



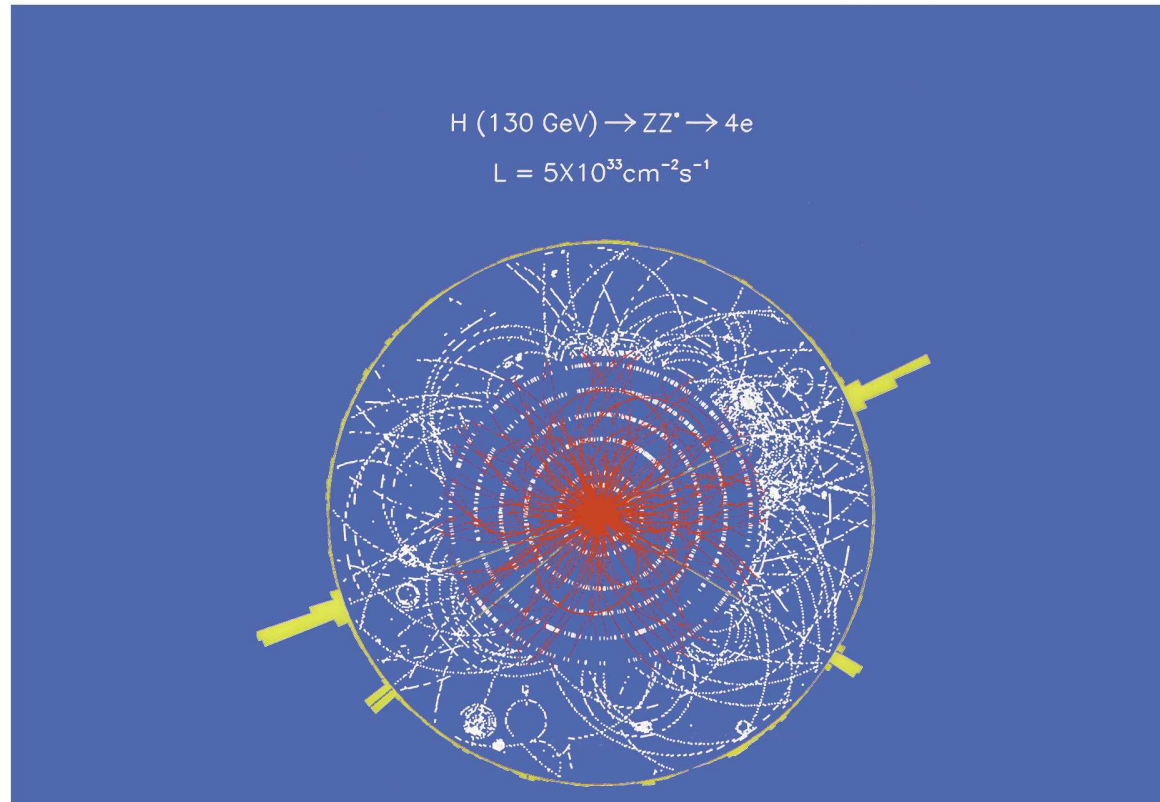
# EL Proyecto LHC

## 2ª Parte: La Aventura

Juan A. Fuster Verdú IFIC-València  
Benasque, Julio 2004

# Los retos del futuro LHC (2007): El científico

Región Cinematica Nueva: 14 TeV



Búsqueda del «Higgs» (partícula clave en la estructura del Modelo Estándar)

A tener en cuenta (concepto de partícula elemental):

