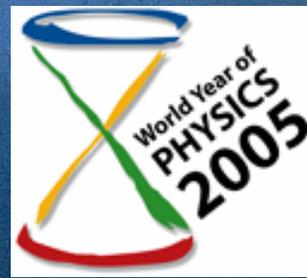


# Los grandes aceleradores y experimentos del CERN



Antonio Ferrer  
(IFIC - Universidad de Valencia-CSIC)  
*Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear*

Valencia, 21 de Octubre de 2004  
50 aniversario del CERN



CERN

Organización Europea para la  
Investigación Nuclear

**CERN** (Organización Europea para la Investigación  
Nuclear)

**LABORATORIO EUROPEO  
DE FÍSICA DE PARTÍCULAS**

**50 AÑOS DE  
INVESTIGACIÓN EN  
FÍSICA DE PARTÍCULAS**



CERN

Organización Europea para la  
Investigación Nuclear

Fundado en 1954 por 12 países.

En la actualidad: 20 estados miembros.

~1000 MCHF / Presupuesto anual.

Más de 7000 usuarios de todo el mundo.

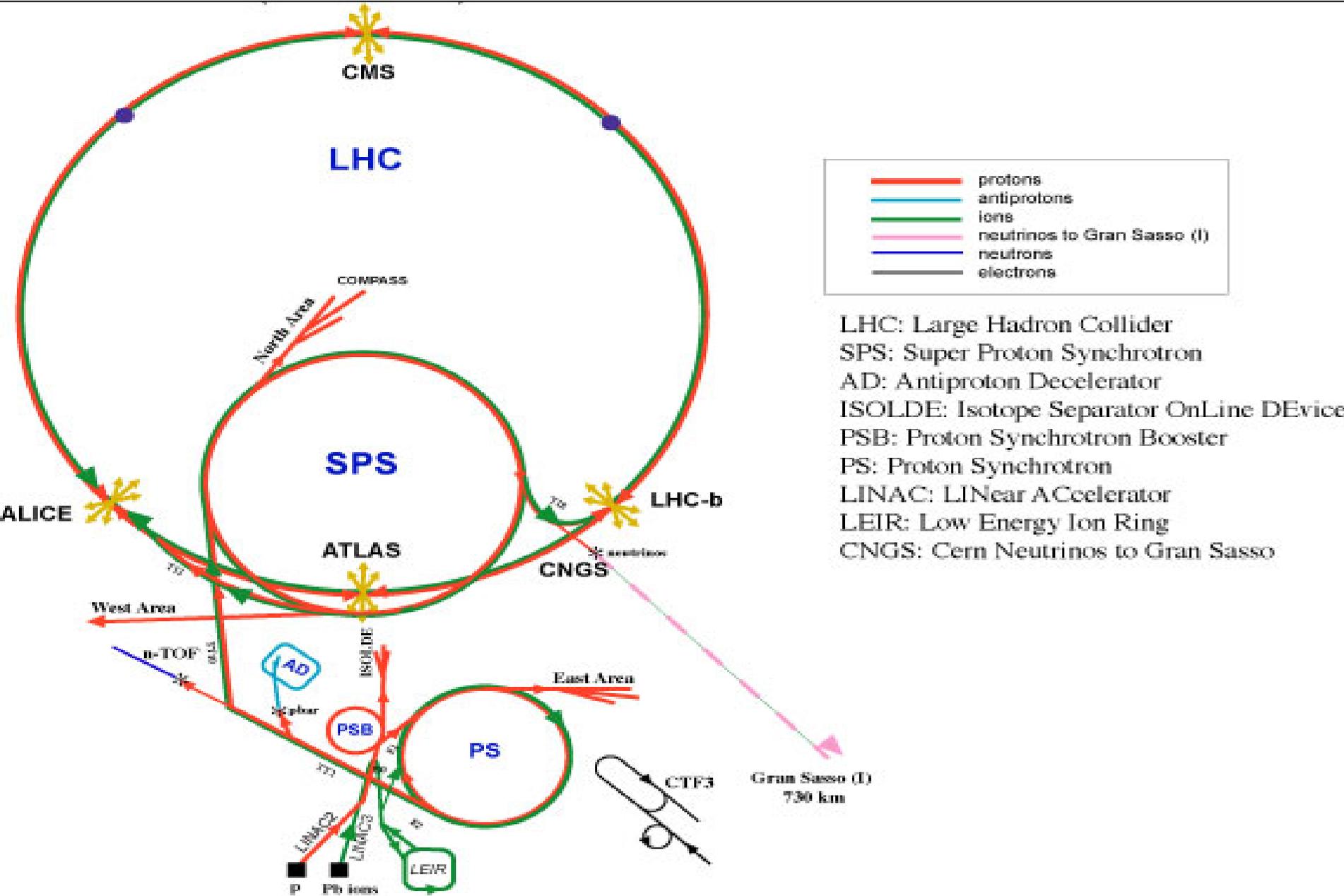
500 universidades.

80 nacionalidades.

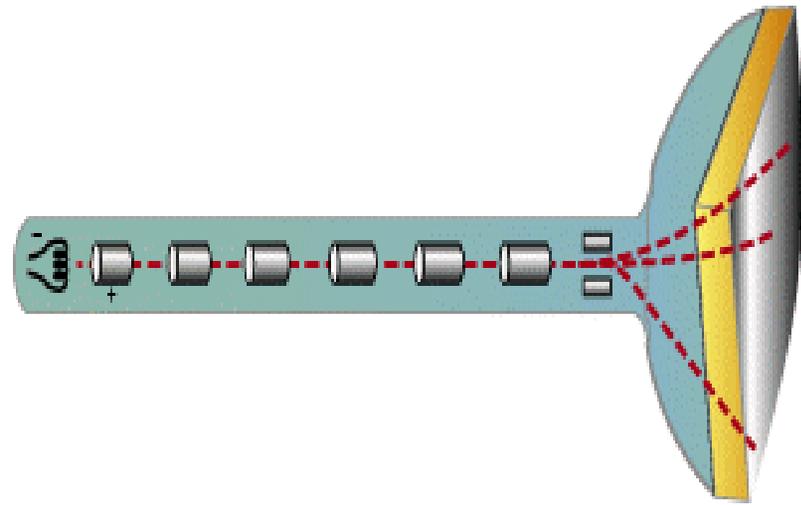


**Posee el mayor  
conjunto de  
aceleradores del  
mundo**

# El complejo de aceleradores del CERN



El ejemplo más sencillo: un  
Televisor.

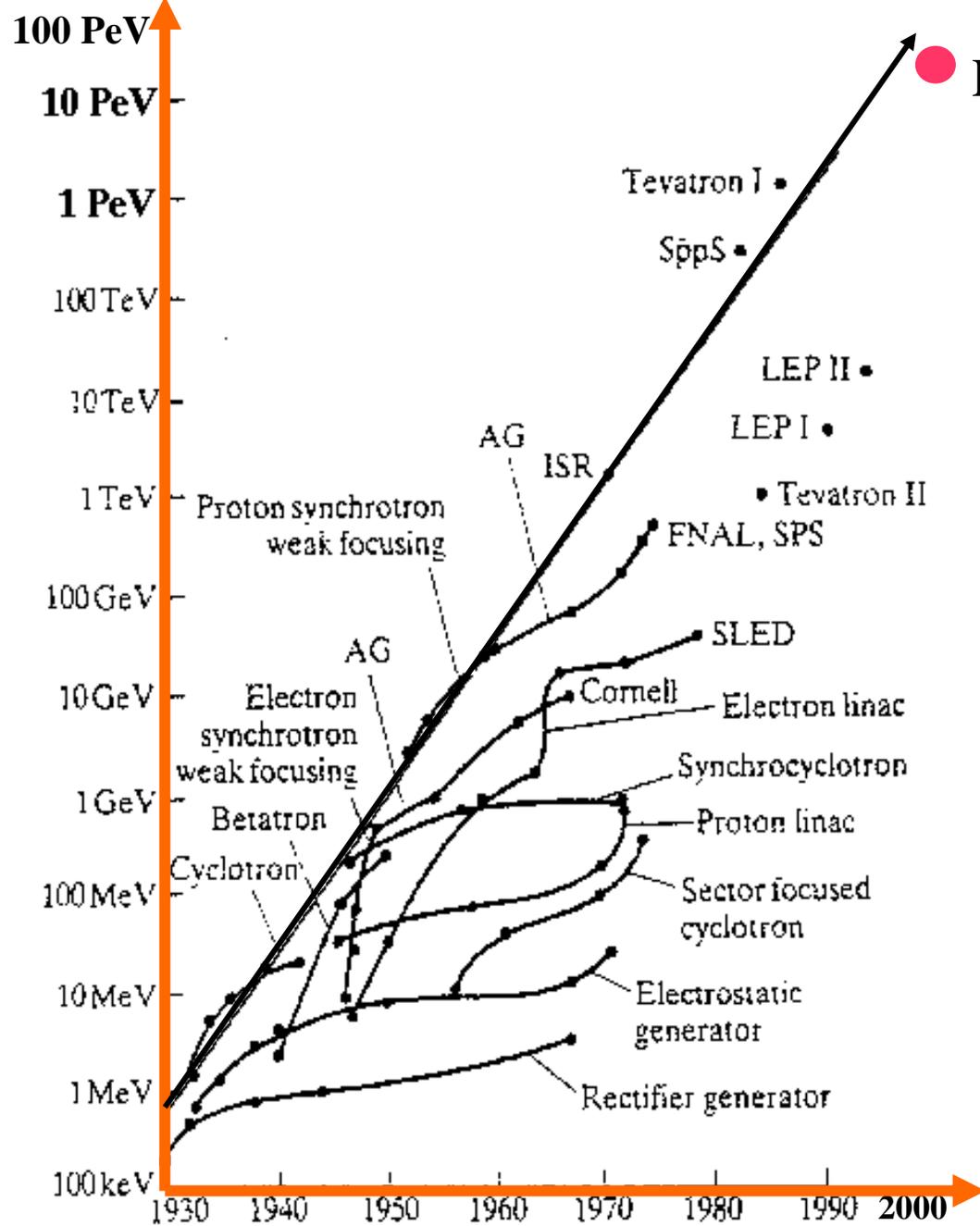


Precursor:

El tubo de rayos catódicos  
de Thomson ( $e^-$ )

Partes de un acelerador:

