



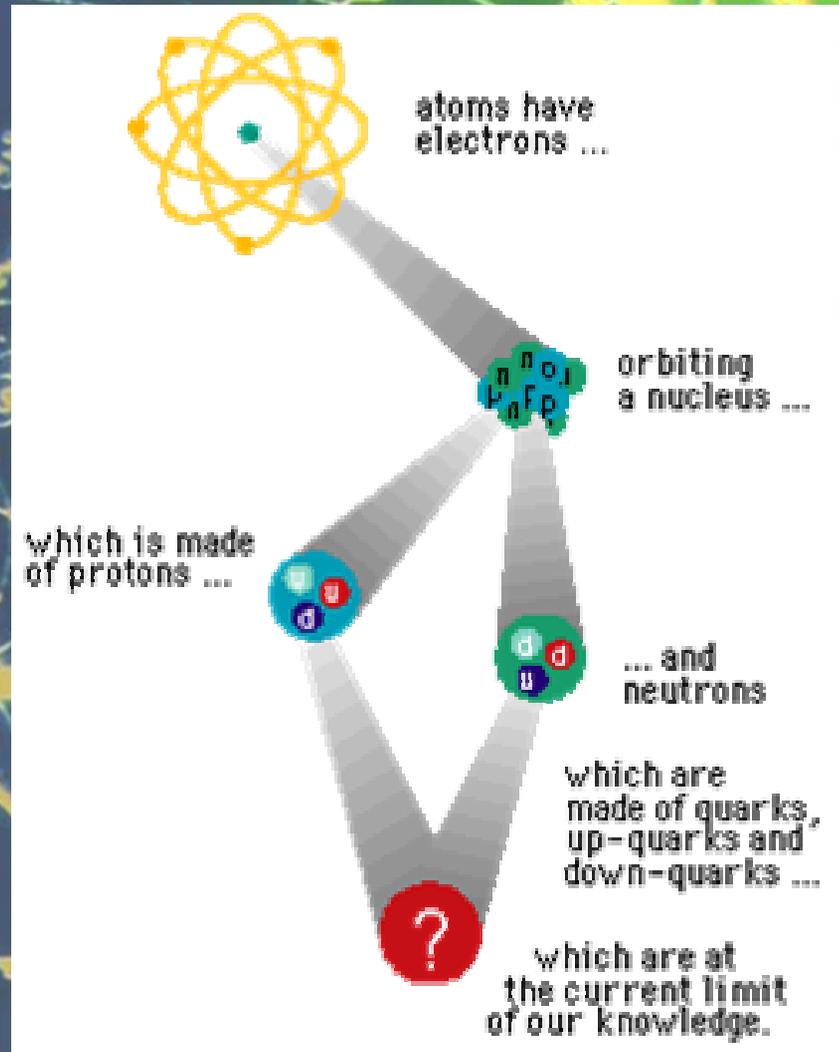
La Física de Partículas a Principios del Siglo XXI

Octubre 2004

John ELLIS

CERN, Ginebra , Suiza

Dentro de la Materia



Toda la materia está hecha de los mismos constituyentes

¿Cuáles son?
¿Cuáles son sus interacciones?

Resumen

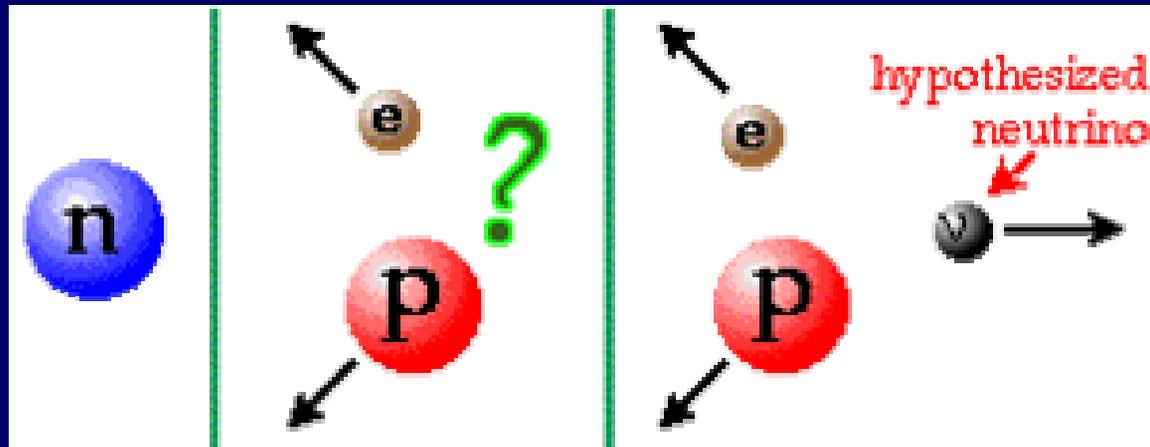
- Las partículas elementales
- El 'Modelo Estándar' de las partículas
- Las grandes preguntas para el futuro
- Las perspectivas para contestarlas
- El acelerador LHC
- Mas allá del LHC: ¿CLIC?

El Desarrollo de la Física de Partículas

1897 : El electrón descubierto por Thomson

1910 : El núcleo descubierto por Rutherford

1930 - 1932: Protón, neutrón (Chadwick), neutrino (Pauli)

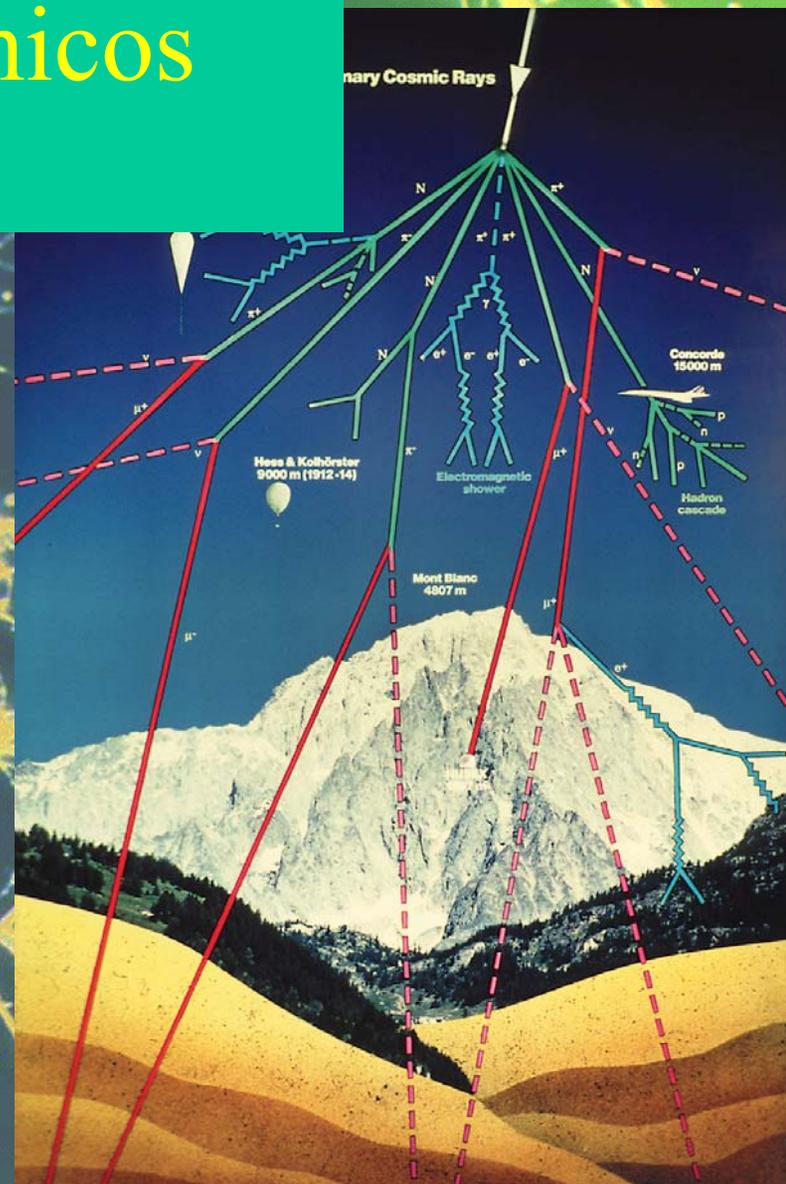


Desde los Rayos C3smicos hasta el CERN

Descubiertos hace un siglo ...



... los rayos
c3smicos
producen varios
tipos de
part3culas
elementales ...



El CERN fu3 establecido en 1954 para estudiar estas part3culas

Todos los Elementos ...

Periodic Table of the Elements

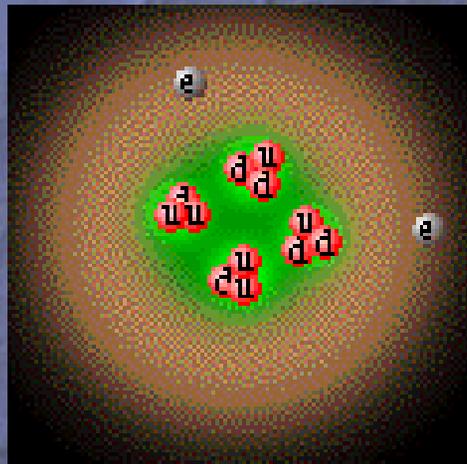
																						0			
																							2		
2	3	4																						He	
	Li	Be																						Ne	
3	11	12																						Ar	
			IIIB	IVB	VB	VIB	Ar																		
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						Kr	
	K	Ca	Sc	Ti	Y	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br								
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						Xe	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I								
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						Rn	
	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At								
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112													
	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112													

Naming conventions of new elements

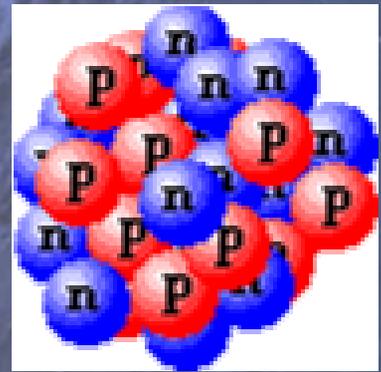
* Lanthanide Series
+ Actinide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

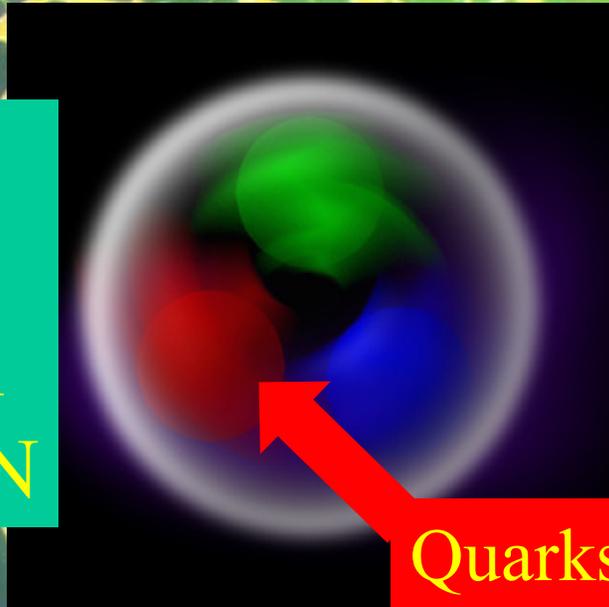
... están hechos de átomos ...



... cuyos núcleos contienen protones y neutrones ...