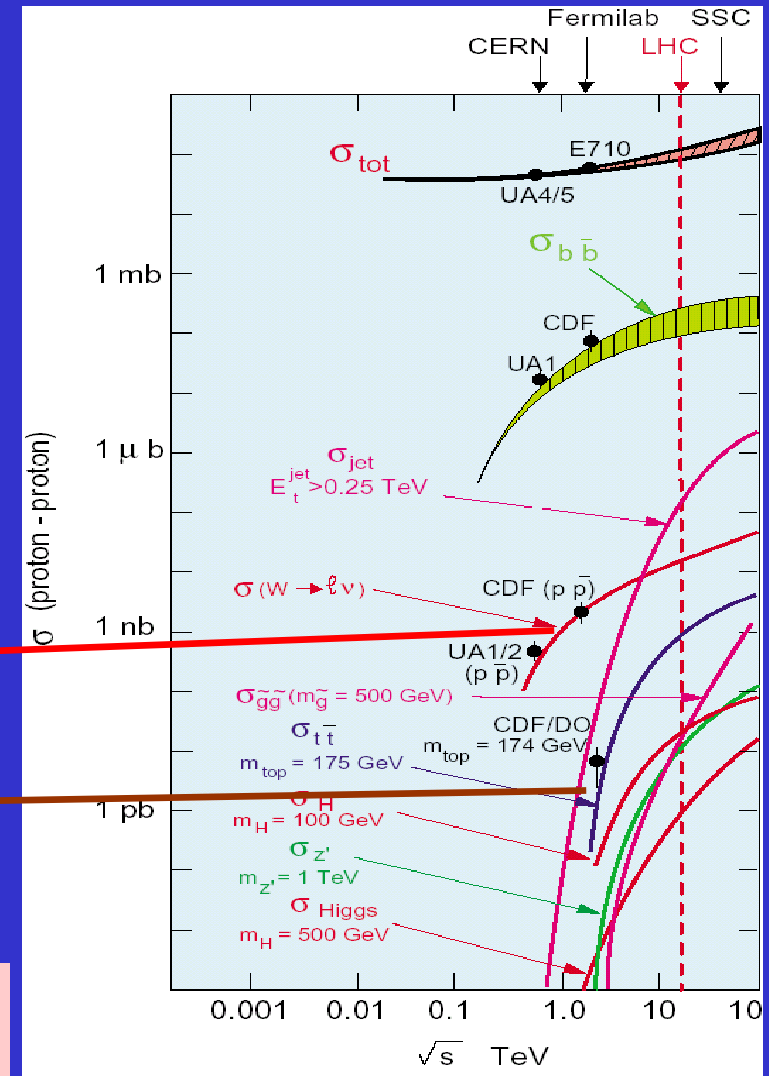
$M_H$  entre  $2 \times 10^5 m_e$  y  $2 \times 10^6 m_e$  o lo que es lo mismo  $\sim 100-1000 m_p$

# Los procesos del LHC

	$E_{CM}$ TeV	Lumi $cm^{-2}s^{-1}$	Lumi/año $fb^{-1}$
TeVatron	2	$<10^{32}$	0.3
LHC (Baja Lum)	14	$2 \times 10^{33}$	10
LHC (Alta Lum)	14	$10^{34}$	100

Procesos	$\sigma(pb)$	Sucesos/s	Sucesos/año
bb	$5 \times 10^8$	$10^6$	$10^{12}$
$Z \rightarrow ee$	$1.5 \times 10^3$	$\sim 3$	$10^7$
$W \rightarrow ev$	$1.5 \times 10^4$	$\sim 30$	$10^8$
$WW \rightarrow evX$	6	$10^{-2}$	$6 \times 10^3$
tt	830	$\sim 2$	$10^7$
H (500 GeV)	1	$2 \times 10^{-3}$	$10^4$

- 1- La Búsqueda del Higgs es *buscar la aguja del pajar*
- 2.- No sólo de Higgs vive el LHC



## Cronología del bosón de Higgs

- 1964** - Mecanismo de Higgs (P. Higgs)
- 1967** - Modelo Estándar (S. Weinberg, A. Salam)
- 2000** - Final de LEP, el ME se confirma sin Higgs
- 2007** - Comienzo de LHC  $\left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ años Lum. Baja } L = 3 \cdot 10^4 \text{ pb}^{-1} \\ 3 \text{ años Lum. Alta } L = 3 \cdot 10^5 \text{ pb}^{-1} \end{array} \right.$
- 2010** - Primera señal del bosón de Higgs en el LHC ??
- 2014** - Estudio de las propiedades del bosón de Higgs ??  
(masa, anchura, desintegración, acoplamientos, etc..)

**1964 - 2014 = 50 años**

## Por qué necesitamos el Mecanismo de Higgs

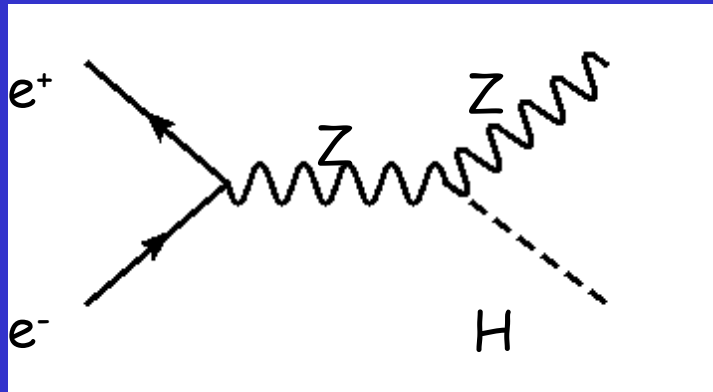
- 1- Para preservar la renormalizabilidad del Modelo Estándar y dotar de masa a los bosones  $Z$ ,  $W^+$ ,  $W^-$  (sus interacciones con el Higgs)
- 2- Por que necesitamos eliminar los bosones de Goldstone que aparecen en el mecanismo (partículas de espín 0 sin masa no observadas)