- Fuente de iones (partículas),
- Cavity aceleradora,
- Imanes (curvan y focalizan),
- Tubo de vacío,
- Detector (pantalla luminiscente)



LHC

# La carrera hacia los grandes aceleradores

(La figura de Livingston)

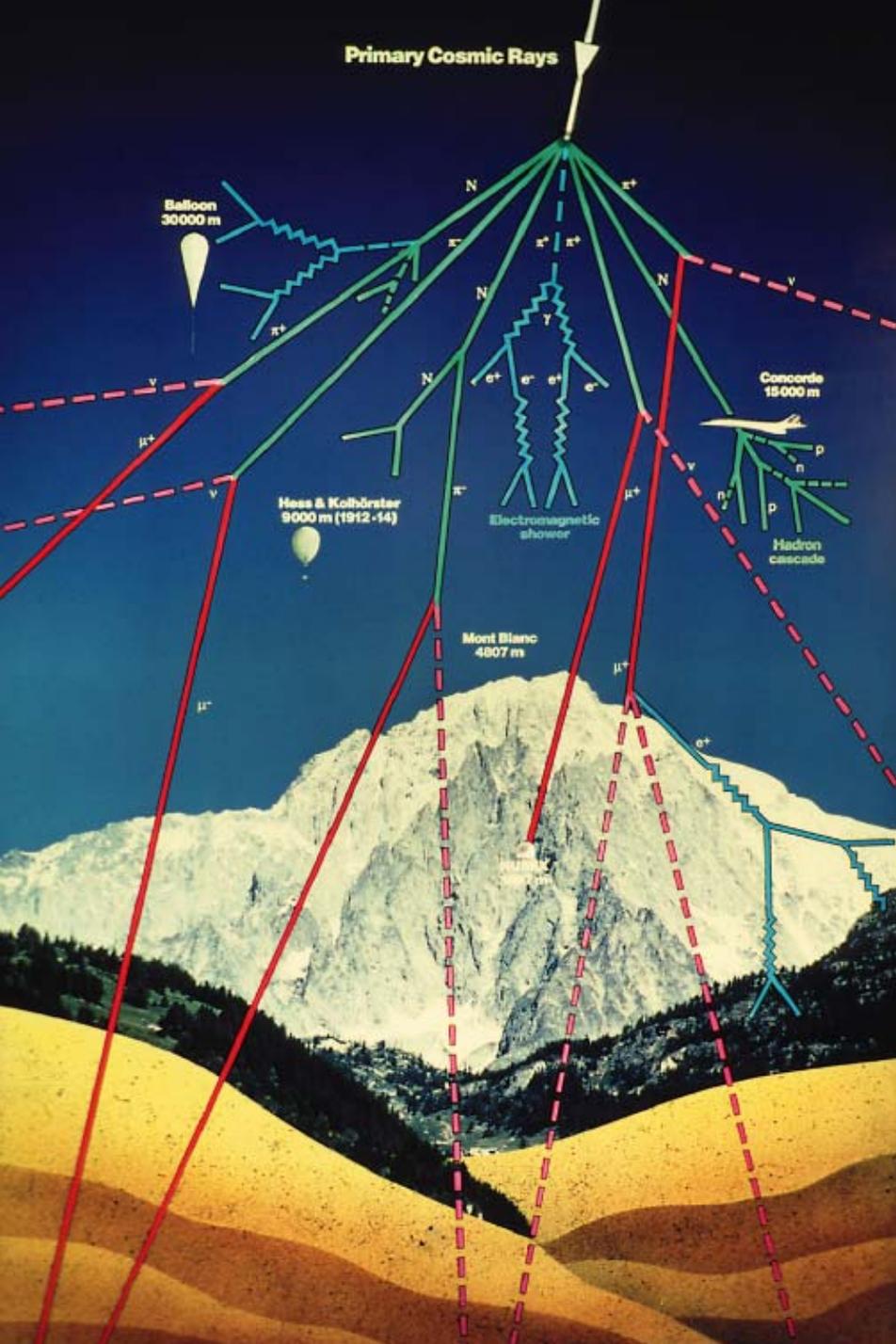


$$W^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 m_2$$



$$W^2 = 4 E^2$$

# Los rayos cósmicos

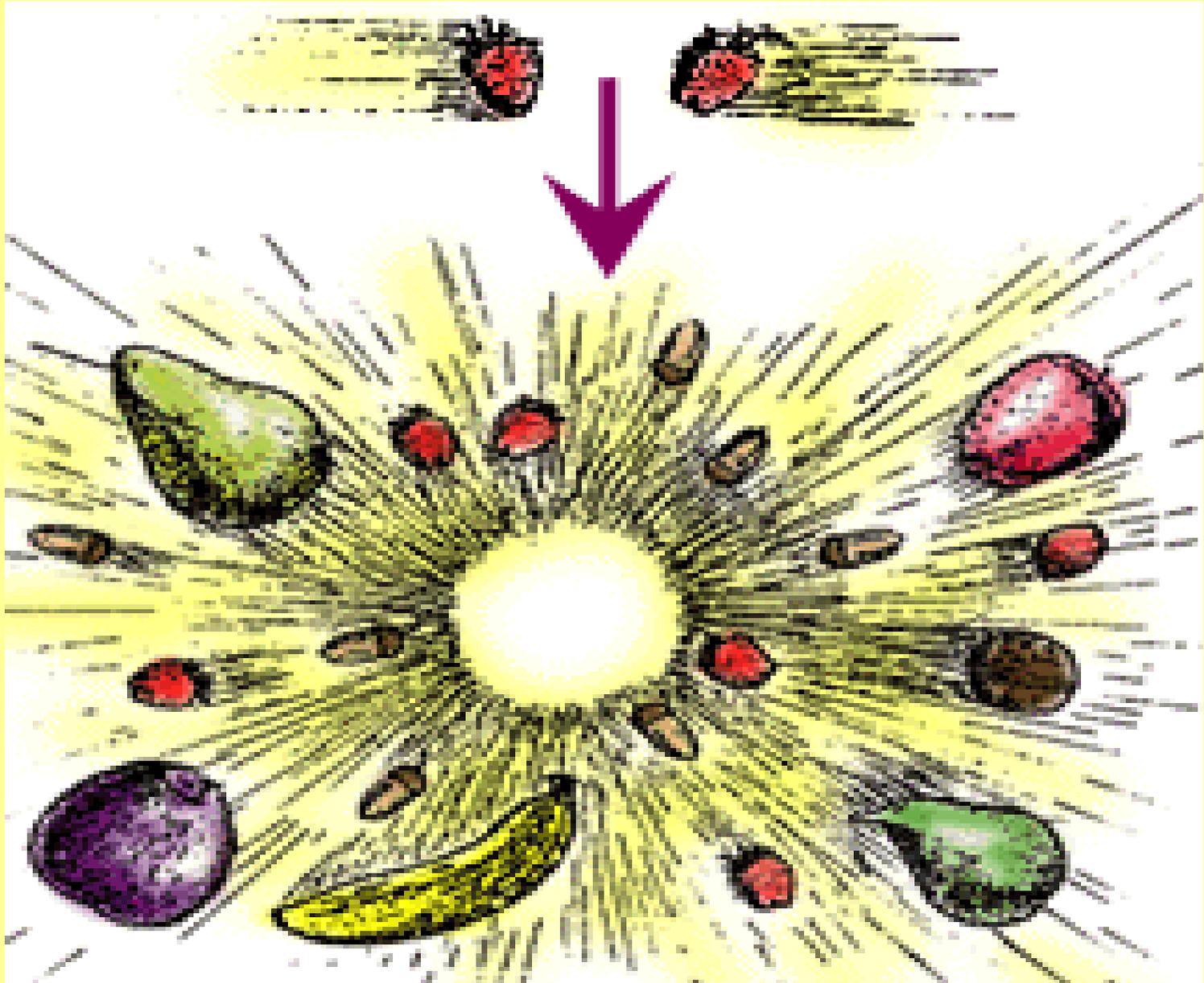


Vienen de todas direcciones del universo

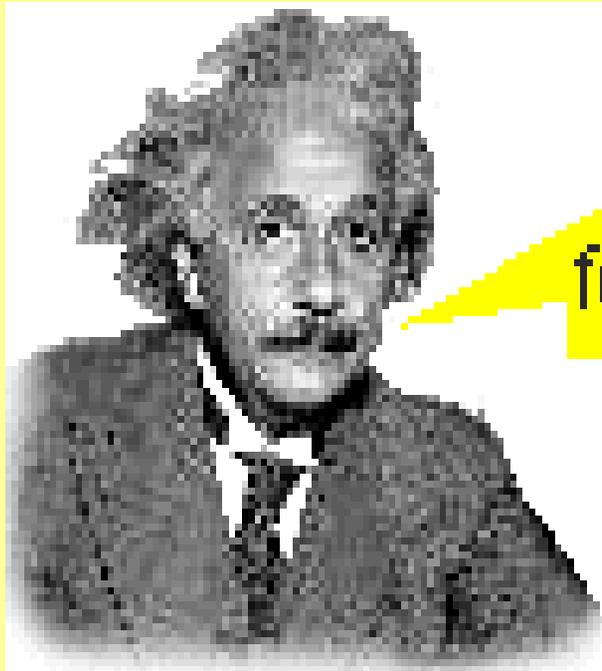
Con ellos se descubrieron las primeras partículas

También se descubrió la Antimateria!