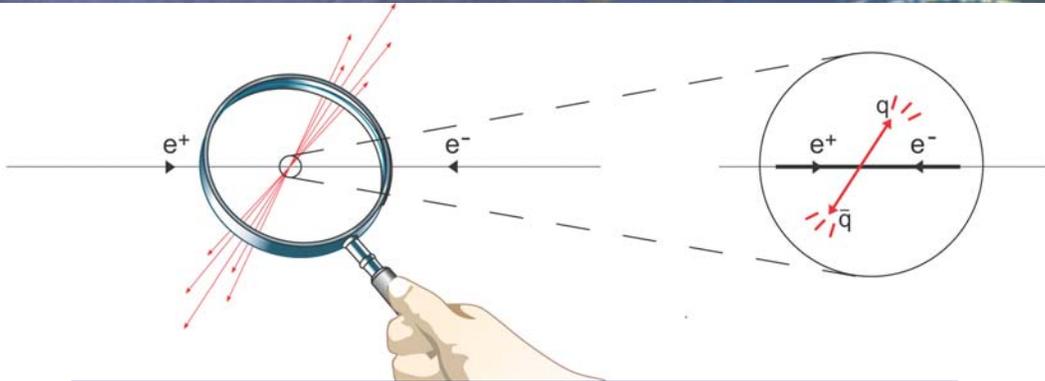


... sus estructuras se estudian en el CERN

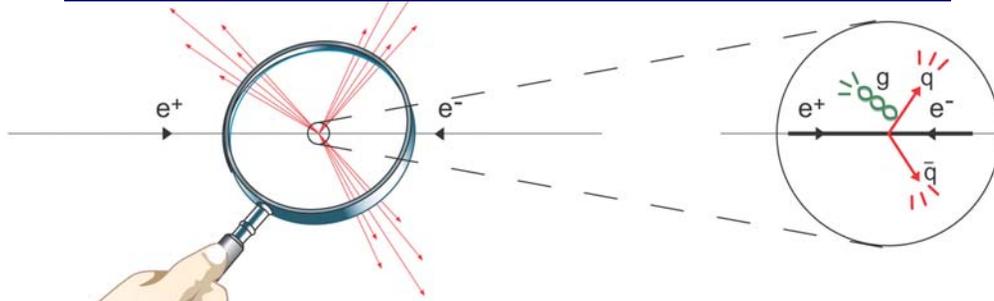


Quarks

Los Quarks y los Gluones



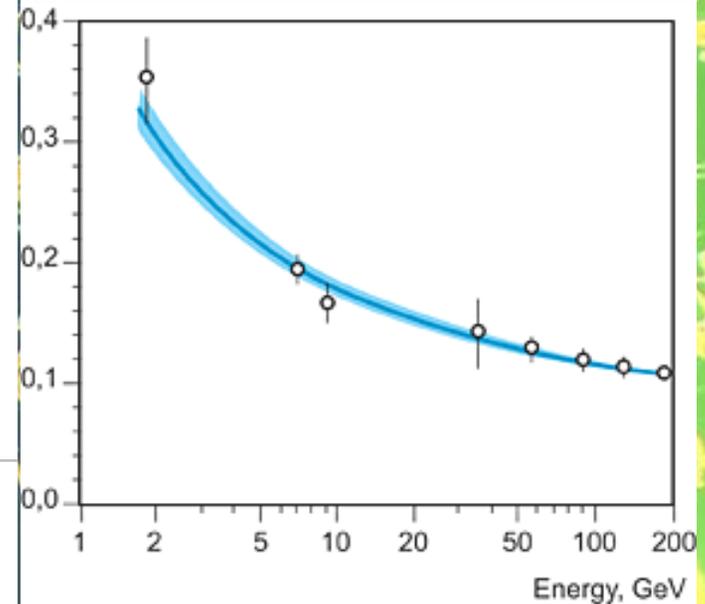
Actuando como microscopios,
los aceleradores revelaron los quarks ...



... mantenidos dentro de los protones y los neutrones
por gluones

Los gluones descubiertos en Hamburgo, 1979,
segun una propuesta de JE, Gaillard y Ross, 1976

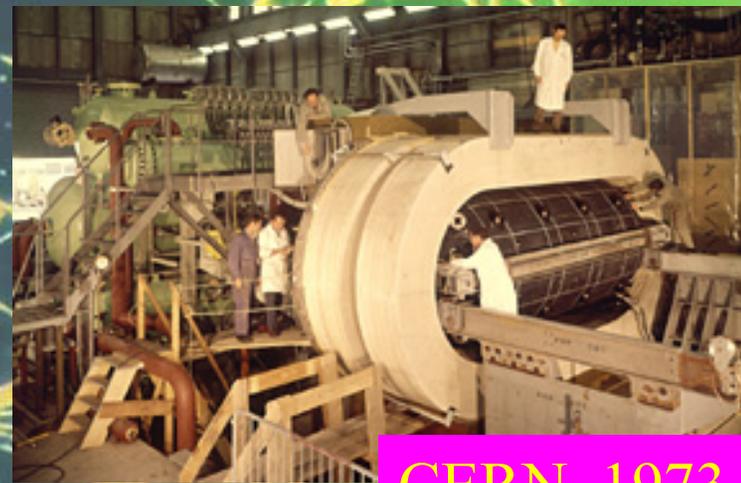
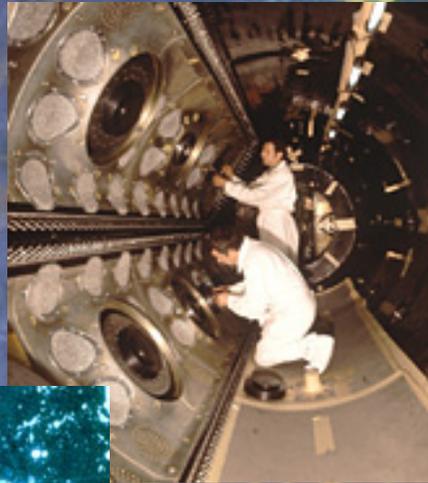
La fuerza nuclear fuerte
se debilita a altas energías ...



... así la unificación de todas las
fuerzas fundamentales se vuelve
posible a energías muy altas

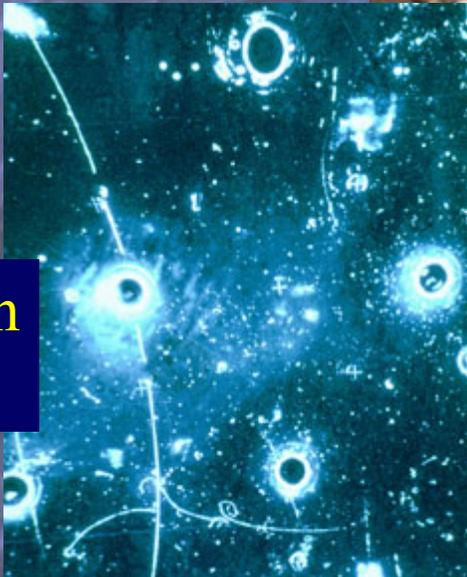
El Descubrimiento de las 'Corrientes Neutras' ...

Un nuevo tipo de
radioactividad ...
previsto en las
teorías unificadas

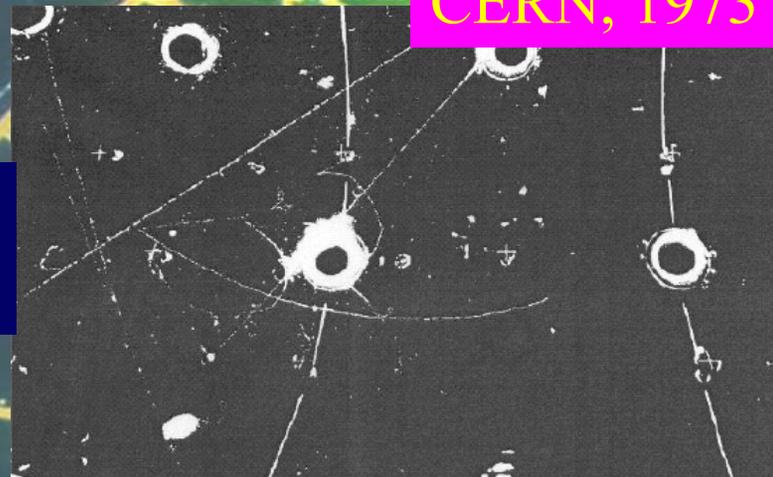


CERN, 1973

Difusión
 $\nu - e$



Difusión
 $\nu - \text{núcleo}$

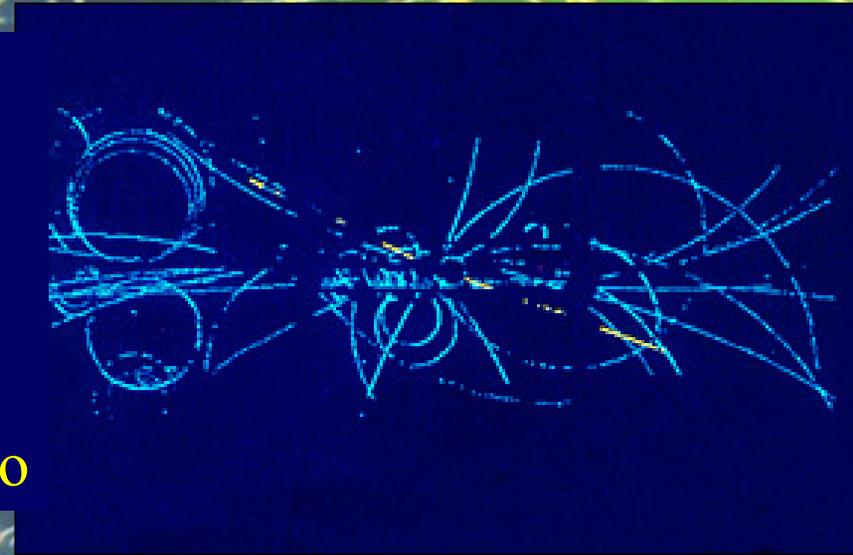


... abrió el camino hacia el 'Modelo Estándar'

El Descubrimiento de los Bosones W y Z



Las partículas que causan la radioactividad: analogas del fotón en el electromagnetismo

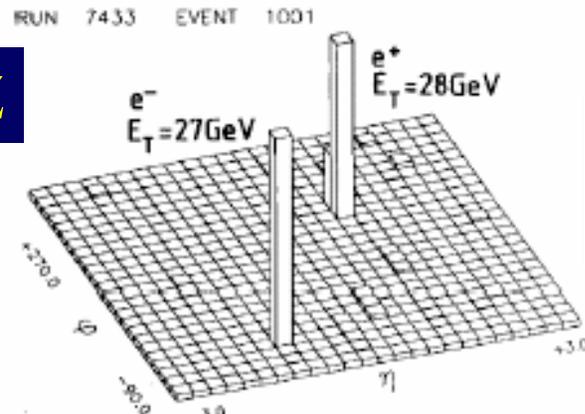


W

La W pesa más de 80 protones

Depositos de energia

Z

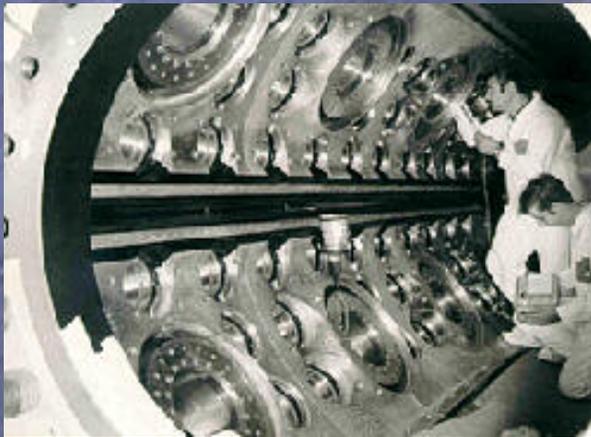


La Z pesa más de 90 protones

Rubbia et al.,
CERN 1983

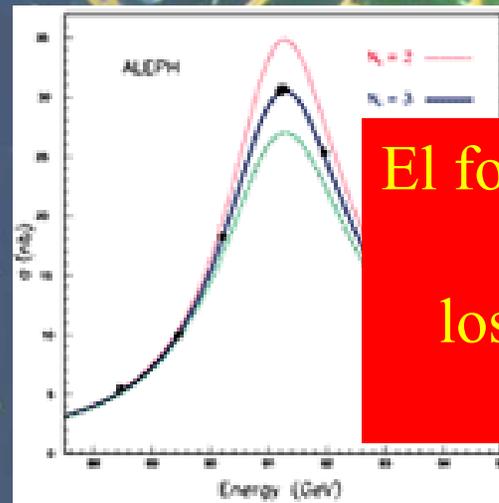
El 'Modelo Estándar' de la Física de Partículas

Propuesto por Abdus Salam,
Glashow y Weinberg



Pruebas concluyentes
de experimentos
en el CERN

En perfecto acuerdo con
experimentos en todos los
laboratorios



El fotón no tiene masa:
¿Por qué son
los bosones W y Z
tan pesados?