*"From today's perspective, it may seem odd that so much attention was focused on the issue of renormalizability. Like general relativity, the old theory of weak interactions based on four fermion interactions could have been regarded as an effective quantum field theory which works perfectly well at sufficiently low energy and with the introduction of a few additional free parameters even allows the calculation of quantum corrections."*

*S. Weinberg, The making of Standard model  
( CERN, 16 - Sept - 2003 )*

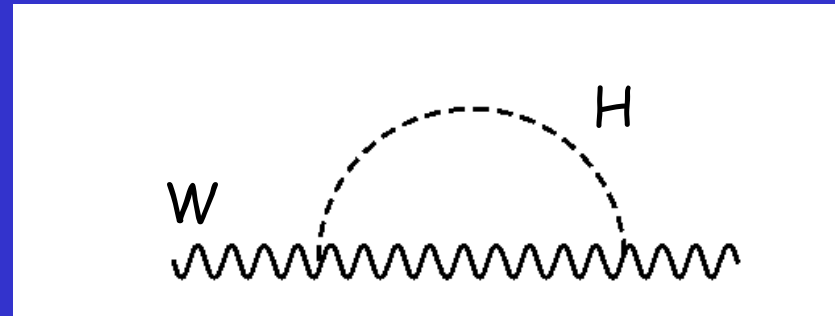
# ¿ Qué hemos aprendido en LEP del Higgs ?