# Reacciones entre partículas...

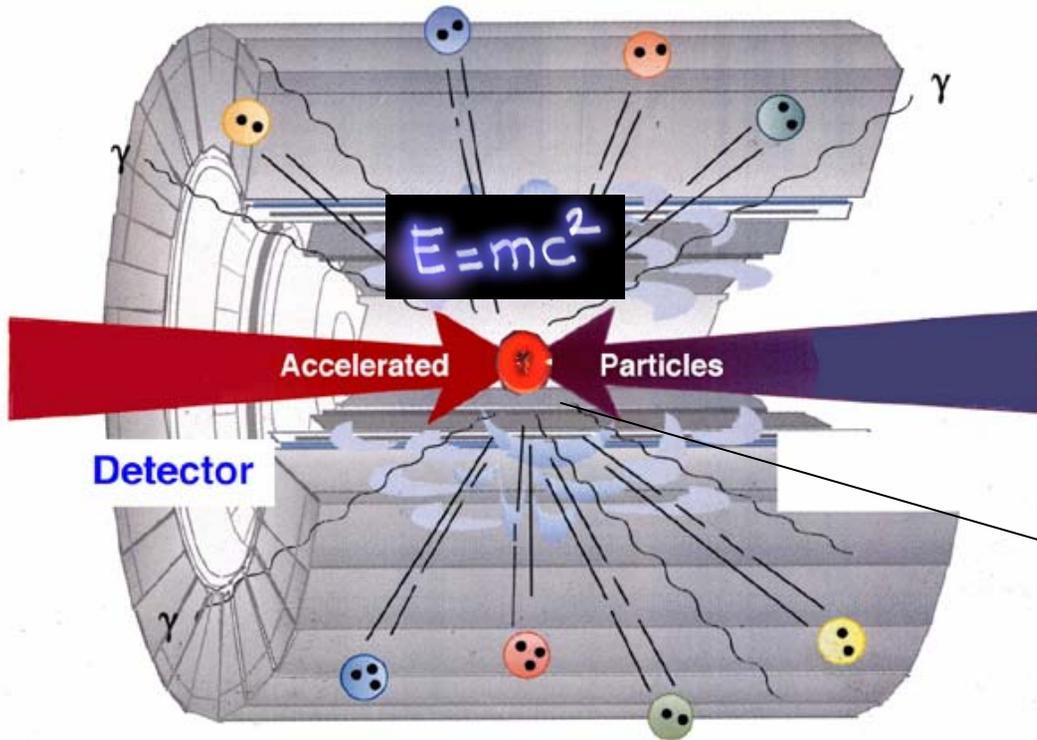


# La relatividad de Einstein ( $E=mc^2$ )



La masa es una  
forma de energía !

1. La energía puede transformarse en masa (  $p+p \rightarrow p+p+p+p$  )
2. Masas pueden aniquilarse dando energía (  $e^+e^- \rightarrow \gamma+\gamma$  )

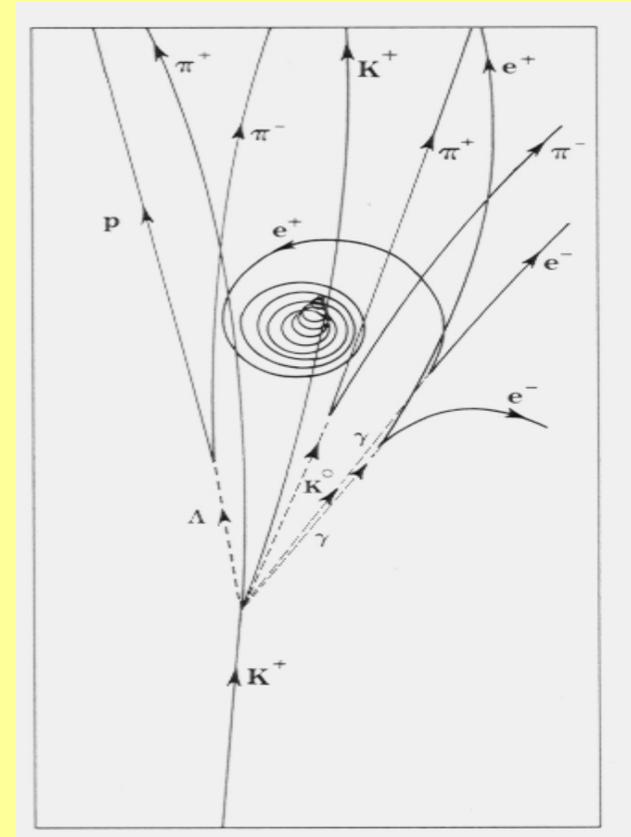
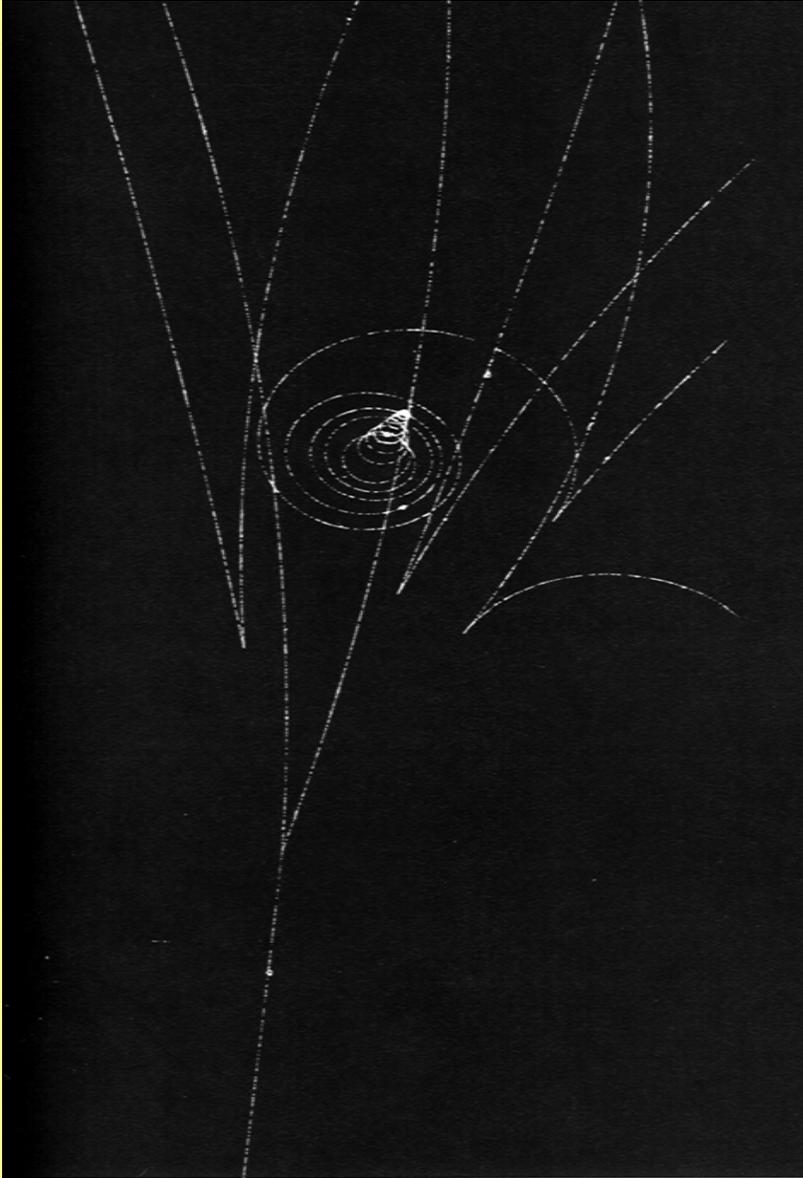


1) Concentrar energía en las partículas  
(Acelerador)

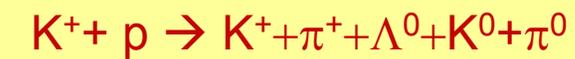
2) **Colisionar** partículas  
(Recrear condiciones posteriores al Big Bang)

3) Identificar partículas creadas en el **Detector** (Búsqueda de nuevas pistas)