El Desarrollo de la Física de Partículas

- 1897 : El electrón descubierto por Thomson
- 1910 : El núcleo descubierto por Rutherford
- 1930+: Protón, neutrón (Chadwick), neutrino (Pauli)
- 1960+: Los quarks propuestos por Gell-Mann
(aces: Zweig @ CERN)
- 1970+: Evidencia experimental para los quarks en SLAC, CERN
- 1973 : Las corrientes neutras descubiertas en el CERN
- 1983 : Los bosones W y Z descubiertos en el CERN
- 1990+: El 'Modelo Estándar' establecido en el CERN
- 1996 : Descubrimiento del último quark (top) en FNAL (USA)

≥ 2007 : El CERN explorará por qué pesan las partículas

Partículas de Materia



Preguntas abiertas mas allá del
‘Modelo Estándar’

Fuerzas e Interacciones



Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Cuál es el origen de las masas de partículas?

¿Un bosón de Higgs?

solución a una energía $< 1 \text{ TeV}$

(1000 veces la masa del protón)

Vínculos con
la cosmología

Algunas Partículas tienen Masas, algunas no

¿De dónde vienen las masas?

Newton:

El peso proporcional a la masa

Einstein:

La energía relacionada con la masa

Ninguno explicó el origen de la masa

¿Las masas se deben a un bosón de Higgs?



Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Cuál es el origen de las masas de partículas?

¿Un bosón de Higgs?

solución a una energía $< 1 \text{ TeV}$

(1000 veces la masa del protón)

- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales? 3 neutrinos, 6 quarks, ...

¿La diferencia entre la materia y

la antimateria?

Vínculos con
la cosmología

¿Cómo difieren la materia y la antimateria?

Dirac predijo las **ANTI**partículas:
Las mismas masas
Propiedades internas opuestas:
cargas eléctricas, ...
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 y no antimateria?

Experimentos en el LHC, otros laboratorios buscaran respuestas

Preguntas abiertas mas allá del 'Modelo Estándar'

- ¿Cuál es el origen de las masas de partículas?
¿Un bosón de Higgs?
solución a una energía $< 1 \text{ TeV}$
(1000 veces la masa del protón)
- ¿Por qué hay tantos tipos de partículas elementales?
¿La diferencia entre la materia y la antimateria?
- ¿Unificación de las fuerzas fundamentales a una energía muy alta $\sim 10^{16} \text{ GeV}$?
Pruebas por medidas de las fuerzas, las masas, los neutrinos
- ¿Teoría cuántica de la gravedad?

Vínculos con la cosmología

Unificar las Interacciones de Partículas: Fué siempre el Sueño de Einstein



← ... pero nunca lo logró



¿El Origen de las Masas de Partículas?

Una Ilustración de la Idea de Higgs



La excitación cruza el salón = un 'Higgs'

Búsquedas del Bosón de Higgs

Indirecta:

- Medidas de alta precisión en LEP, etc
- Sensibles a la masa del bosón de Higgs:

$$m_H < 260 \text{ GeV}$$

La masa más probable:

$$m_H \sim 114 \text{ GeV}$$

1 GeV ~ masa del protón

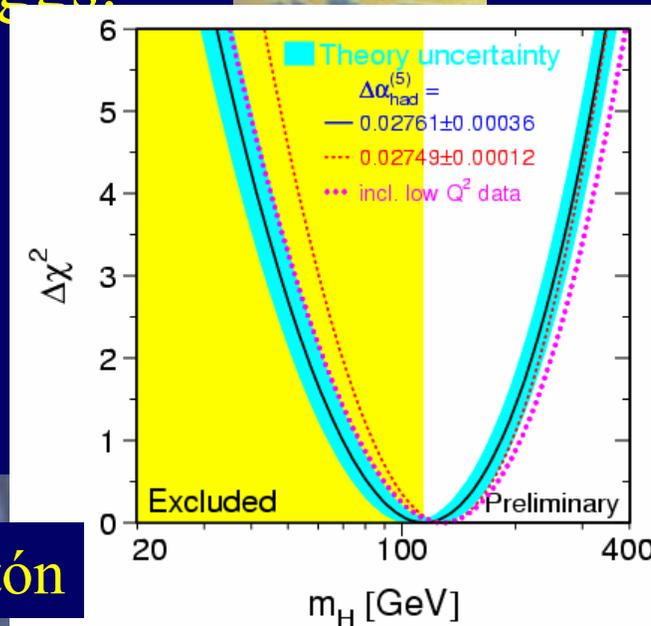
Directa:

- LEP buscó eventos $e^+ e^- \rightarrow Z + H$
- La 'señal' encontrada en el 2000 parece ahora insignificante

El limite actual:

$$m_H > 114.4 \text{ GeV}$$

Combinando todos los datos



¿Y la Supersimetría?

- Une la materia a las partículas que transportan las fuerzas
- Une los fermiones a los bosones
- Relaciona las partículas con diferentes momentos angulares

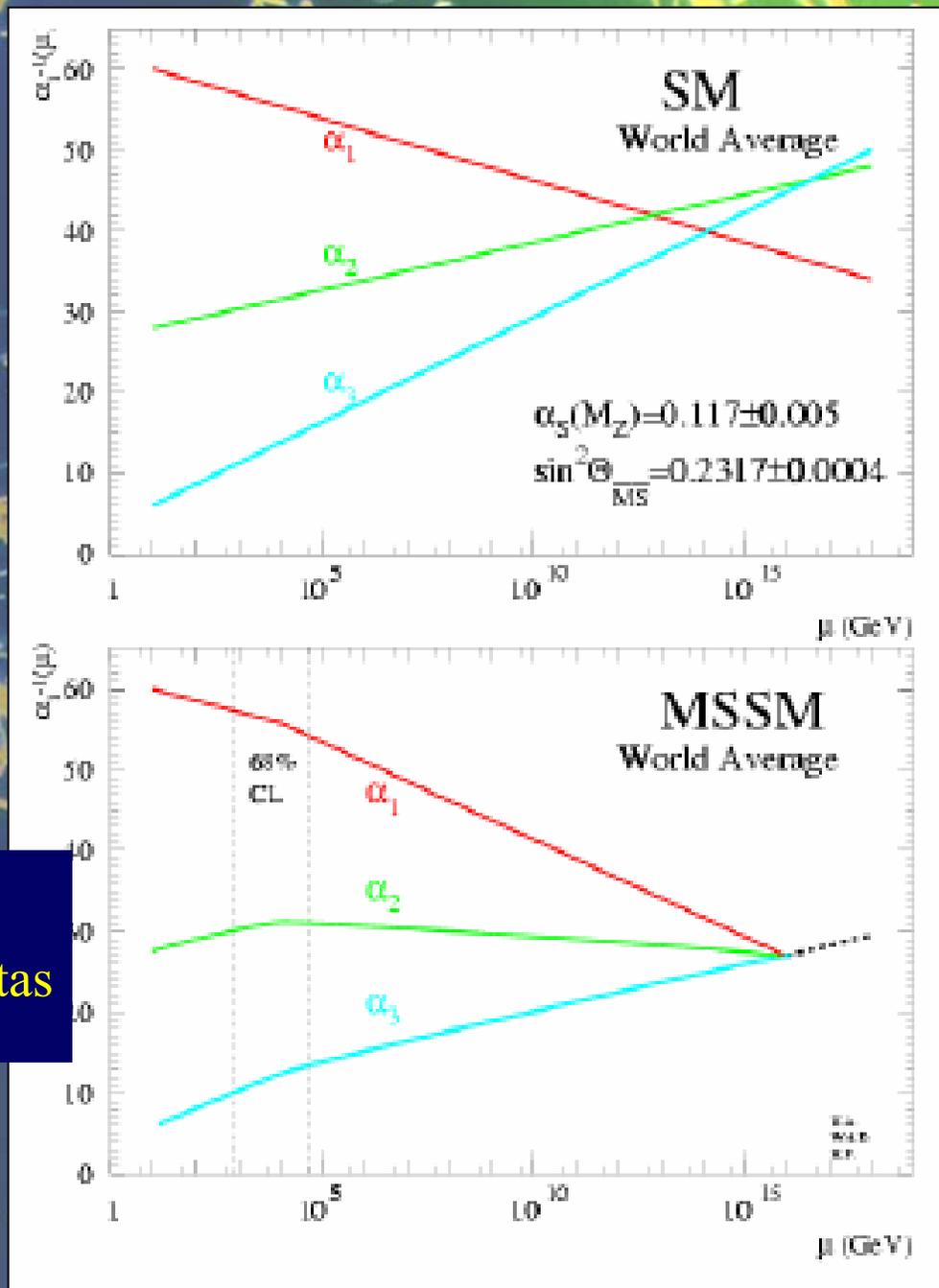
0 - 1/2 - 1 - 3/2 - 2

Higgs - Electrón - Fotón - Gravitino - Gravitón

- Ayuda a fijar las masas y a unir las fuerzas fundamentales
- Podría proporcionar la materia oscura requerida por los astrofísicos

La Unificación: Un Motivo para querer la Supersimetría

Ayuda a unir las interacciones
de las partículas a energías muy altas



¿Podría la Supersimetría explicar 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 buscaremos con el LHC



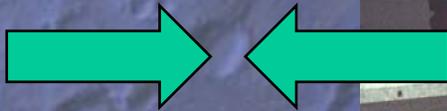


El Proyecto LHC @ CERN

El 'Gran Colisionador de Hadrones' (LHC)

Colisionador Protón-Protón

7 TeV + 7 TeV



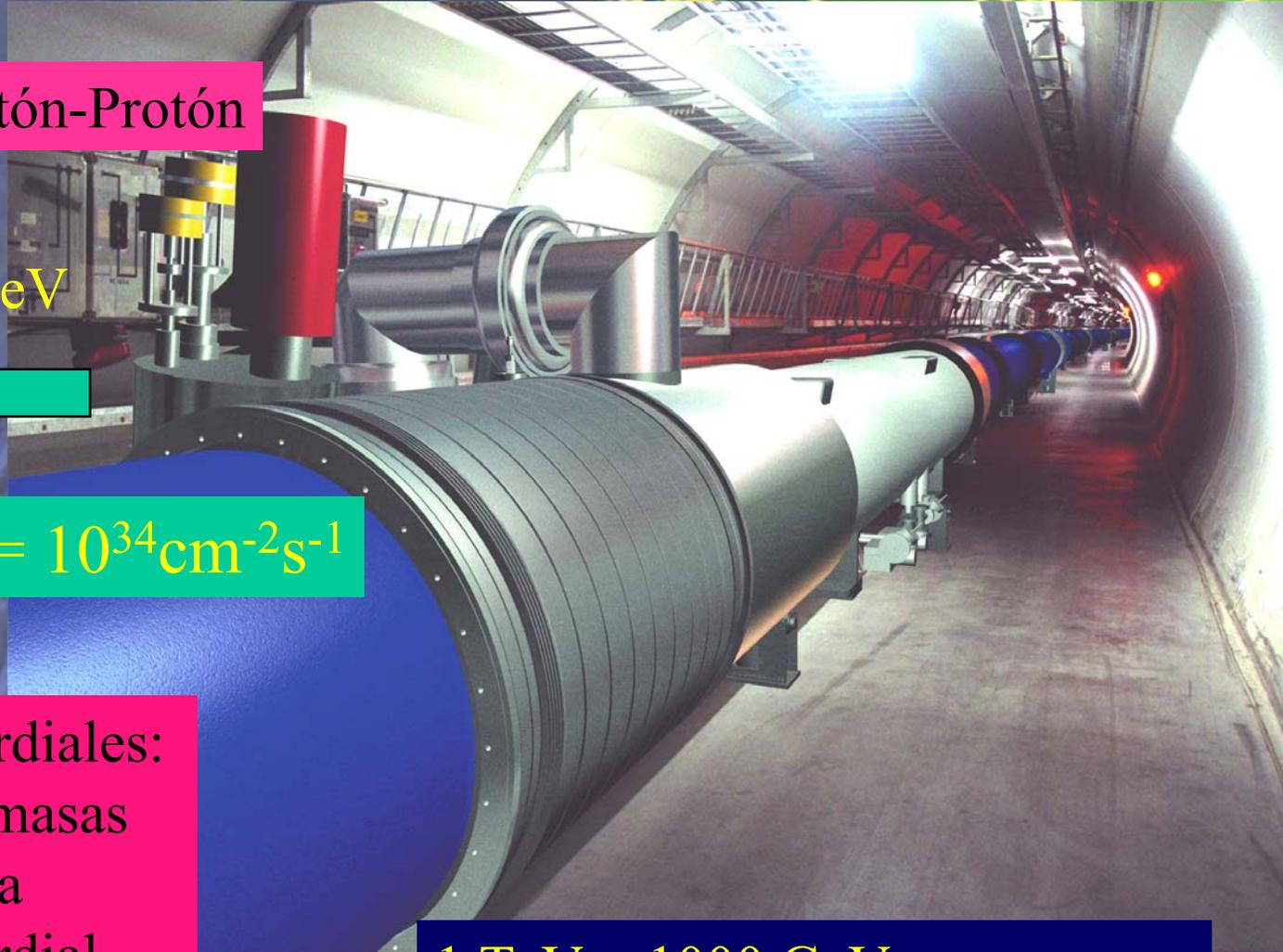
Luminosidad = $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Objetivos primordiales:

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

1 TeV = 1000 GeV

~ 1000 veces la masa del protón

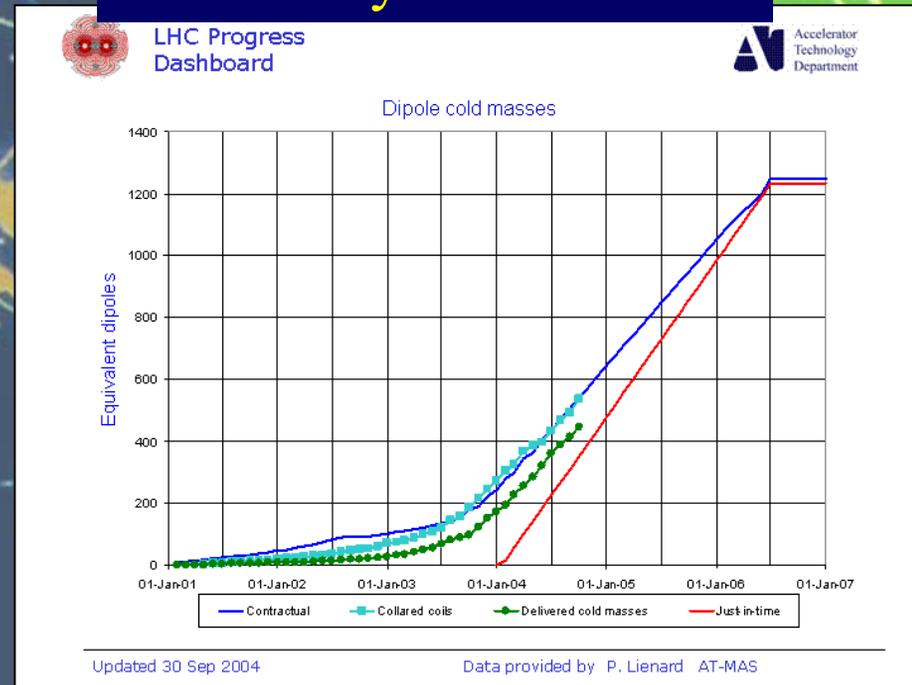


Los Imanes del LHC

Producción industrial en proceso



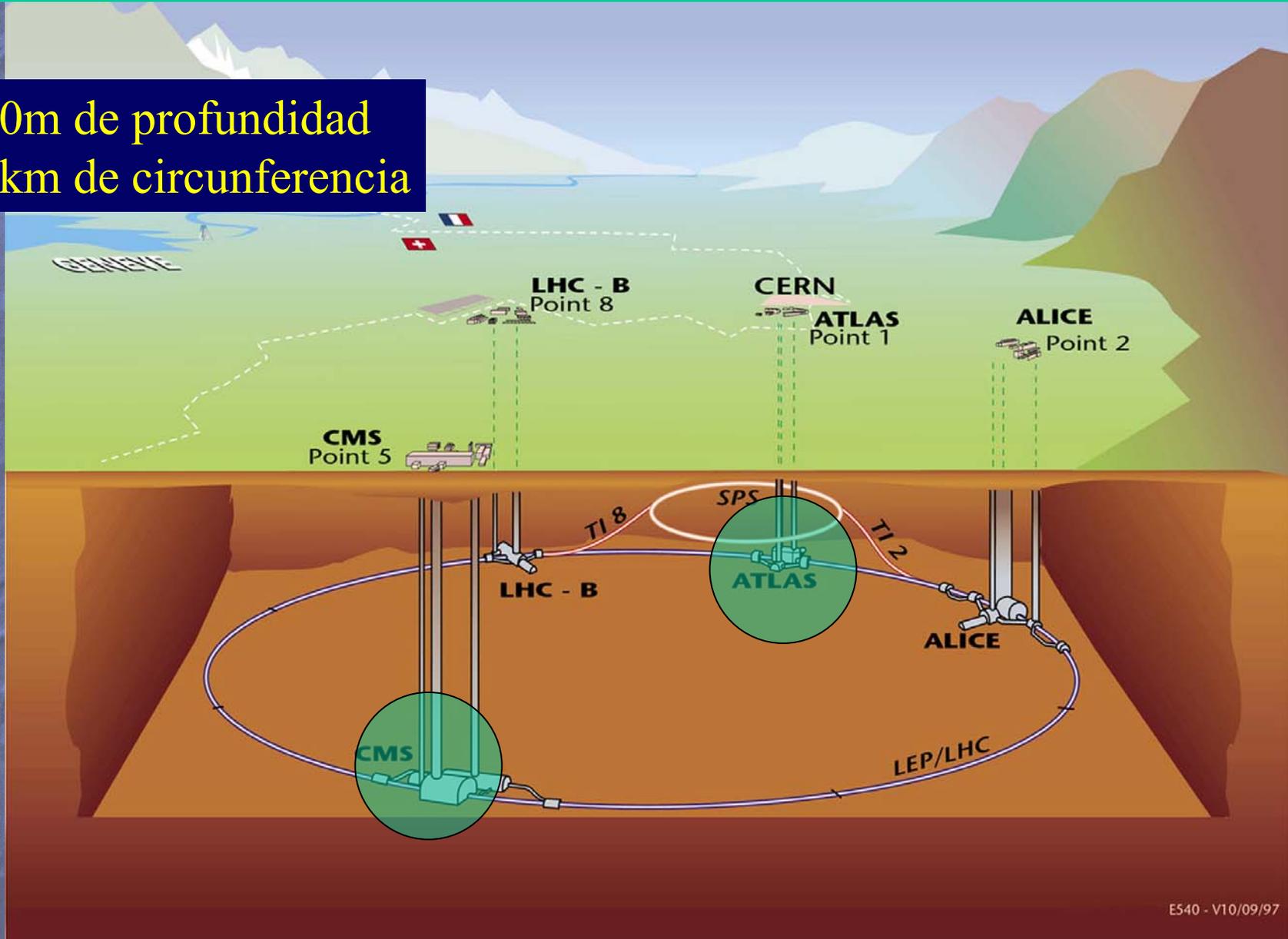
Un tercio ya en el CERN



Operación del acelerador planeada para el 2007

Vista General del LHC y sus Experimentos

100m de profundidad
27km de circunferencia



El Experimento CMS

**SUPERCONDUCTING
COIL**

CALORIMETERS

ECAL
Scintillating
PbWO₄ crystals

HCAL
Plastic scintillator/
brass sandwich

IRON YOKE

TRACKER

Silicon
Micro-strip
Pixels

Total weight : 12,500 t
Overall diameter : 15 m
Overall length : 21.6 m
Magnetic field : 4 Tesla

