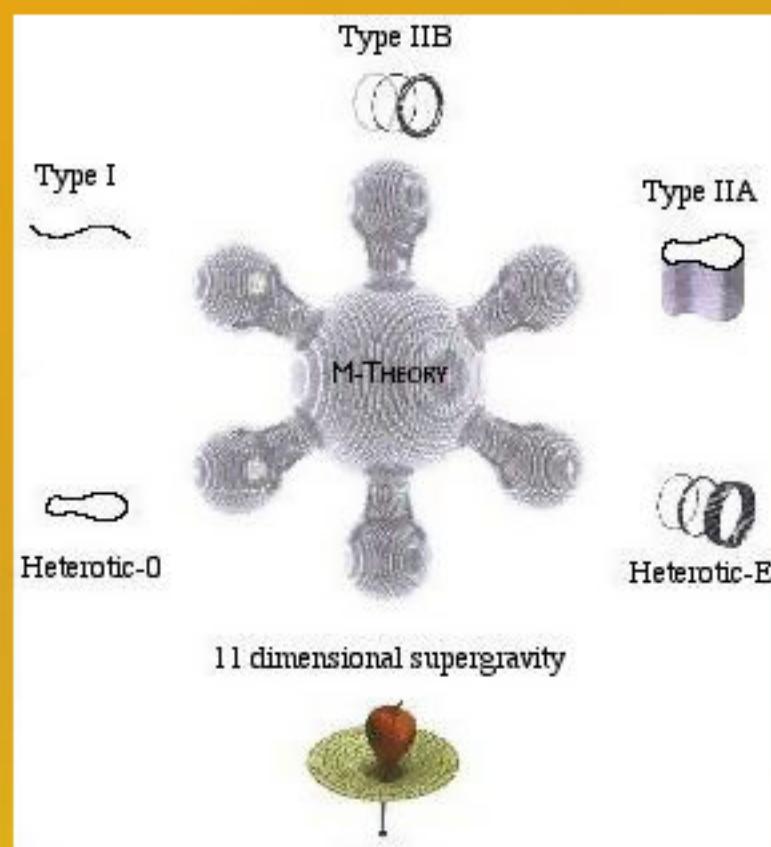


Estas teorías dan lugar a una serie de modelos cosmológicos:  
Universos brana, "ekpyrotic universes", universos pirotécnicos...

## La teoría M

Evolución de la teoría de supercuerdas

Una sola teoría M consistente es posible, y todas las teorías de cuerdas son aproximaciones en distintas circunstancias de la teoría M.



Universo de 11 dimensiones

Describe de forma unificada todas las fuerzas y partículas, incluyendo la gravedad.

Primera teoría consistente de la gravedad cuántica

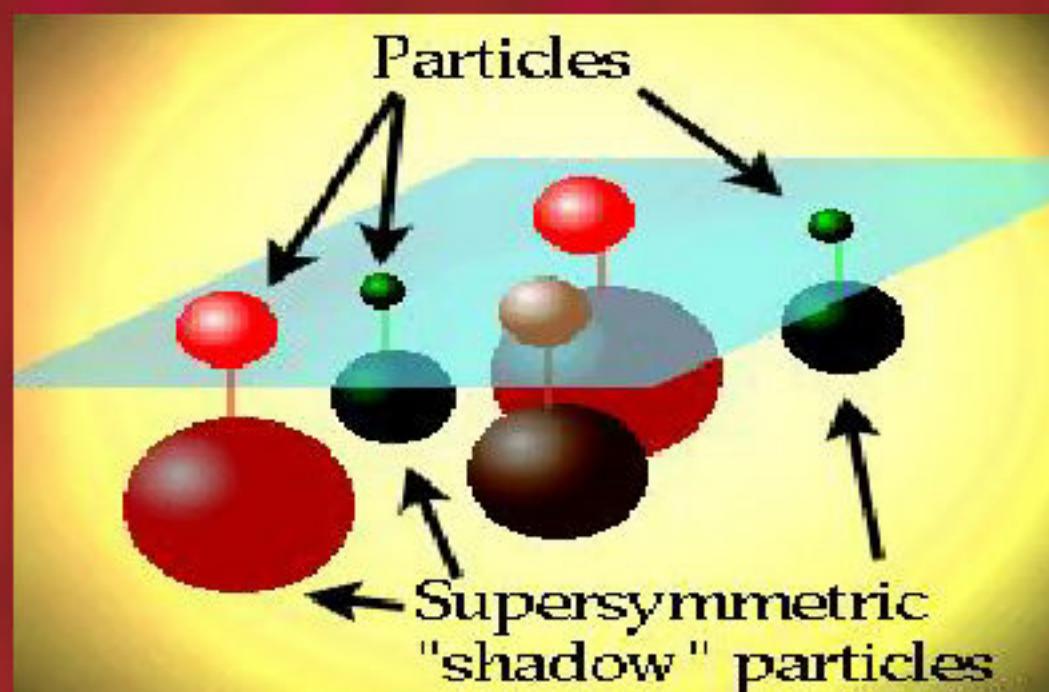
# POSIBLES EXTENSIONES (conocidas)