# ¿Cómo funcionan los detectores de partículas?

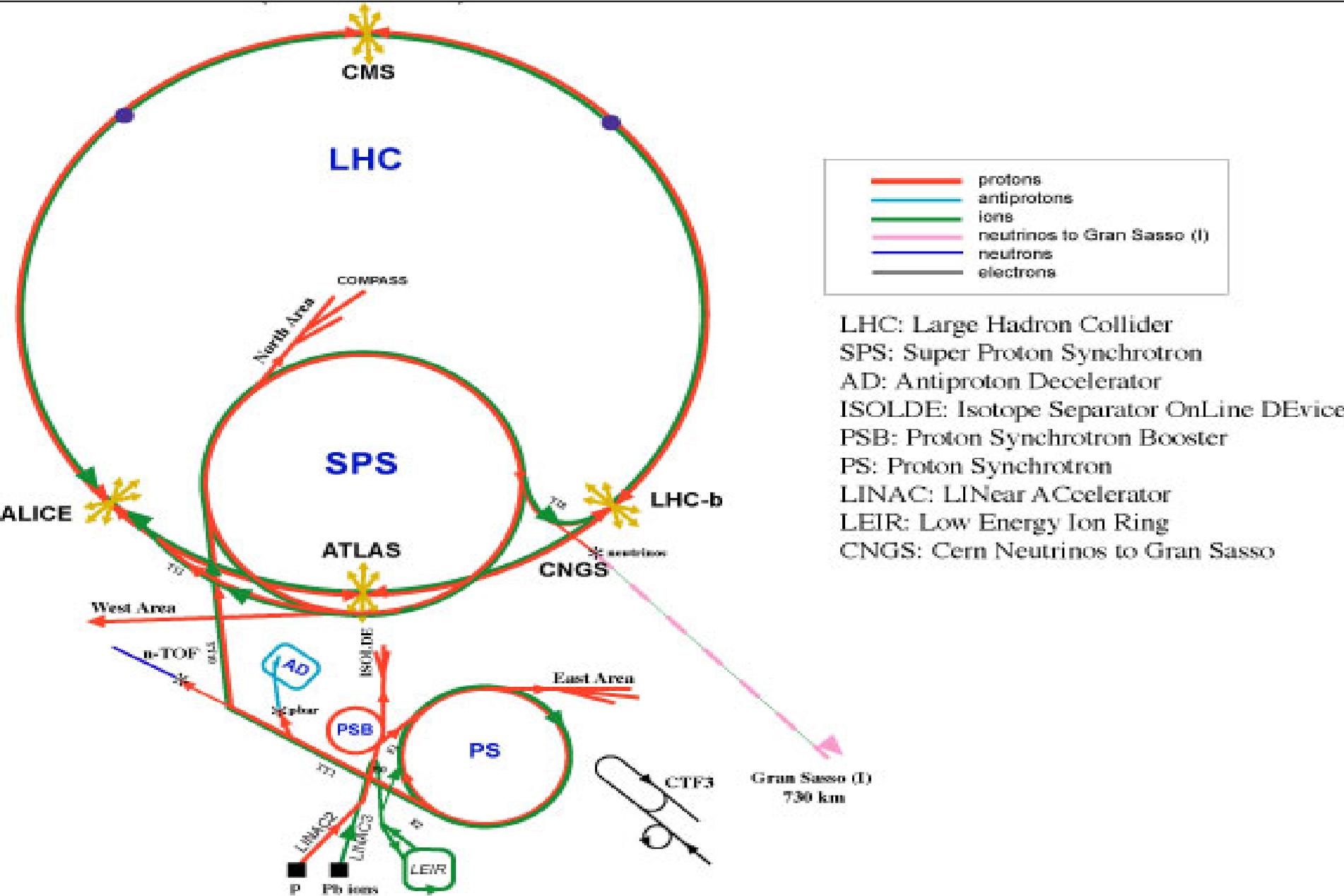


Interacción



en una cámara de burbujas

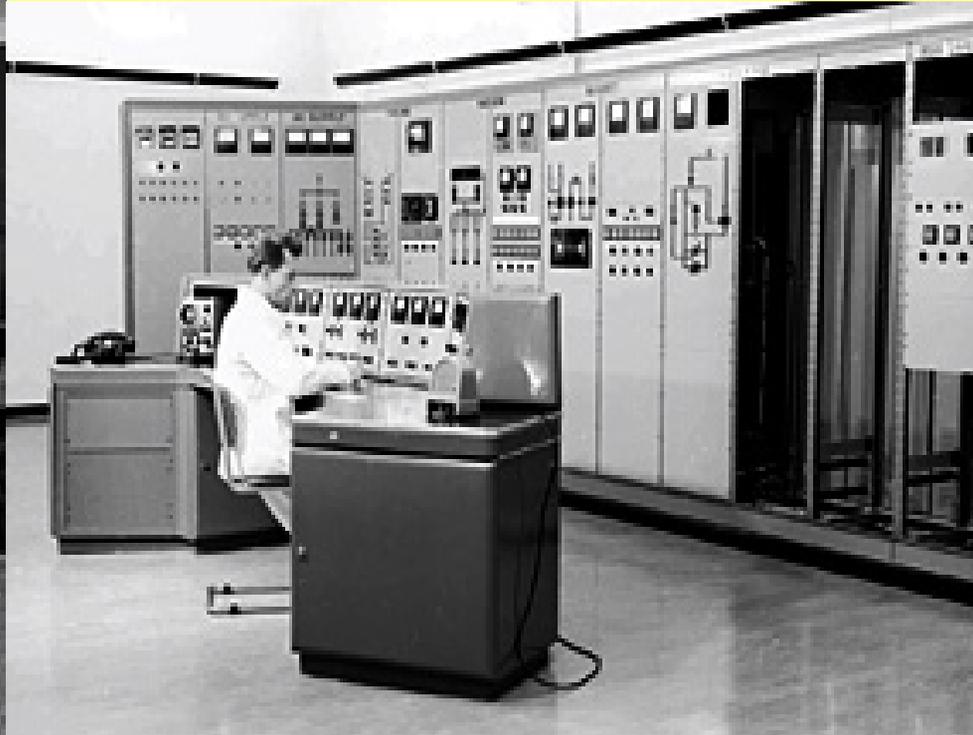
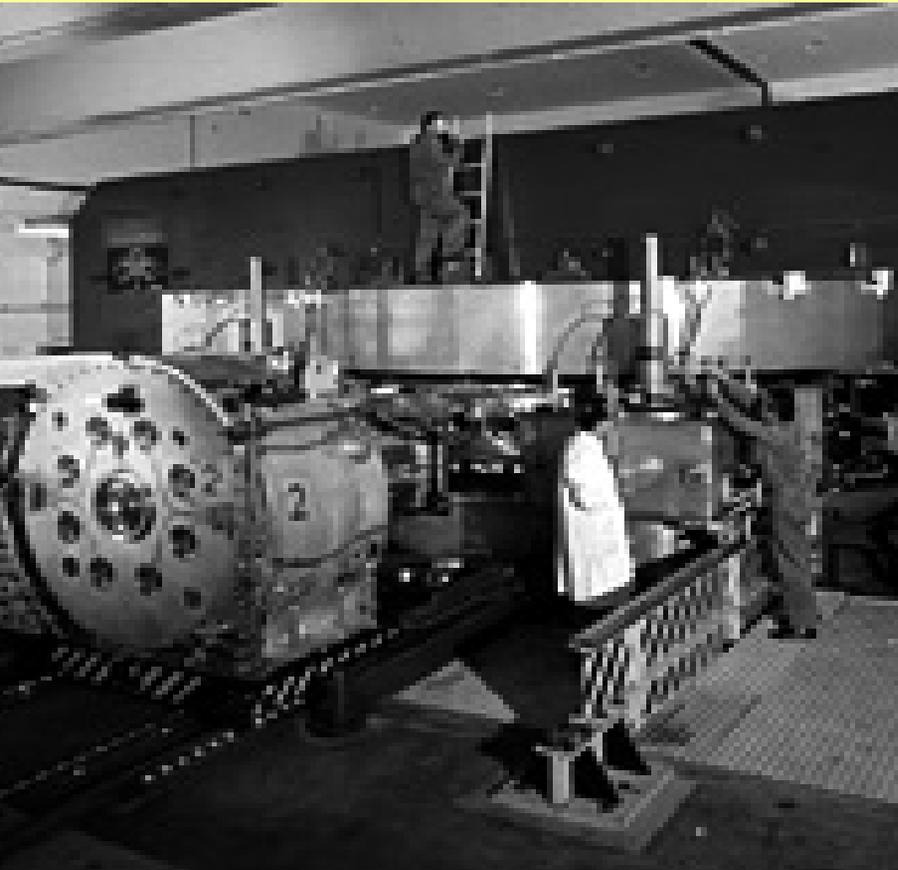
# El complejo de aceleradores del CERN



# El SC (Sincrociclotrón) de 600 MeV

1º acelerador del CERN.

Construido en 1957 y retirado en 1990.



# El PS (Sincrotrón de protones) 1959. Acelera hasta 45 GeV.



# El túnel del colisionador SpS

## Acelera hasta 450 GeV



# El colisionador LEP del CERN 1989-2000



CERN

SpS

&

*LHC*

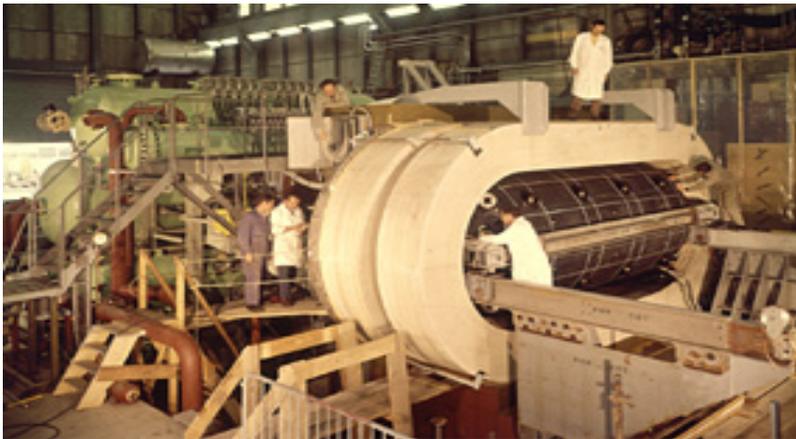
(Large Hadron Collider  
2007 → ...)



**1957:** El **SC (synchro-cyclotron)** de 600 MeV, fue el 1<sup>er</sup> acelerador del CERN. Después de 33 años fue cerrado en 1990

**1959:** El **PS (Proton Synchrotron)** aceleró protones hasta 45 GeV.

**1971:** **ISR (Intersecting Storage Rings)** el primer **colisionador** protón-protón



**1973:** descubrimiento de **corrientes neutras**, con  $\nu$ 's en la cámara de burbujas Gargamelle.

**1983: SPPS (Super-Proton Synchrotron),**  
colisionador protón-antiprotón  
(7km de circunferencia)

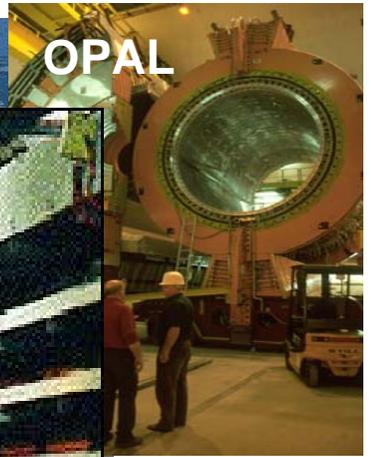
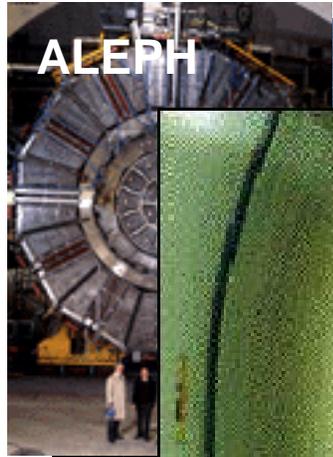
Dos experimentos UA1 y UA2 descubren los bosones **Z** y **W**

**2 Premios Nobel:**

**Rubbia**  
**Van der Meer**



**1989:** LEP (Large Electron-Positron), el colisionador de 27 km de circunferencia entra en funcionamiento, con sus 4 detectores:

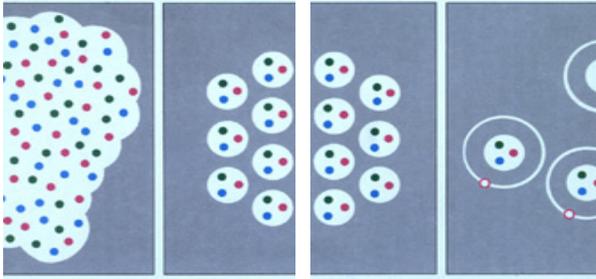


1990



**1999: LHC (Large Hadron Collider)**, comienzan las obras de construcción

**2000: Quark gluon plasma**, nuevo estado de materia, que existió después del BigBang.



estado de materia 20 veces más denso que la actual materia en la cual los quarks vagan libremente

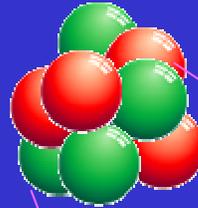
**2002: Antihidrógeno**, se fabrican miles de antiátomos en el CERN

**2007: LHC** el colisionador protón-protón más grande del mundo entrará en funcionamiento... junto con sus 4 experimentos, ALICE, ATLAS, CMS y LHCb