Búsqueda directa

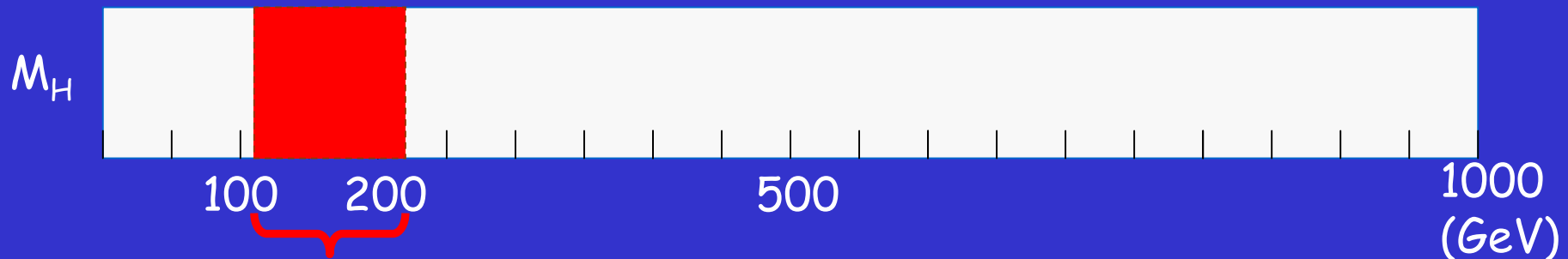


$$M_H > 114 \text{ GeV}$$

Correcciones de orden superior



$$M_H < 219 \text{ GeV}$$



La única ventana para que exista el Higgs según el ME

## Búsqueda indirecta

A día de hoy

$$m_t = 174.3 \pm 5.1 (\text{exp}) \text{ GeV}$$

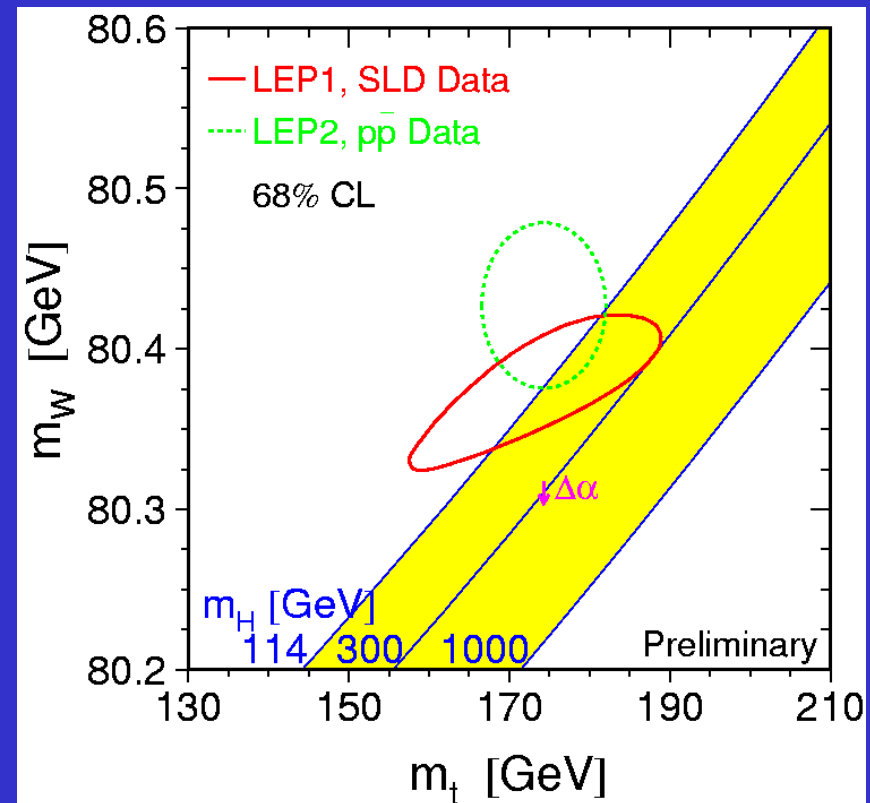
$$m_W = 80.426 \pm 0.035 (\text{exp}) \text{ GeV}$$

$\delta m_t, \delta m_W$  dominan el fit del ME

$$M_H < 219 \text{ GeV} @ 95\% \text{ CL}$$

Perspectivas en Tevatron run II  
antes de la operación del LHC

$$\delta m_t \leq 2.5 \text{ GeV} ; \delta m_W \leq 25 \text{ MeV}$$
$$\Rightarrow \delta m_H / m_H \leq 35\%$$



Muy importante en el LHC al principio realizar medidas de alta precisión del ME ( $m_t$  y  $m_W$ ).

## Búsqueda indirecta en el LHC, primer año

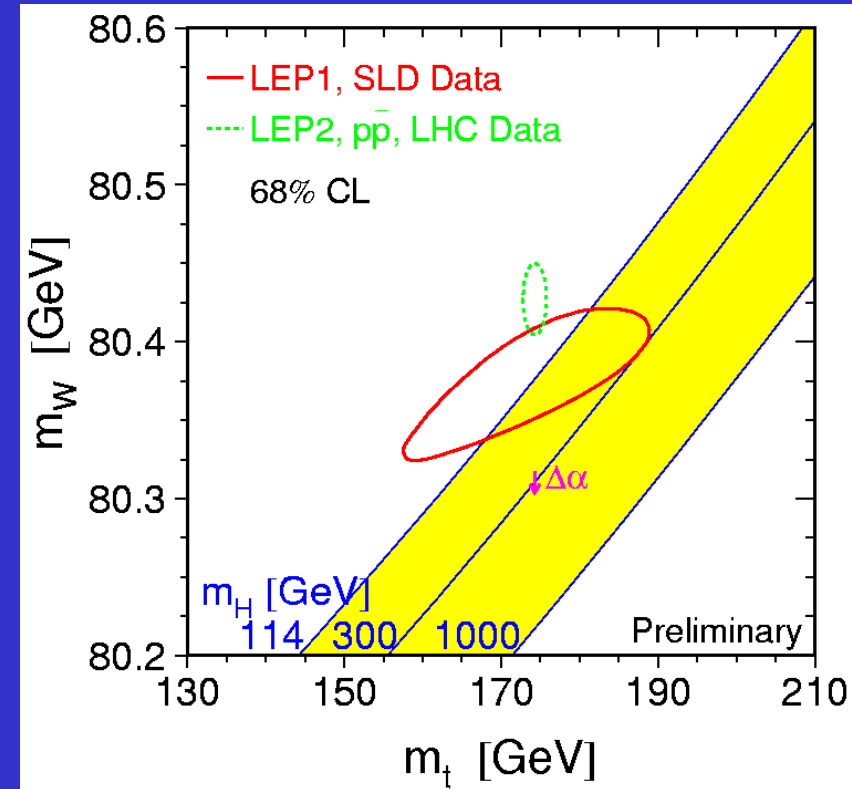
Perspectivas en LHC después del primer año de operación

$$\delta m_t \leq 1 \text{ GeV} ; \delta m_W \leq 15 \text{ MeV} \\ \Rightarrow \delta m_H / m_H \leq 25\%$$

Asumiendo los valores actuales del ME:

$$M_H = 73 \pm_{16}^{20}$$

Incompatible con resultados de LEP en búsquedas directas !