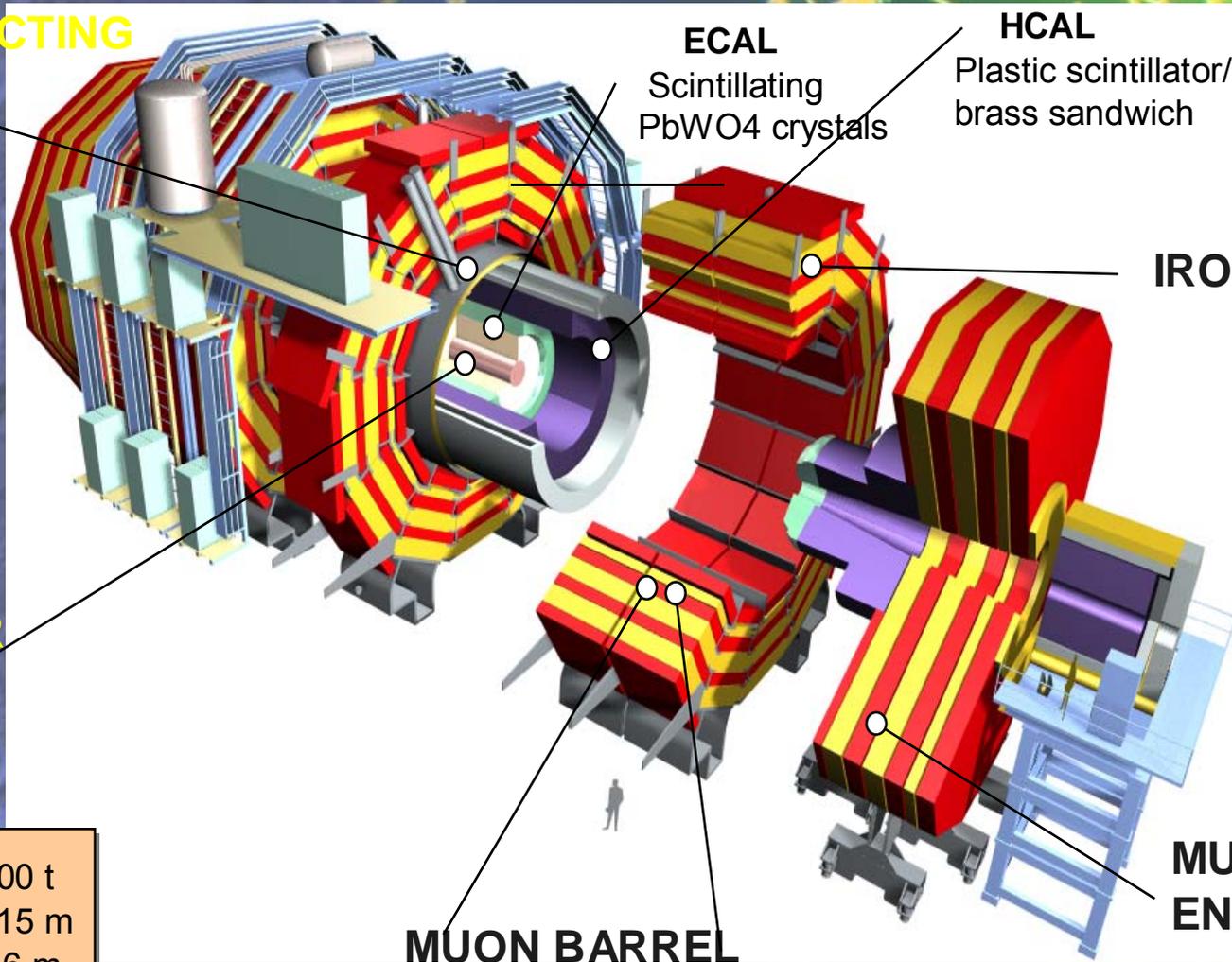
MUON BARREL

**MUON
ENDCAPS**

**Drift Tube
Chambers**

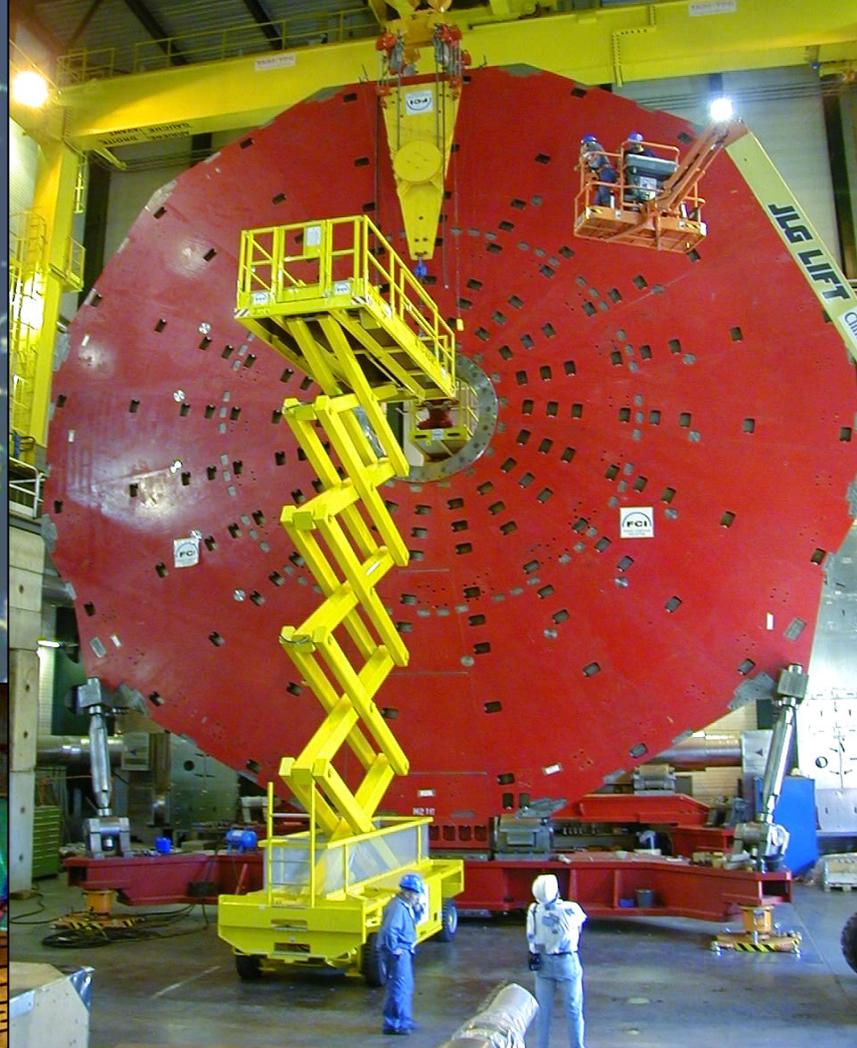
**Resistive Plate
Chambers**

**Cathode Strip Chambers
Resistive Plate Chambers**



La Construcción del CMS

Reciclaje de cartuchos navales rusos

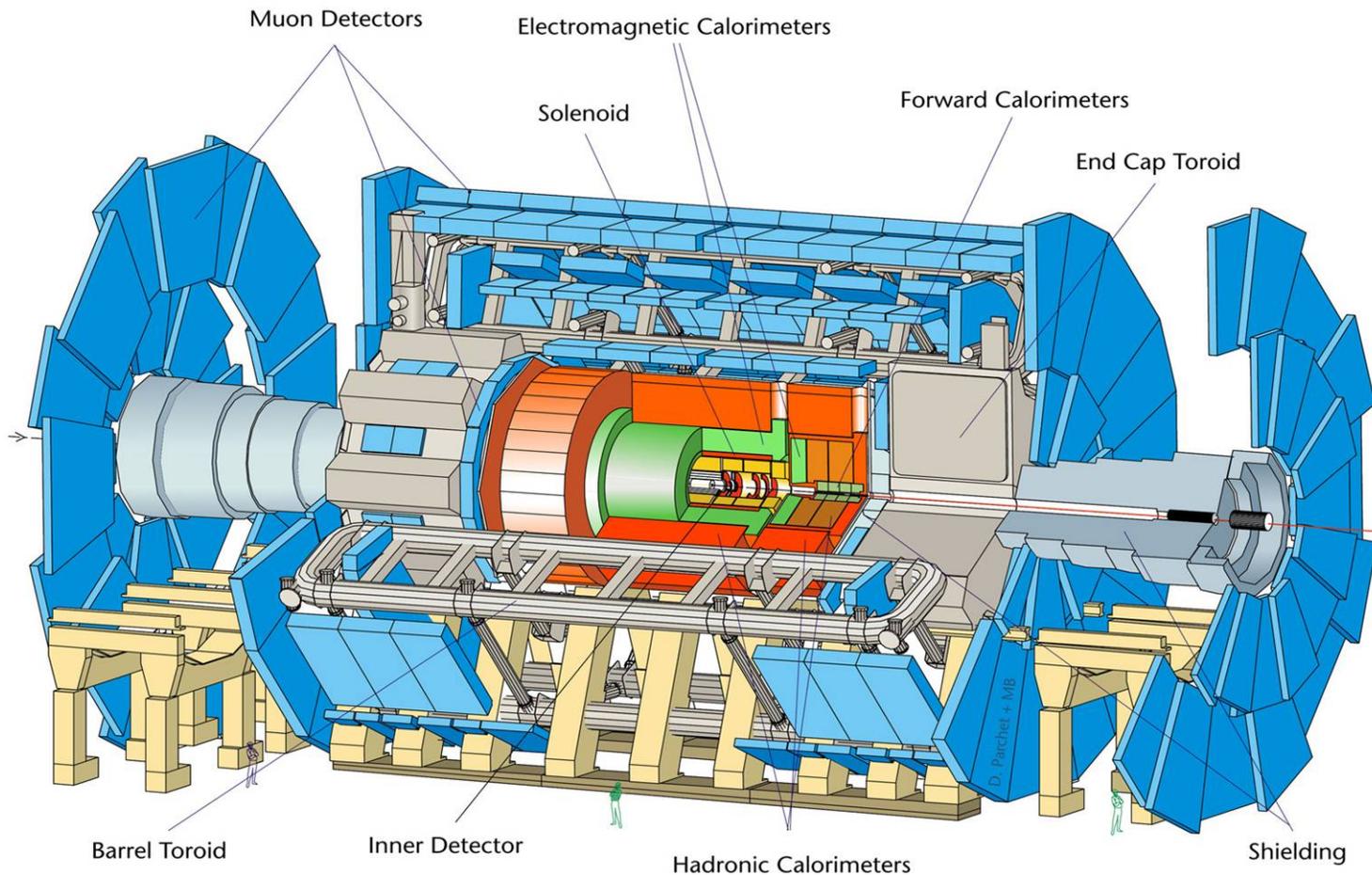


La Construcción del CMS



Se finalizará en
el 2007

El Experimento ATLAS

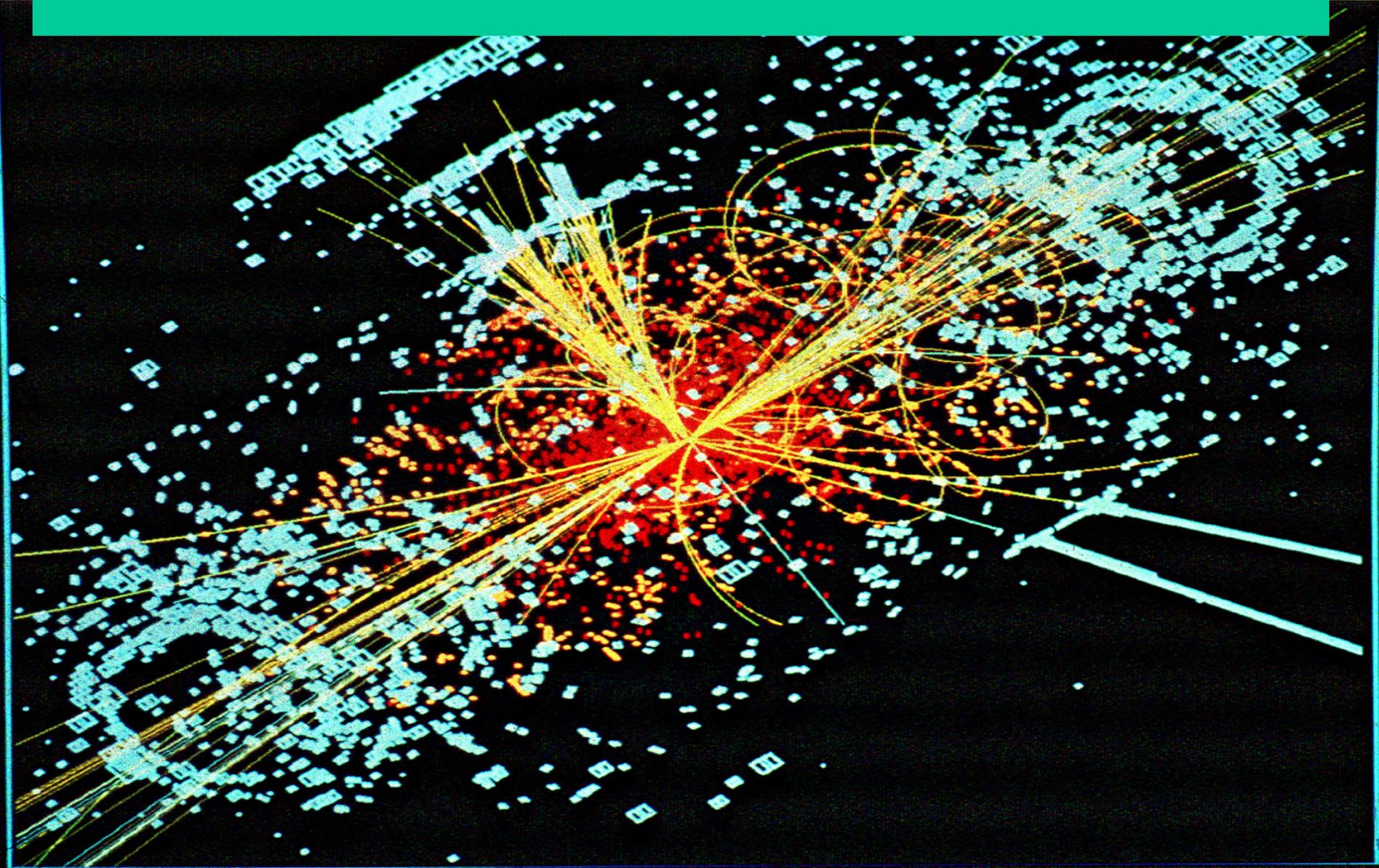


<i>Diameter</i>	25 m
<i>Barrel toroid length</i>	26 m
<i>End-cap end-wall chamber span</i>	46 m
<i>Overall weight</i>	7000 Tons