# El átomo

Núcleo Atómico



$$1 \text{ Angstrom} = \frac{1}{100.000.000.} \text{ cm}$$

$$1 \text{ Fermi} = \frac{1}{100.000} \text{ Angstrom} \\ = \frac{1}{10.000.000.000.000} \text{ cm}$$

• electrón



# Tabla periódica de los Elementos

1											2							
1	<b>H</b>											<b>He</b>						
2	<b>Li</b>	<b>Be</b>											<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	<b>Ne</b>
3	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	— VII —		IB	IB	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>	<b>Ar</b>	
4	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Sc</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ga</b>	<b>Ge</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	<b>Br</b>	<b>Kr</b>
5	<b>Rb</b>	<b>Sr</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Nb</b>	<b>Mo</b>	<b>Tc</b>	<b>Ru</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Ag</b>	<b>Cd</b>	<b>In</b>	<b>Sn</b>	<b>Sb</b>	<b>Te</b>	<b>I</b>	<b>Xe</b>
6	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	* <b>La</b>	<b>Hf</b>	<b>Ta</b>	<b>W</b>	<b>Re</b>	<b>Os</b>	<b>Ir</b>	<b>Pt</b>	<b>Au</b>	<b>Hg</b>	<b>Tl</b>	<b>Pb</b>	<b>Bi</b>	<b>Po</b>	<b>At</b>	<b>Rn</b>
7	<b>Fr</b>	<b>Ra</b>	+ <b>Ac</b>	<b>Rf</b>	<b>Db</b>	<b>Sg</b>	<b>Bh</b>	<b>Hs</b>	<b>Mt</b>	<b>Ds</b>	<b>111</b>	<b>112</b>						

Naming conventions of new elements

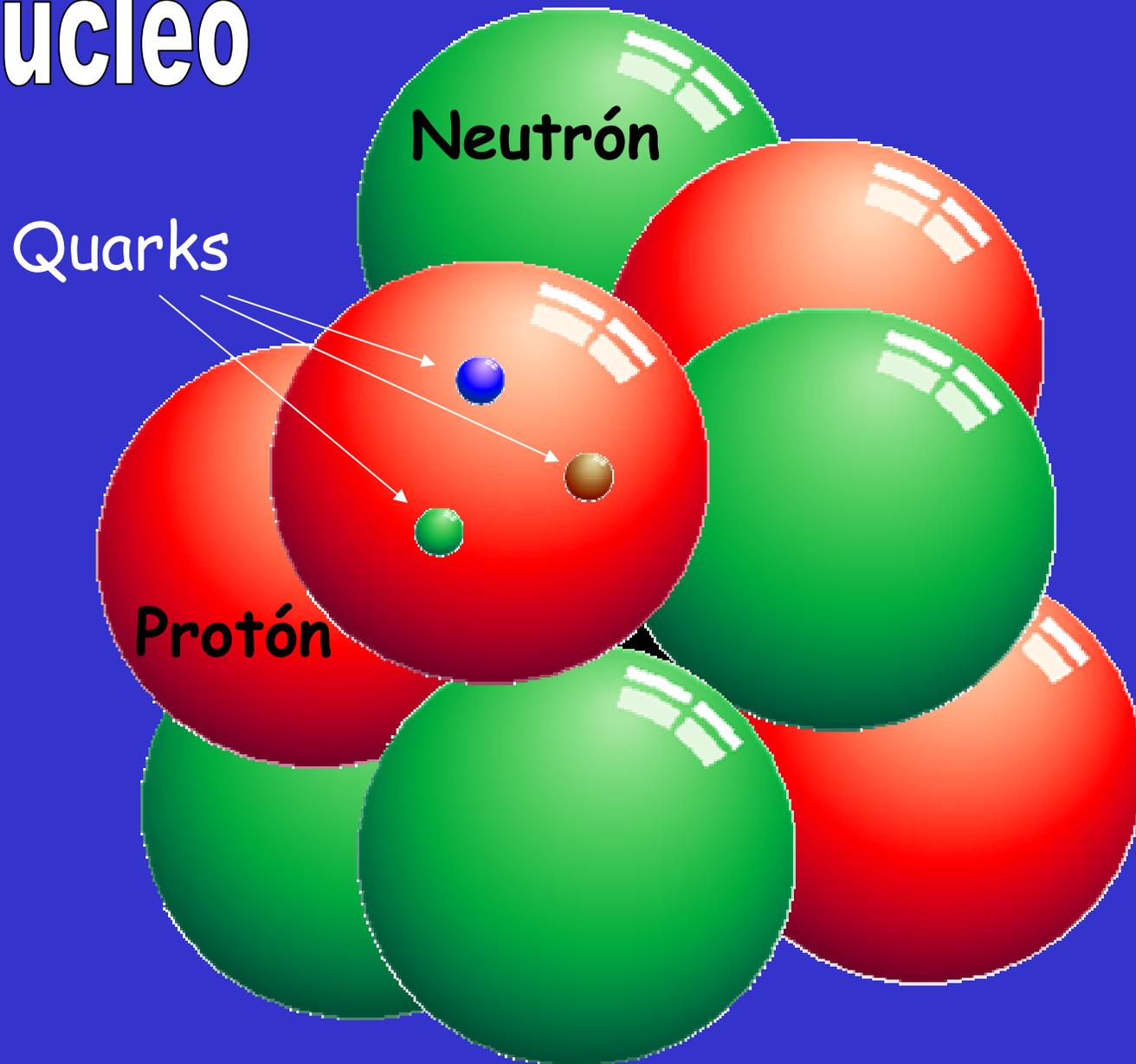
\* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Pm</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>

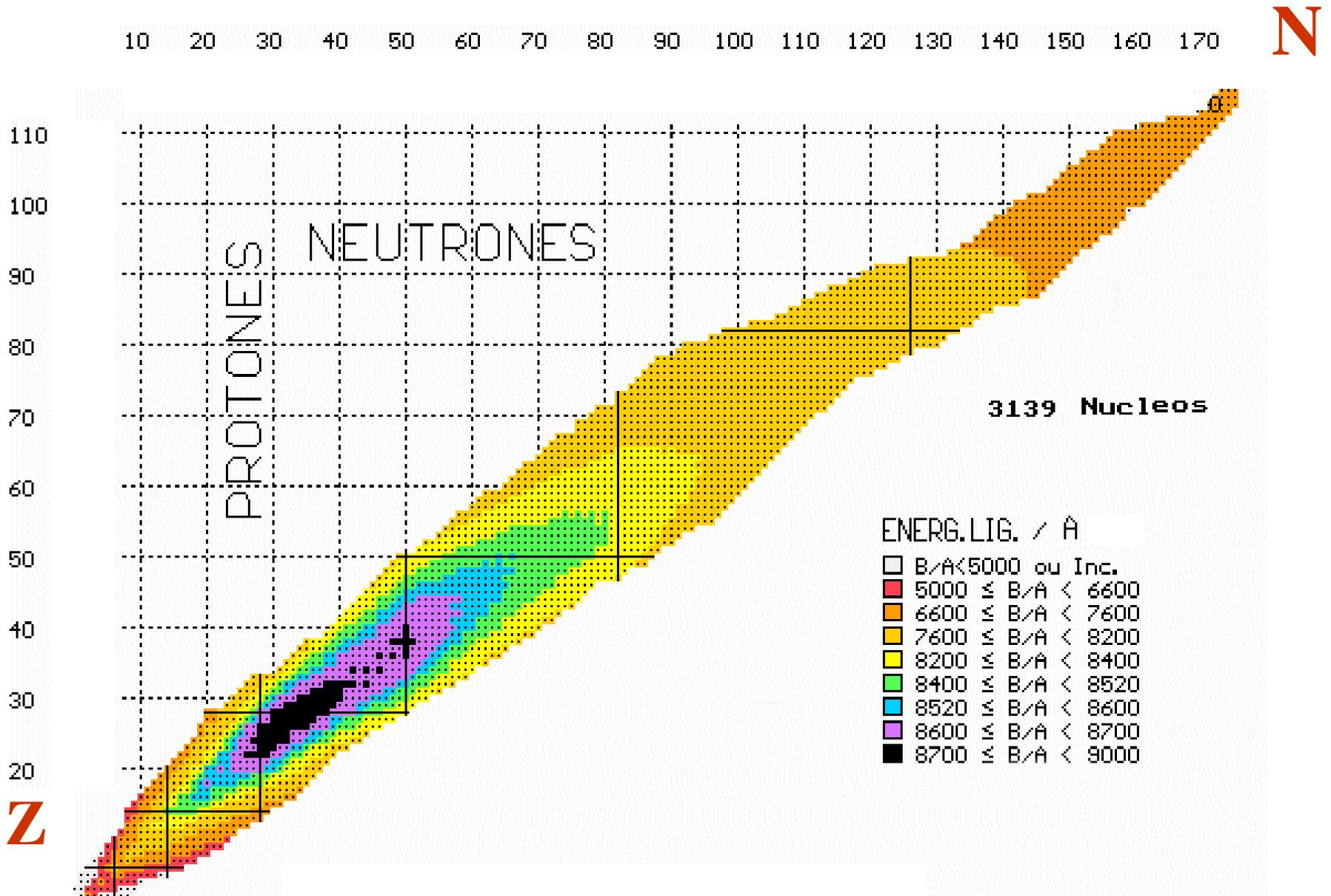
+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
<b>Th</b>	<b>Pa</b>	<b>U</b>	<b>Np</b>	<b>Pu</b>	<b>Am</b>	<b>Cm</b>	<b>Bk</b>	<b>Cf</b>	<b>Es</b>	<b>Fm</b>	<b>Md</b>	<b>No</b>	<b>Lr</b>

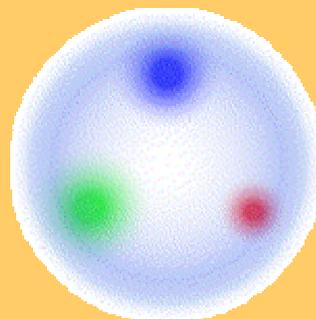
# El núcleo



# La tabla de núcleos



## Quarks (Gell-Mann) 1964



**Proton**

Sistema periódico actual de los bloques fundamentales de la materia.