Escenarios tipo 3.- ES ABSOLUTAMENTE NATURAL  
QUE LAS MASAS DE LAS PARTÍCULAS  
SEAN PEQUEÑAS

Hay una simetría que protege las masas (también los escalares) de correcciones divergentes (SUSY o LITTLE HIGGS)

**Enorme cantidad de partículas nuevas (compañeras supersimétricas o compañeras del mismo espín) a la escala de 1 TeV**

**Estos modelos doblan el número de partículas elementales**



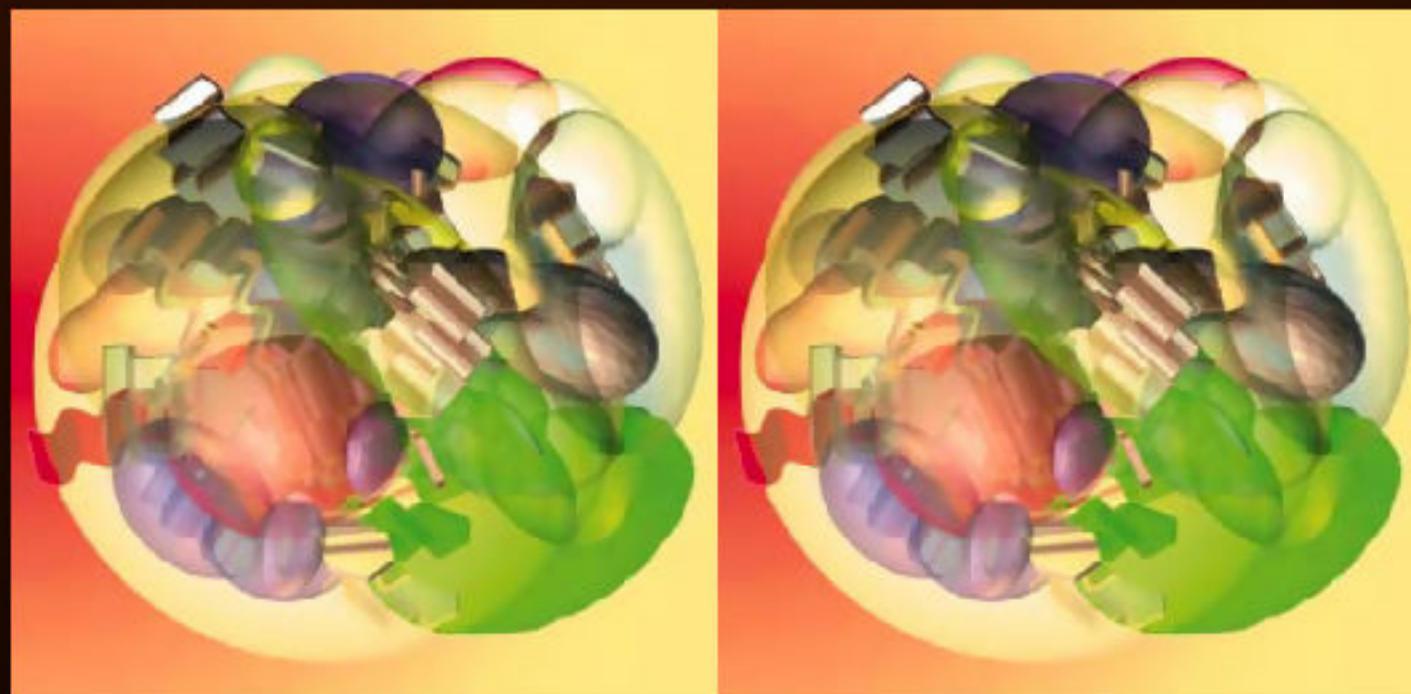
**Estas teorías proporcionan candidatos naturales a materia oscura:**

**La partícula supersimétrica mas ligera (LSP)**

**El candidato considerado de forma más natural es el neutralino, aunque puede haber otros**

**Además, están relacionadas con la hipotética fase inflacionaria de la expansión cósmica:**

**¿Se produjo la inflación durante la ruptura espontánea de la supersimetría?**



# Cómo estudiar estas posibilidades

Futuros colisionadores:

LHC

"Next Linear Collider"

Colisionador de muones

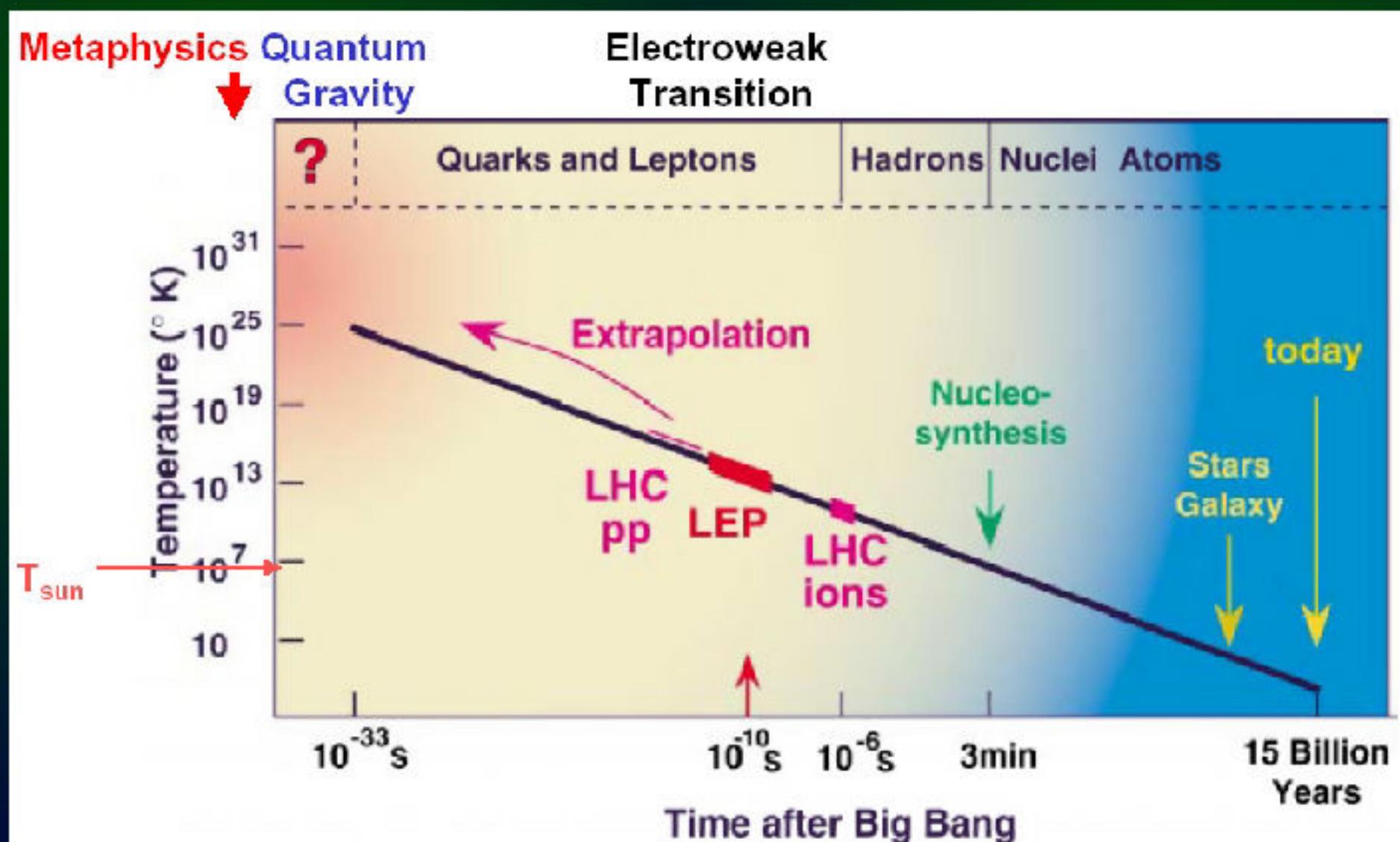
CLIC

Experimentos de astrofísica  
de partículas y cosmología:

PLANCK

SNAP

LISA





¿Demasiado ambicioso?



*human curiosity*

"La raza humana siempre ha querido mirar más allá del horizonte, para ver lo que hay allí... A cada lado nuestro, el Universo tiene estructura en escalas hasta del orden de miles de billones de billones de billones de veces más grandes o más pequeñas que la nuestra. Porque este rango no es completamente infinito, hay esperanza de que un día podamos entender completamente las estructuras del Universo, desde las más pequeñas hasta las más grandes que podamos conocer... La única cosa que parece ser ilimitada es el poder de la razón."

***Stephen Hawking***