La Caverna del ATLAS



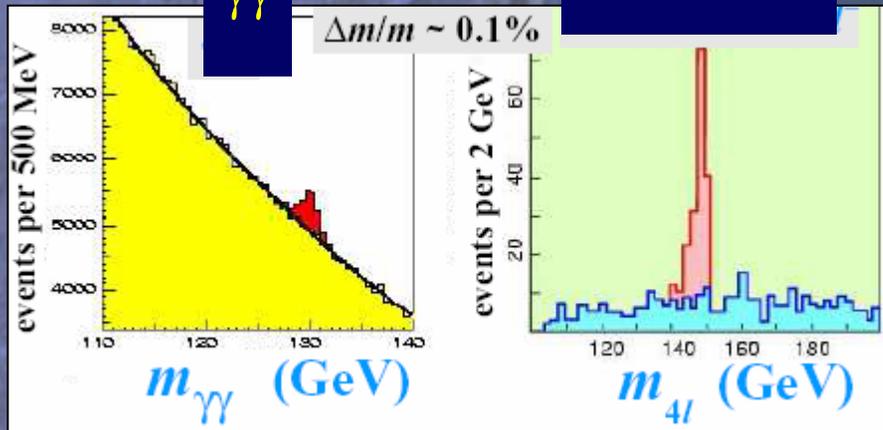
Un bosón de Higgs podría verse así



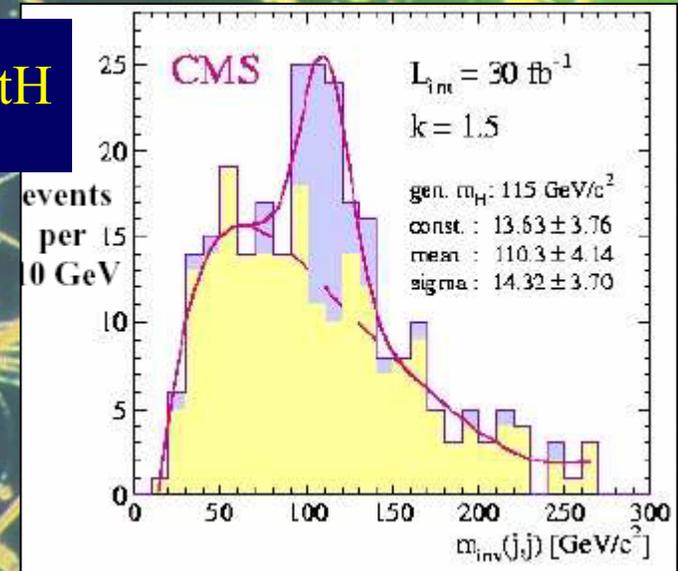
Algunas Señales del Bosón de Higgs

$\gamma\gamma$

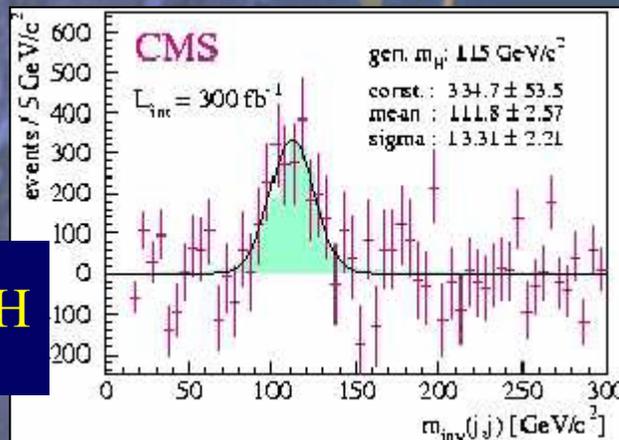
$ZZ^* \rightarrow 4l$



ttH

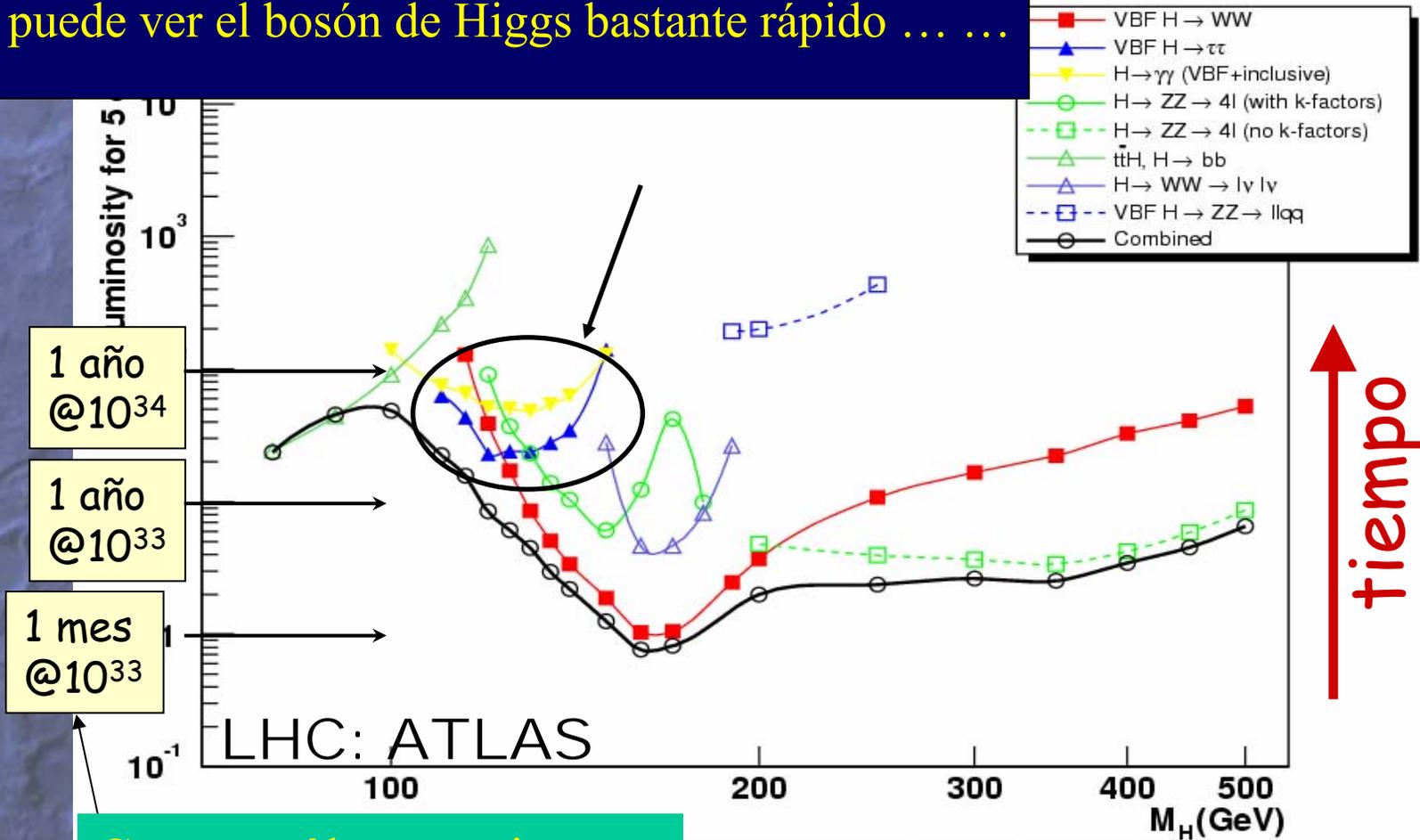


bbH



La Detección del Bosón de Higgs en el LHC

Se puede ver el bosón de Higgs bastante rápido

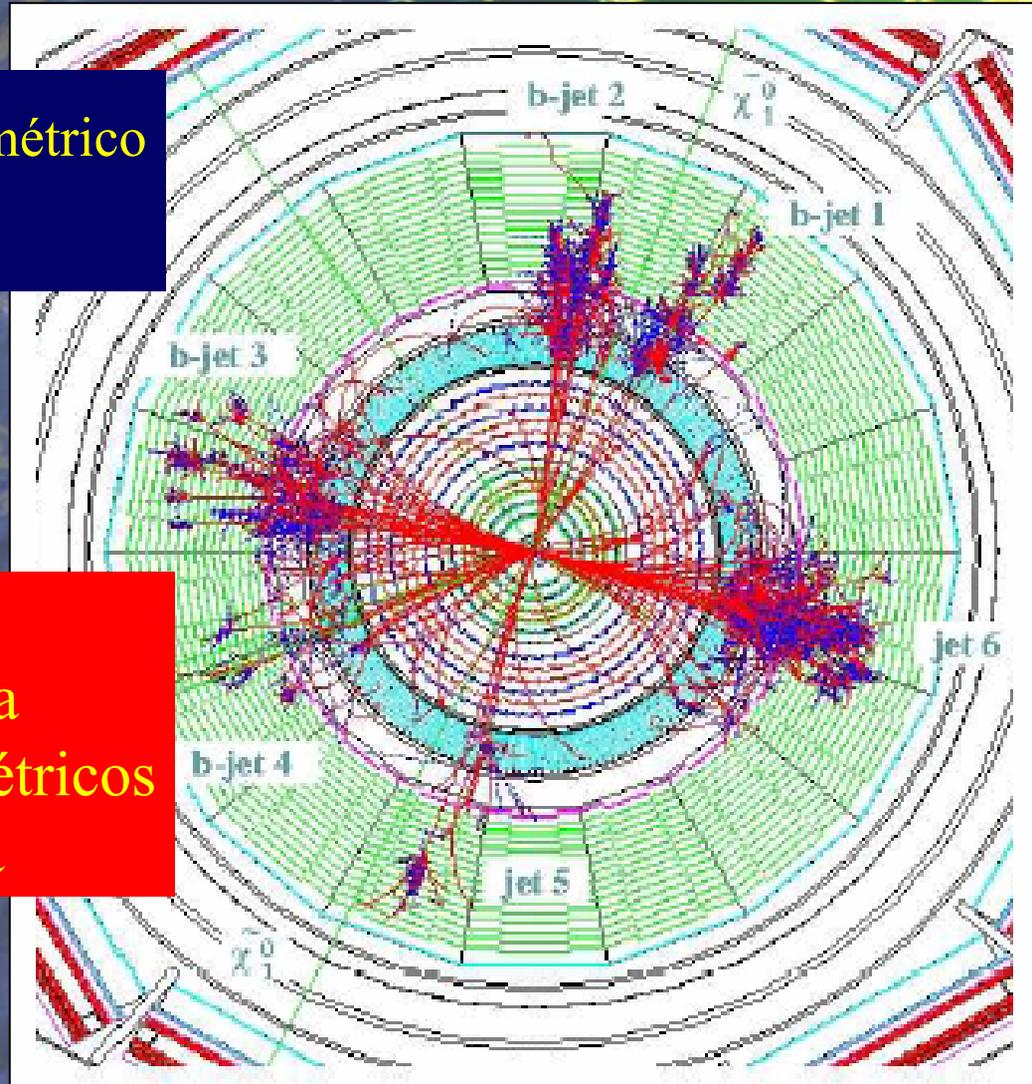


Con un sólo experimento

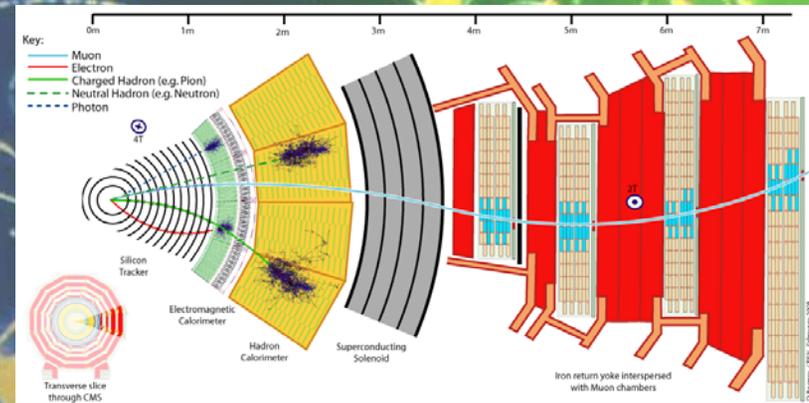
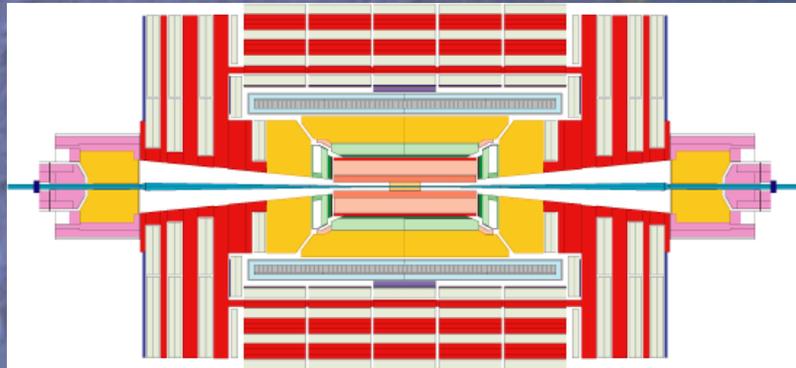
Búsquedas de la Supersimetría en el LHC

Un evento 'típico' supersimétrico en el LHC

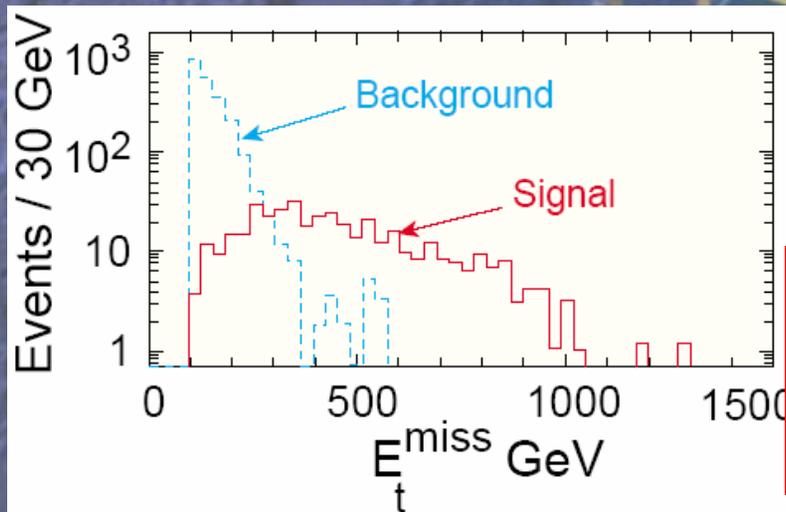
El LHC podría descubrir la mayoría de los modelos supersimétricos de la materia oscura



Equipo 'Hermético'