	<i>Quarks</i>		<i>Leptons</i>	
<b>Generation 3</b>	 t Top	 b Bottom	 τ Tau	 ν <sub>τ</sub> Tau-neutrino
<b>Generation 2</b>	 c Charm	 s Strange	 μ Muon	 ν <sub>μ</sub> Muon-neutrino
<b>Generation 1</b>	 u Up	 d Down	 e Electron	 ν <sub>e</sub> Electron-neutrino

# El Modelo Estándar

Generación I      Generación II      Generación III

Leptones

$\nu_e$	$e$
---------	-----

$\nu_\mu$	$\mu$
-----------	-------

$\nu_\tau$	$\tau$
------------	--------

Quarks

$u$	$u$	$u$
$d$	$d$	$d$

$c$	$c$	$c$
$s$	$s$	$s$

$t$	$t$	$t$
$b$	$b$	$b$

Bosones  
"Gauge"

$Z^0$	$W^+$	$\gamma$
	$W^-$	

	$g$	

Higgs

Graviton





Mystery



¿Por qué tres generaciones?

Mystery



¿Supersimetría?

Mystery



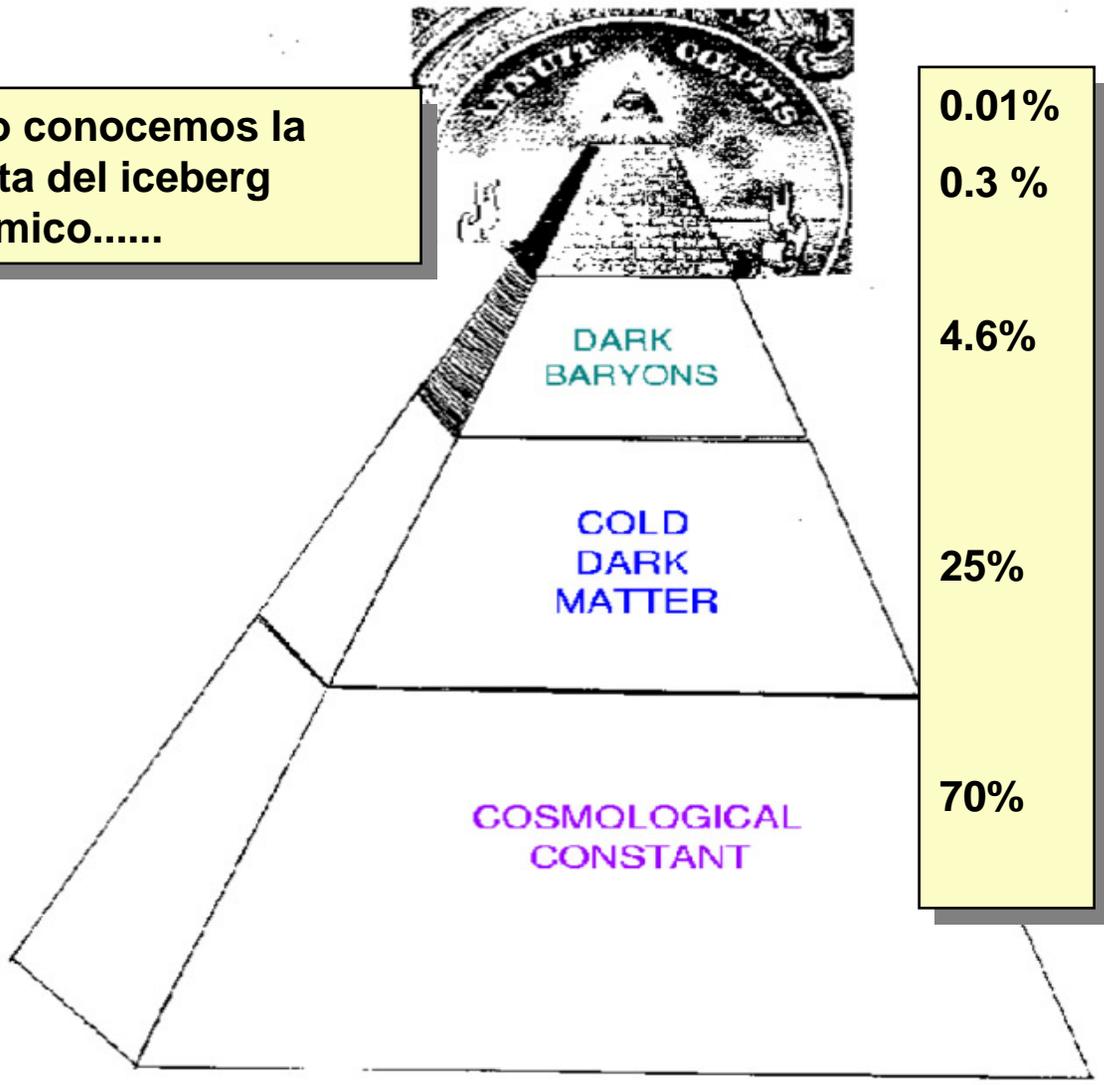
¿Bosón de Higgs?

El LHC nos  
ayudará a  
resolver estos  
misterios.



# ¡Nos falta el 95% del universo!

Sólo conocemos la punta del iceberg cósmico.....



# El colisionador LHC en el tunel del LEP

Dos haces de protones en  
sentidos opuestos

Energía de colisión

protón + protón:

$7 + 7 \text{ TeV}$

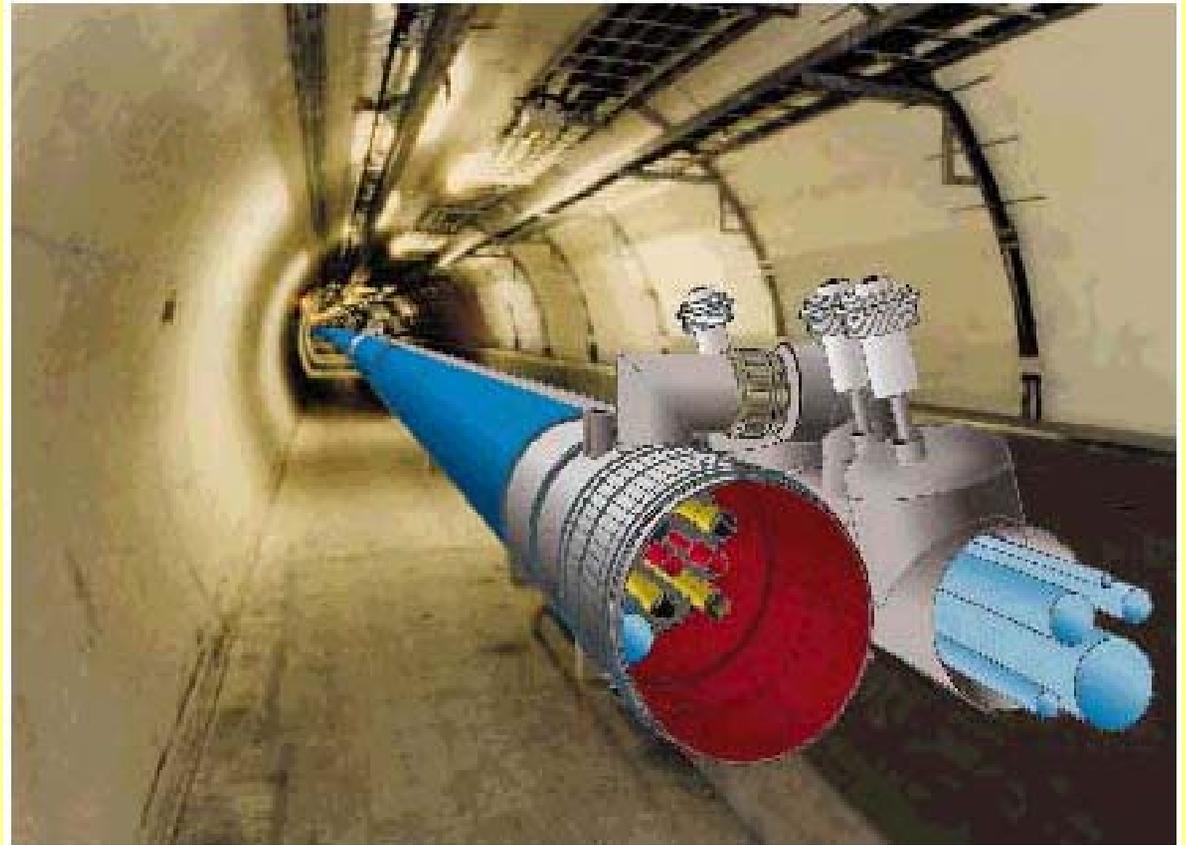
'constituyentes':

$\sim 1 + 1 \text{ TeV}$

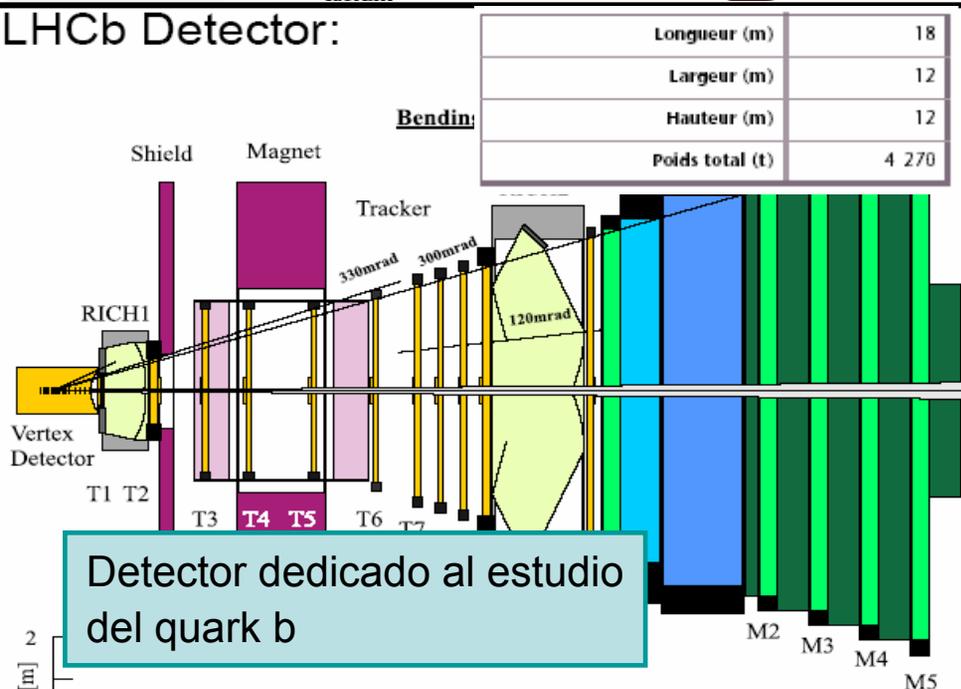
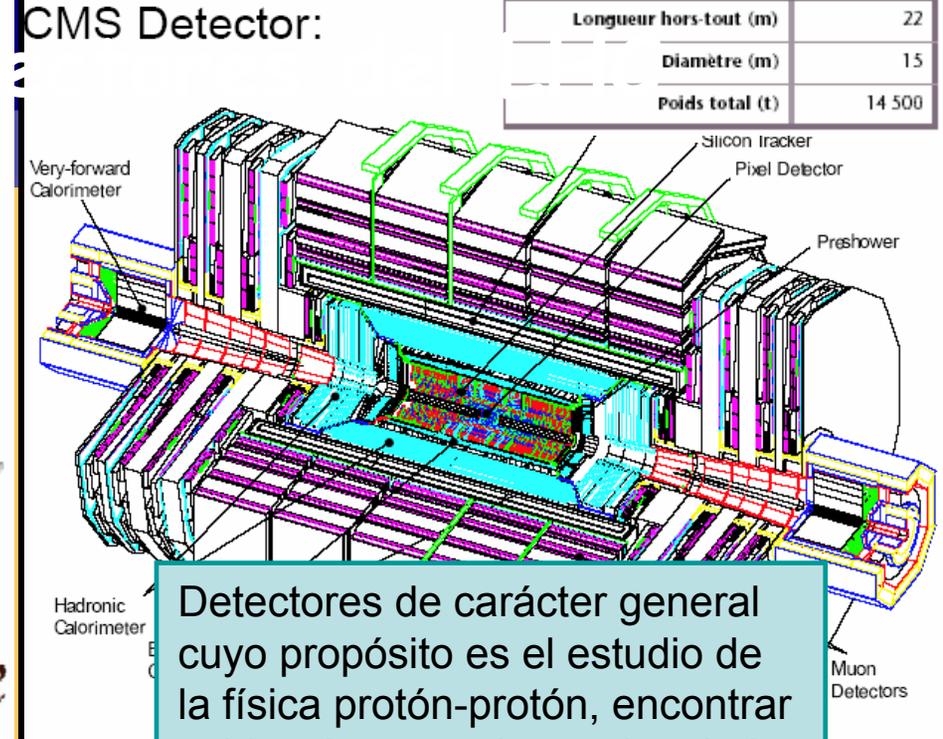
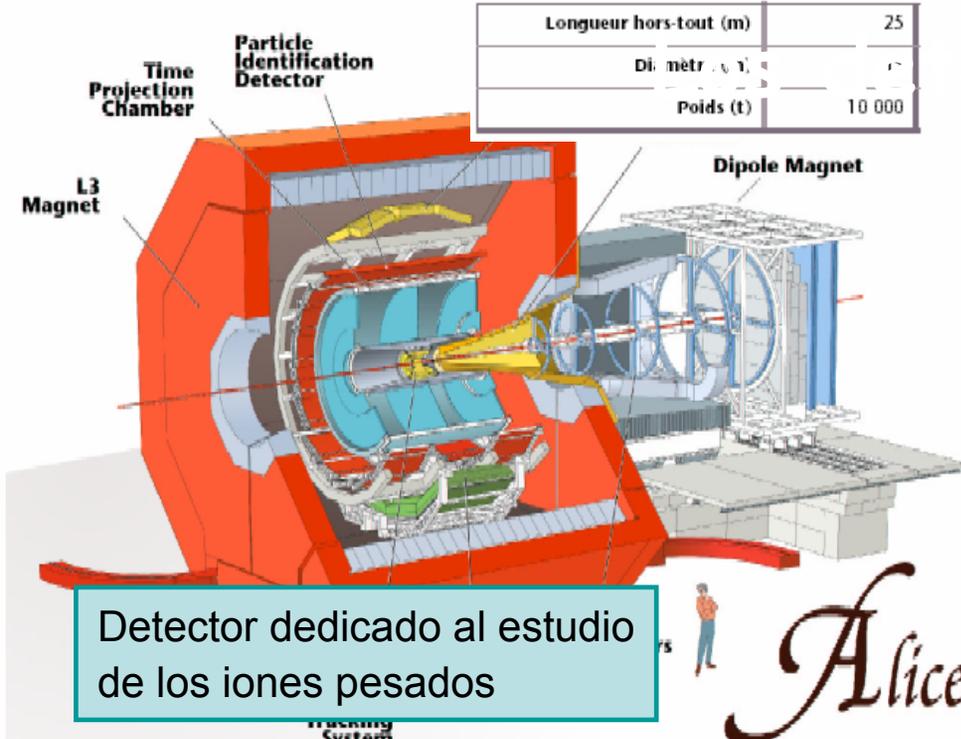
27 Km de imanes con  
un campo magnético  
de 8.4 Tesla

Helio superfluido

enfriado a  $1.9^\circ\text{K}$



La mayor estructura superconductora  
del Mundo



## Los físicos valencianos del IFIC

(Instituto de Física Corpuscular), construyen detectores de partículas y han hecho varios experimentos en el CERN; los más importantes

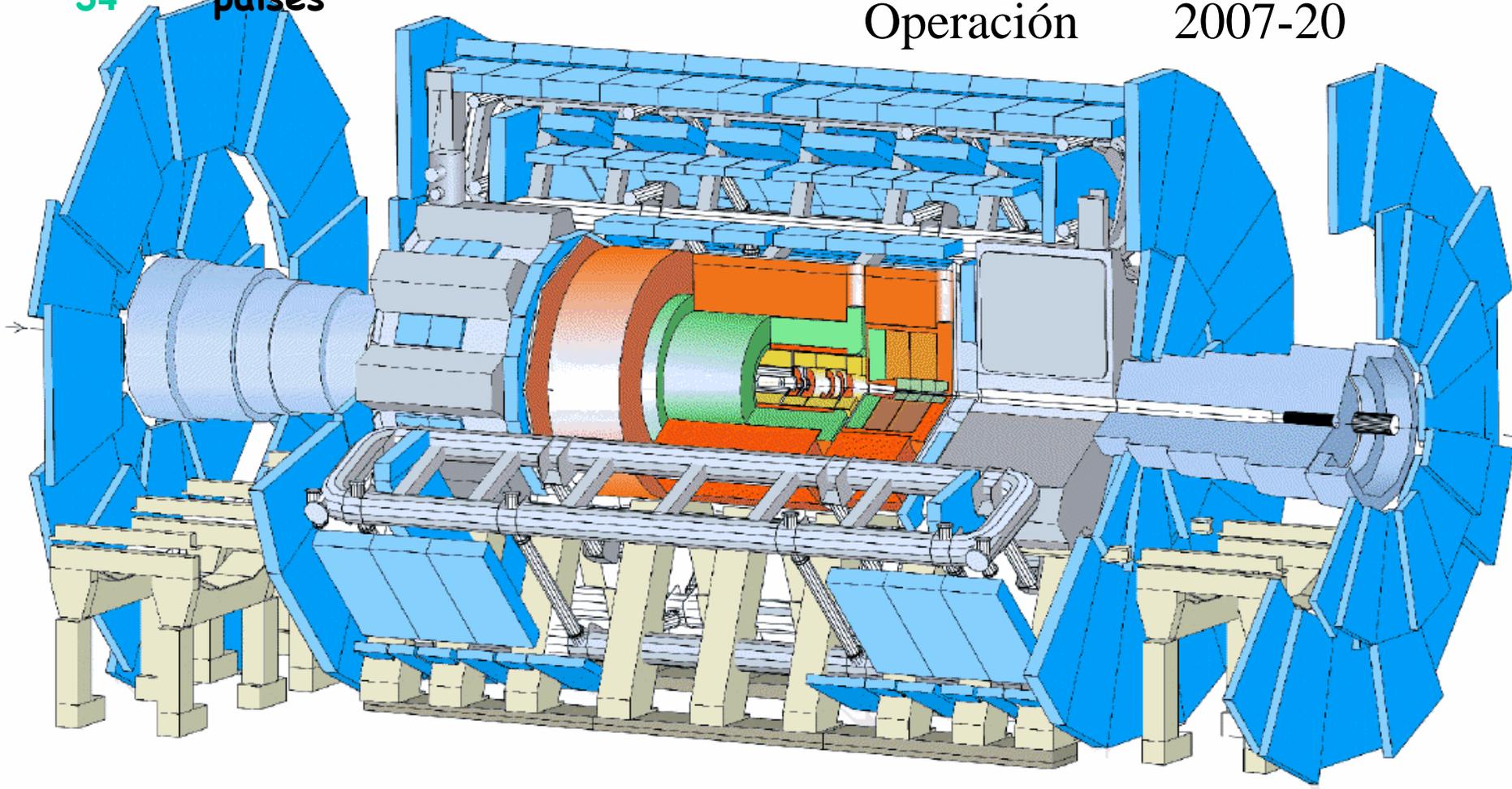
Proyecto DELPHI en LEP (desde 1985 hasta 2000)

Proyecto ATLAS en LHC (desde 1999 hasta .... 2020?)