Detecta todos los varios tipos de partículas y mide sus energías

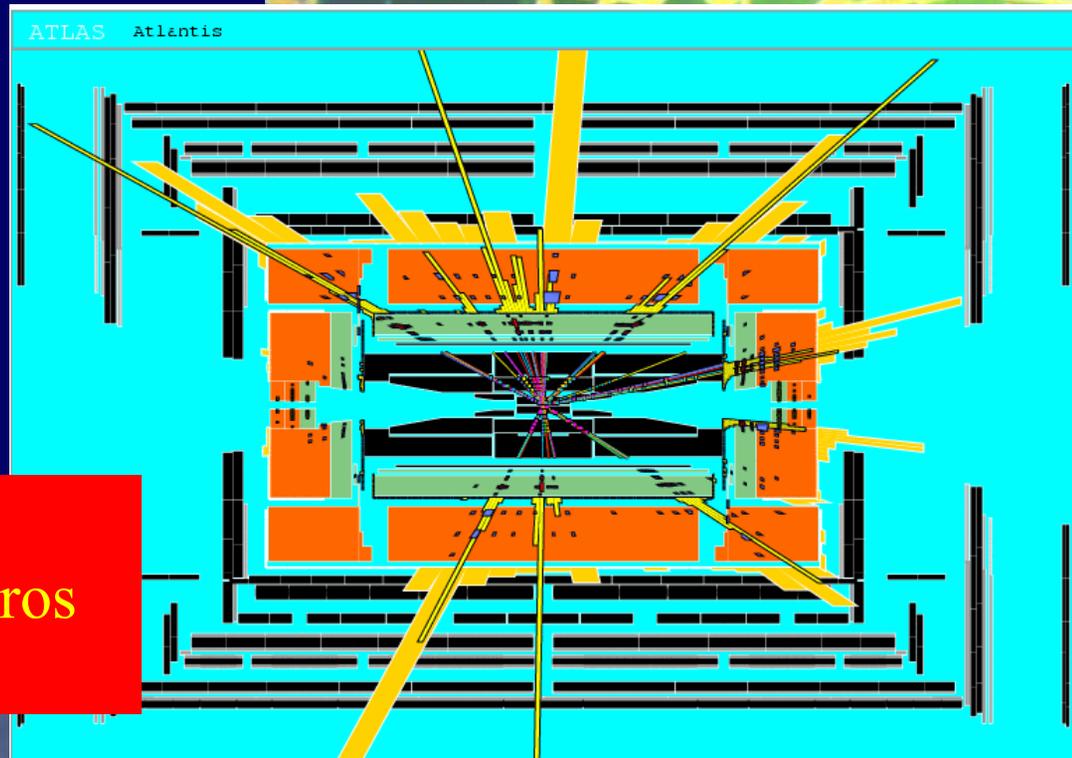


Sensible a la energía que 'falta' llevada por las partículas neutras, e.g., materia oscura supersimétrica

¿Qué pasa si no hay supersimetría?

¿Dimensiones suplementarias del Espacio?

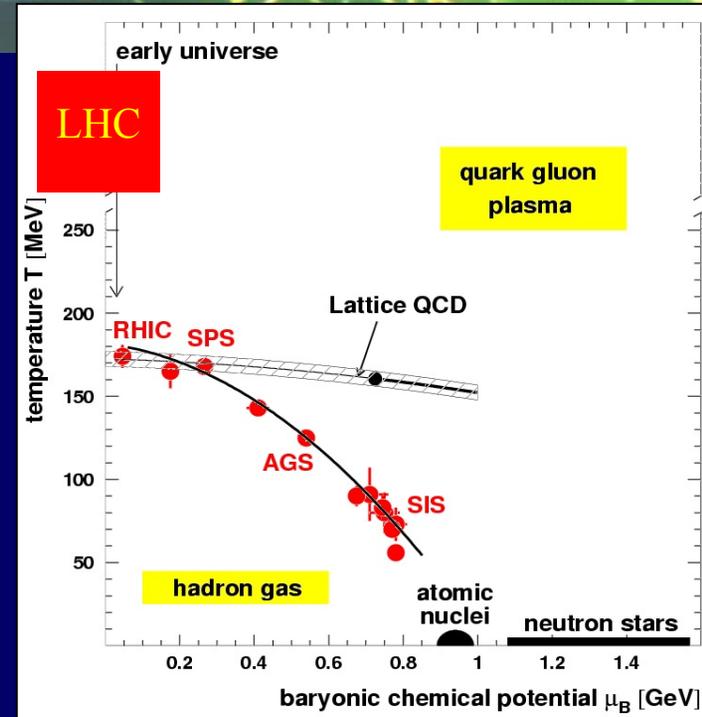
- Sugeridas por Kaluza y Klein para unir la gravedad y el electromagnetismo
- Estudiadas también por Einstein
- Requeridas para una teoría cuántica de la gravedad basada en la teoría de cuerdas
- Podría unir las fuerzas fuertes, débiles y electromagnéticas con la gravedad



Señal posible:
producción de agujeros negros
en el LHC

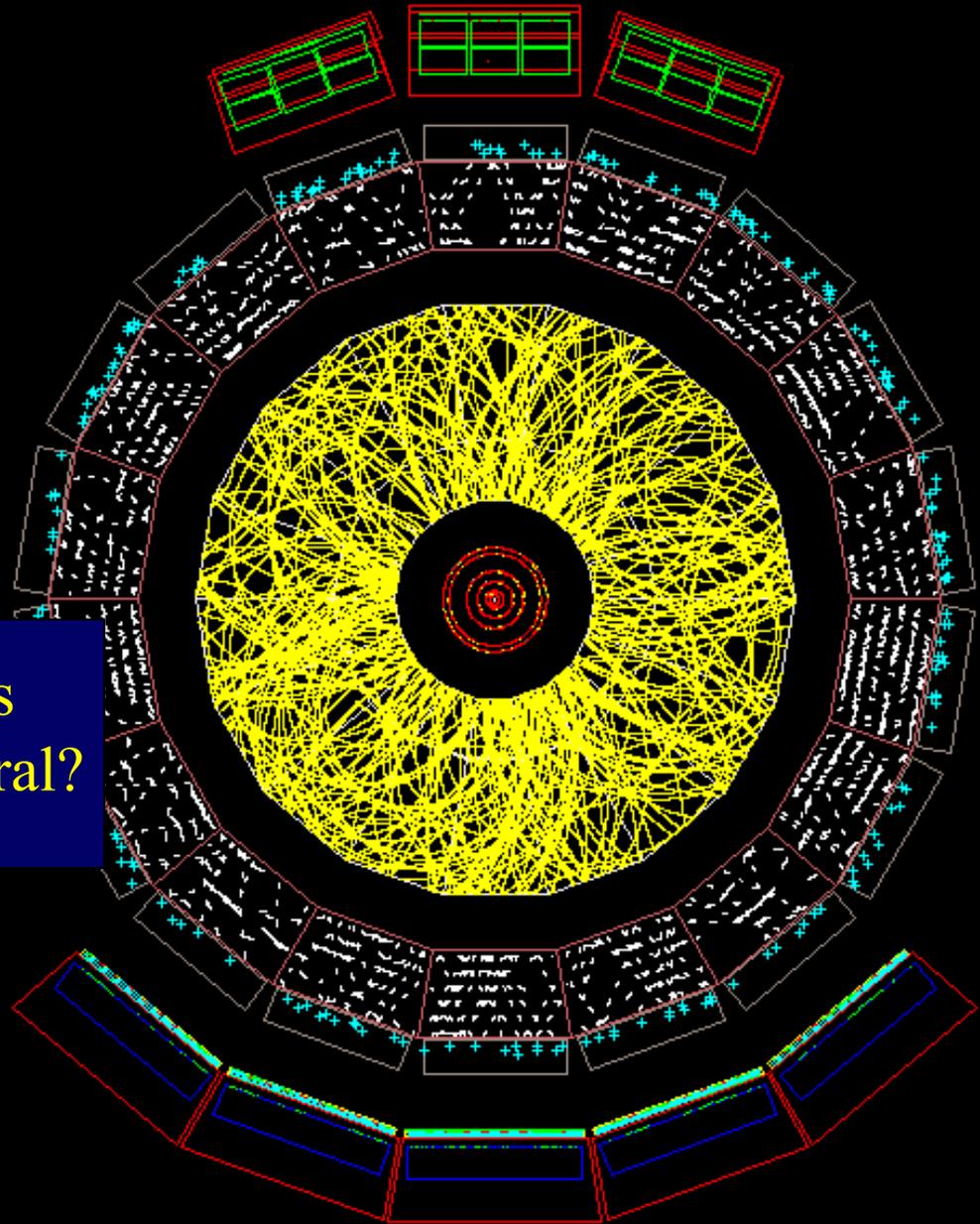
... y nuevas Oportunidades para otras Exploraciones

- **Materia densa hadronica**
¿Crean colisiones relativistas de iones pesados un plasma de quarks y gluones?



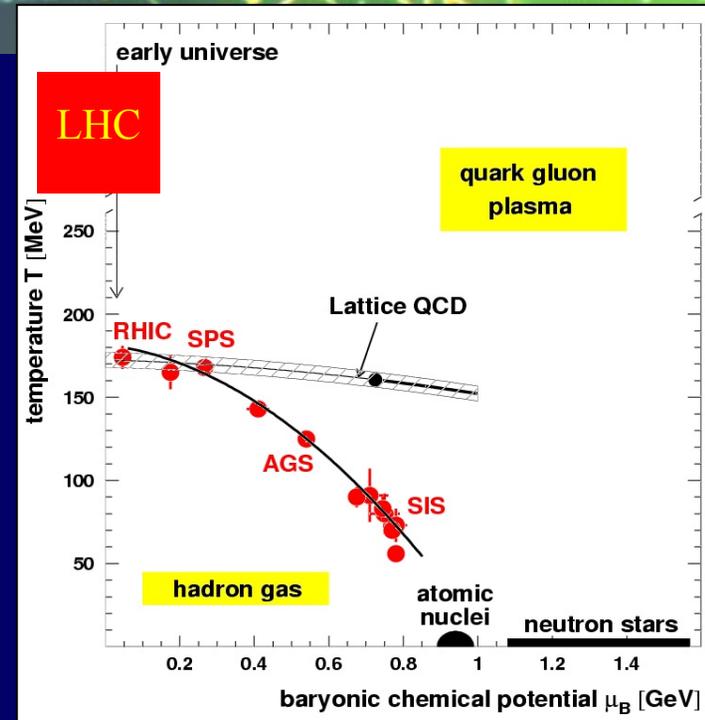
Colisión de Iones Pesados en el Equipo ALICE

¿8000 partículas en el detector central?



... y nuevas Oportunidades para otras Exploraciones

- Materia densa hadronica
¿Crean colisiones relativistas de iones pesados un plasma de quarks y gluones?
- Asimetría materia-antimateria



¿Cómo crear la Materia en el Universo?

Sakharov

- Se necesita una diferencia entre la materia y la antimateria
ya descubierta en el laboratorio
- Se necesitan interacciones capaces de crear partículas de materia
presentes en teorías unificadas, pero todavía desconocidas
- Se necesita un desequilibrio termico
posible al inicio del Universo

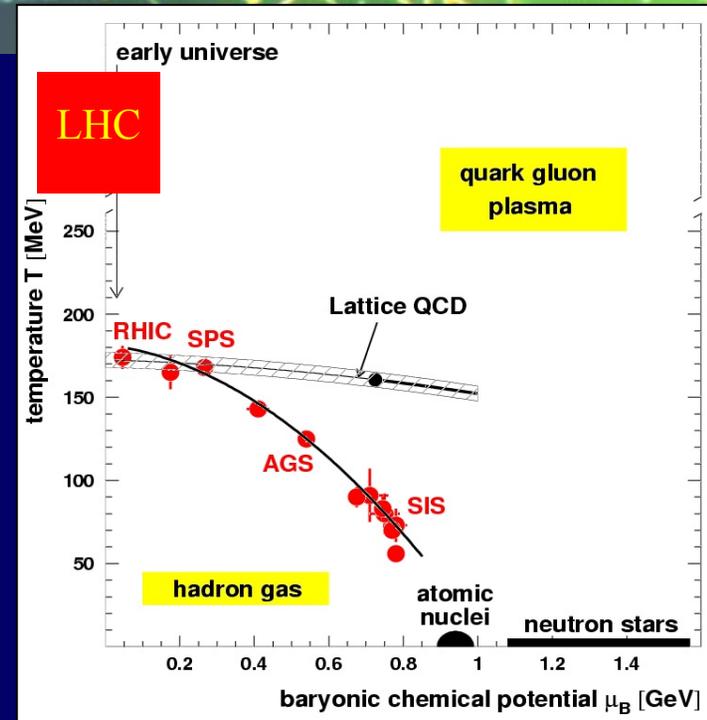
¿Se podría calcular usando medidas experimentales en el LHC?

... y nuevas Oportunidades para otras Exploraciones

- Materia densa hadronica
 - ¿Crean colisiones relativistas de iones pesados un plasma de quarks y gluones?
- Asimetría materia-antimateria
- Otras conexiones con la astrofísica y la cosmología:

Materia oscura

¿Inflación ↔ el bosón de Higgs?