# Colaboración ATLAS

~1800 físicos  
150 institutos  
34 países

I&D	1988-95
Propuesta	1994
Aprobación	1996
Instalación	2004-06
Operación	2007-20



150 millones de canales de detección  
1 millón de puntos de control  
1 millón de líneas de código

475 MCHF, CERN: 15%

# ¿Cómo se construye el experimento ATLAS?

En la co  
proc

De entr  
**Vale**

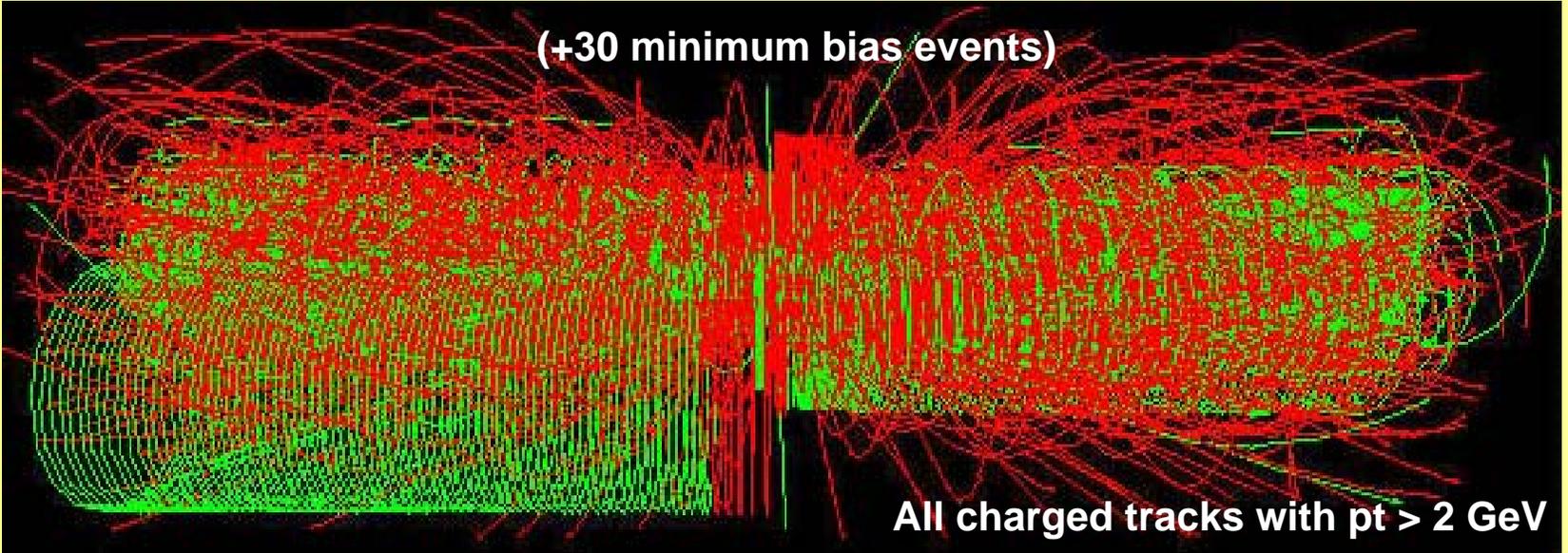
Actualm



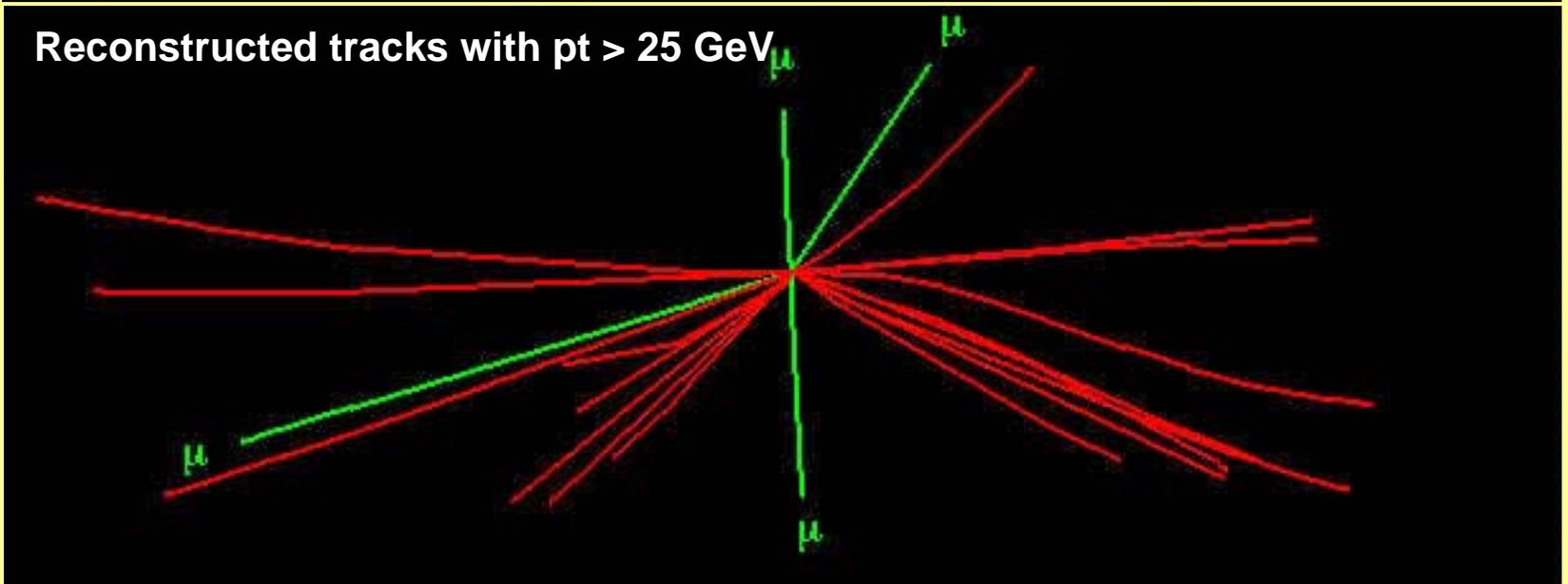
ar) de

trónico

(+30 minimum bias events)



Reconstructed tracks with  $pt > 25$  GeV



# EL USO DE ACELERADORES DE PARTÍCULAS

1. Aceleradores para la Investigación Básica (Alta Energía)
2. Aceleradores para Aplicaciones
  - a) Radiación Sincrotrón (ESRF, HASYLAB,...)
  - b) Diagnóstico y tratamiento de tumores:  
Aceleradores lineales de electrones. (Hospitales)  
Aceleradores de iones (Hadroprotección)
  - c) Ciclotrones (fabricación de fuentes radiactivas).
  - d) Aceleradores de iones para aplicaciones industriales.

# Aceleradores en el mundo

## CATEGORIA

## NUMERO

Implantadores de iones. Trat. de super.	~ 7000
Aceleradores en la industria	> 1500
Aceleradores en investigación no nuclear	~ 1000
Radioterapia	> 5000
Producción de radioisótopos médicos	~ 200
Terapia con hadrones	~ 20
Fuentes de radiación sincrotrón	~ 70
Aceleradores de invest. en FN y F Partículas	~ 110

## TOTAL

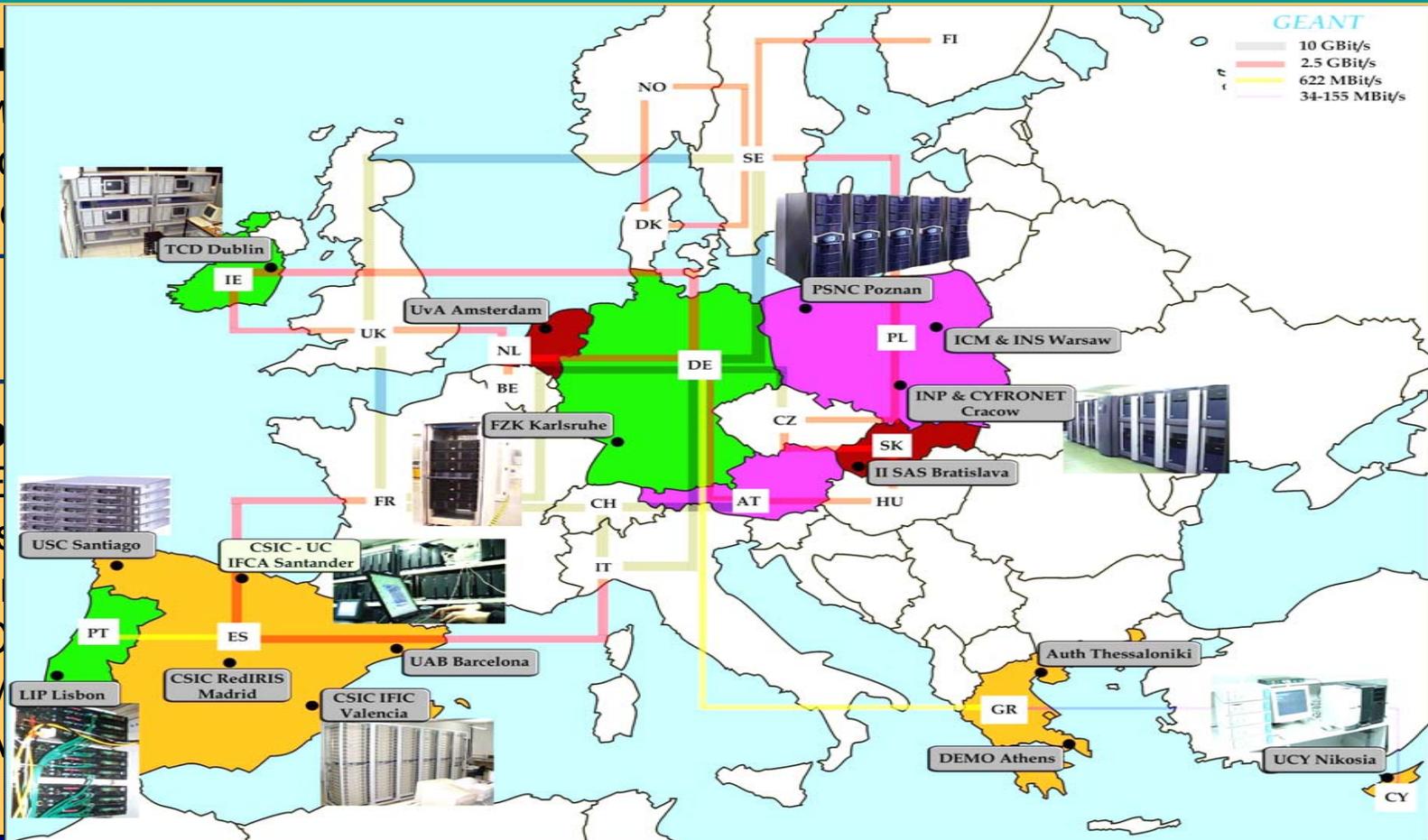
~ 15000



Gran volumen de datos producidos en LHC: 1 Petabyte/año (1Peta=10<sup>6</sup>Giga) no pueden procesarse con el sistema informático y de cálculo utilizado hasta ahora

Solu  
softw  
munc  
prop

los  
el



esea:

¿que p  
- E  
- As  
(i  
- O  
- M  
- A