El LHC explorará Nuevas Dimensiones en Física

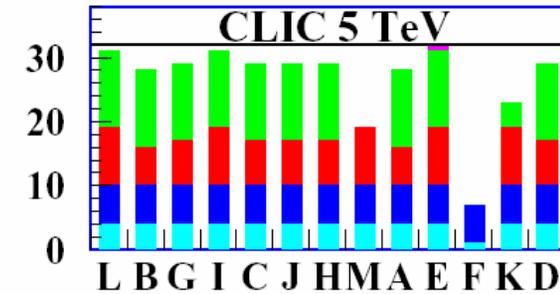
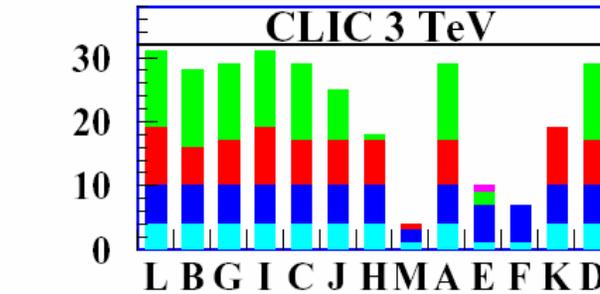
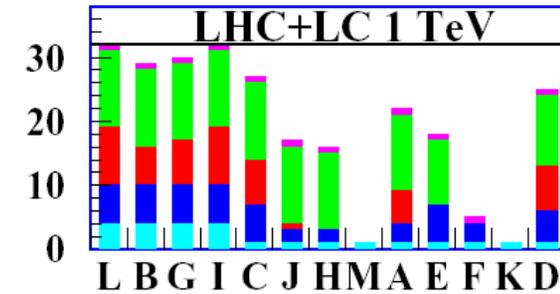
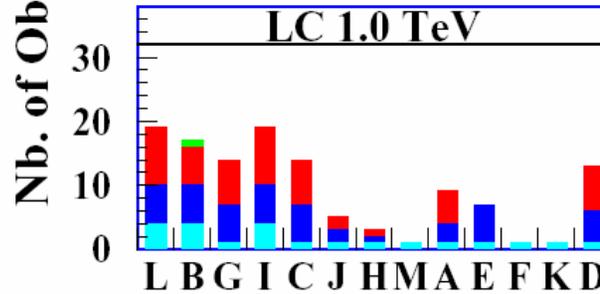
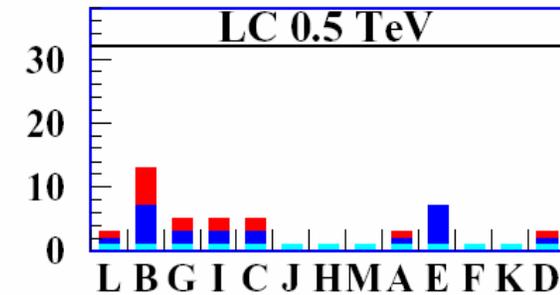
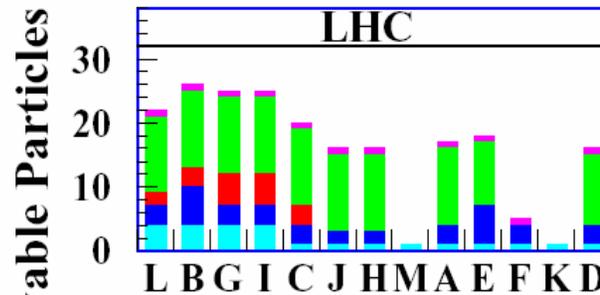
- Una nueva dimensión en energía: $\sim \text{TeV}$
 - ¿El origen de la masa?
 - Nuevas dimensiones del espacio?
 - ¿Más dimensiones familiares ‘bosónicas’?
 - ¿Dimensiones ‘cuánticos’ supersimétricas?
 - Una nueva dimensión en el tiempo
 - $\sim 10^{-12}$ s después del ‘Big Bang’
 - ¿Un plasma primordial?
 - ¿La materia oscura?
 - ¿El origen de la materia?
- ¿La Última Palabra?

Las Capacidades del LHC

y otros

Aceleradores

■ guino ■ squarks ■ sleptons ■ χ ■ H
Post-WMAP Benchmarks



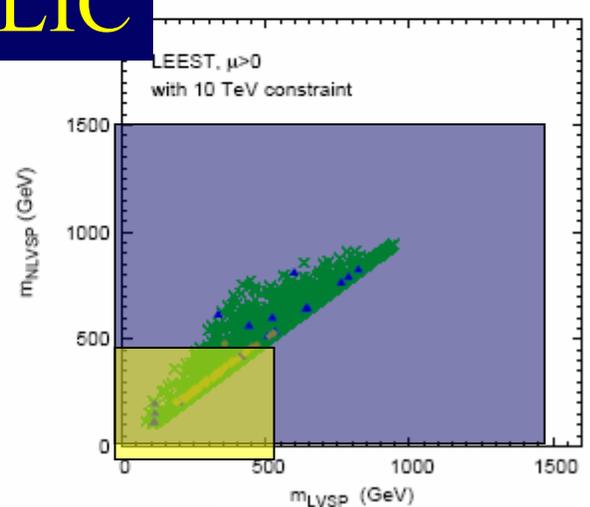
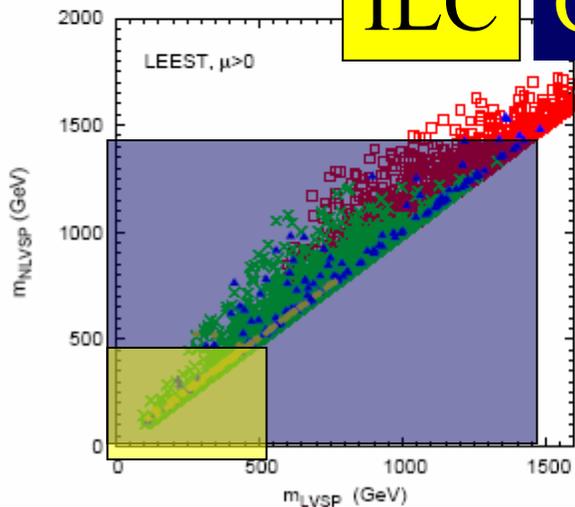
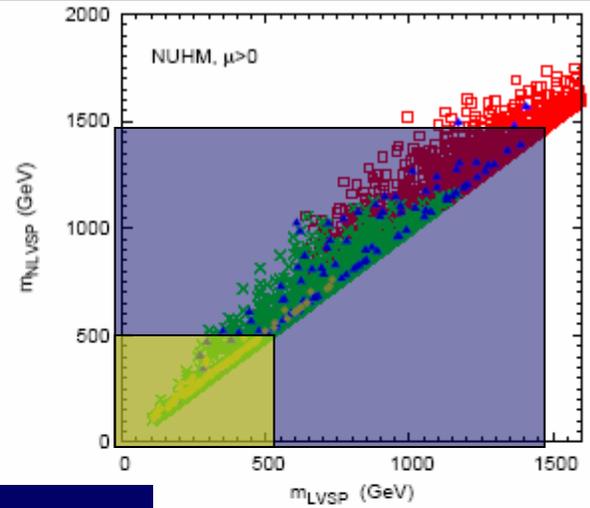
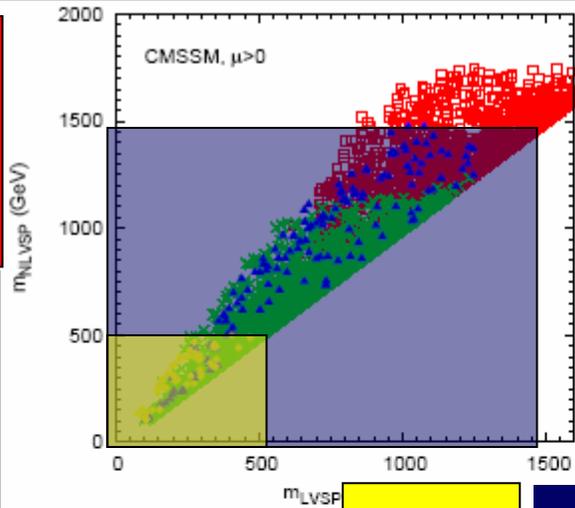
El LHC tiene una 'garantía' para descubrir la supersimetría: ¿Qué podran contribuir otros aceleradores?

¿Tal vez las Partículas Supersimétricas tienen Masas elevadas?

Todos los modelos

Modelos visibles en el LHC

Materia oscura



I LC

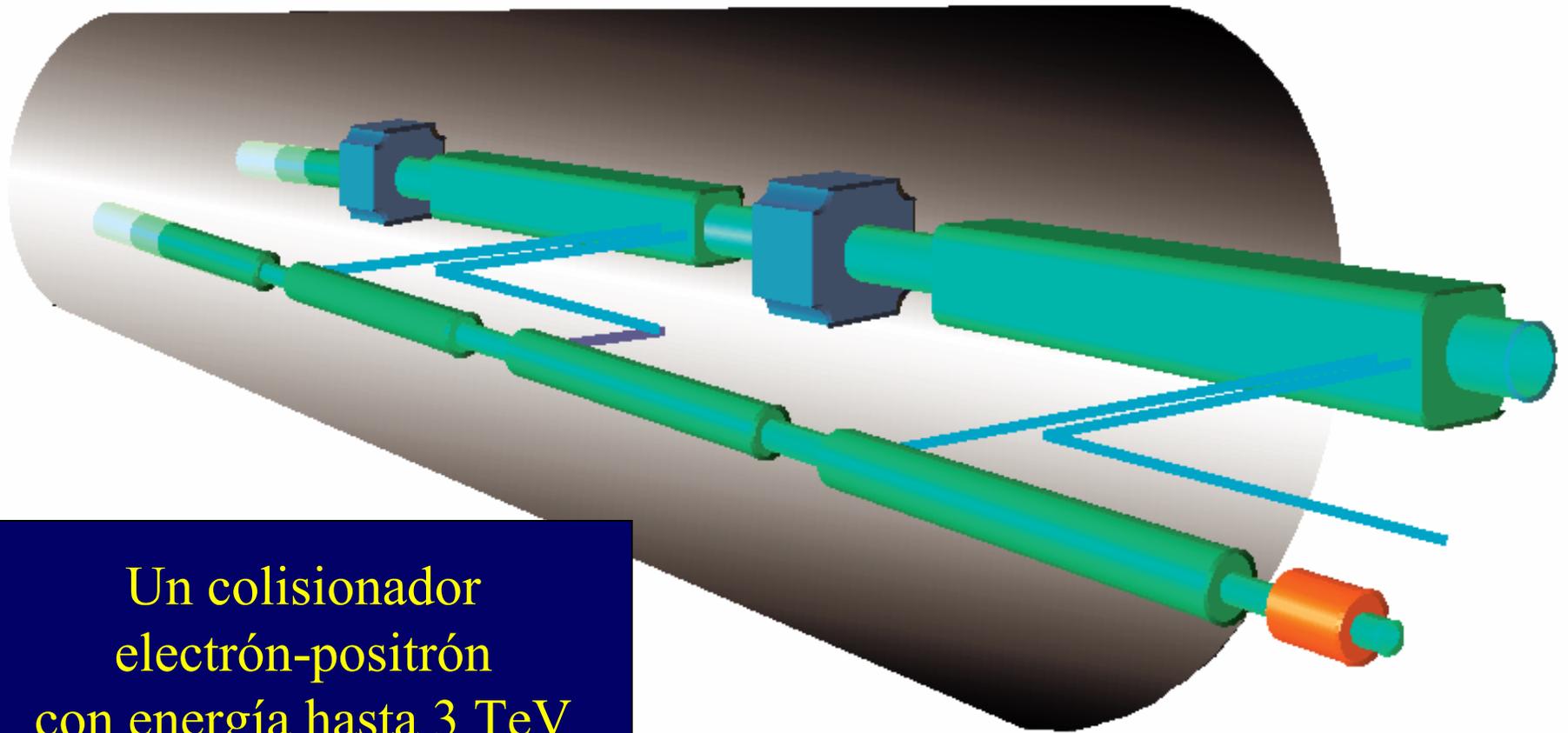
CL IC

← la segunda partícula supersimétrica

La partícula supersimétrica más ligera →

JE, Olive, Santoso, Spanos

Despues del LHC @ CERN: ¿CLIC?



Un colisionador
electrón-positrón
con energía hasta 3 TeV