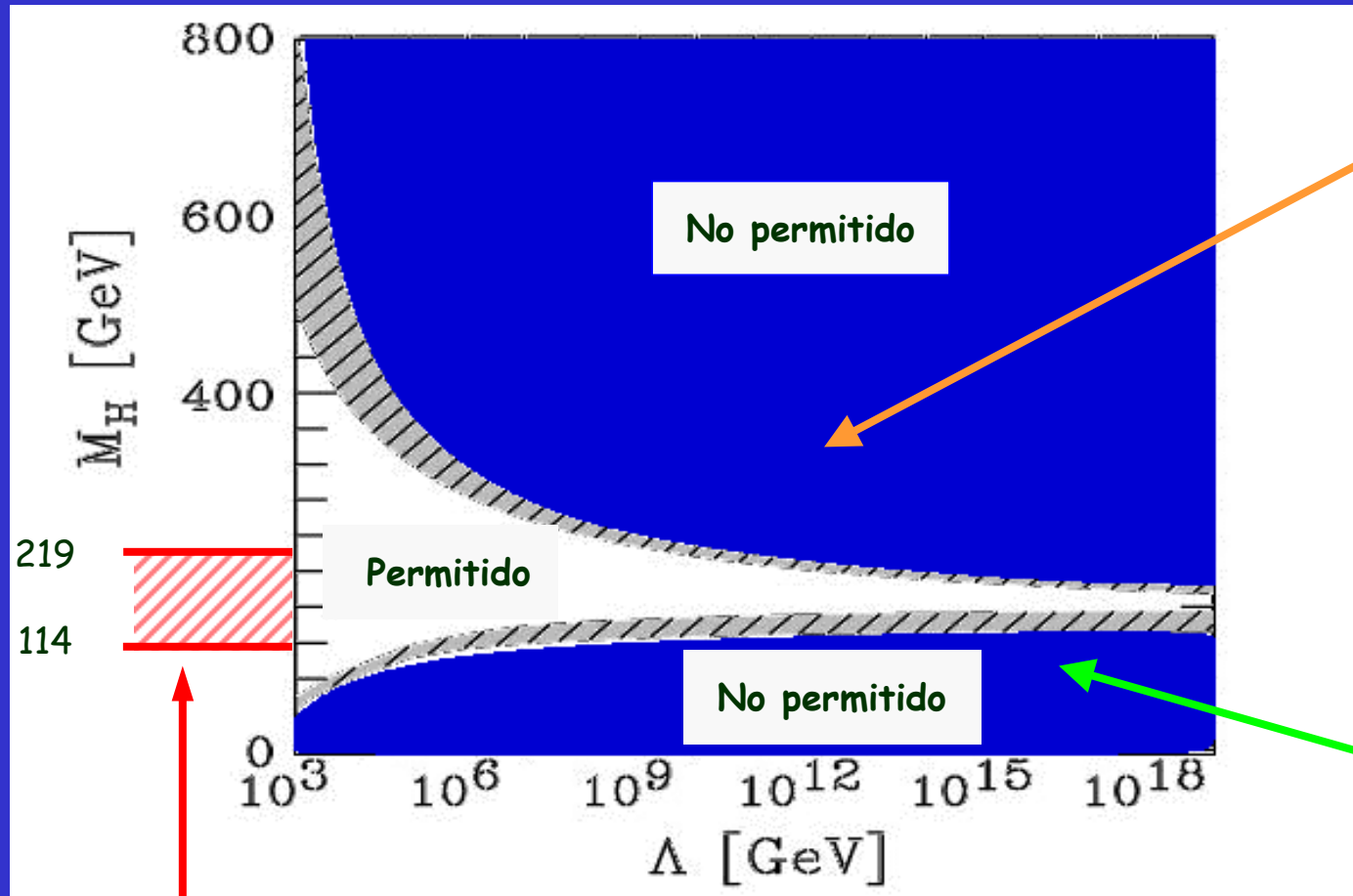


Muy importante en el LHC al principio realizar medidas de alta precisión del ME ( $m_t$  y  $m_W$ ).



# Buscando pistas !

$\Lambda$  = Escala de la nueva física mas allá del ME



Límite por trivialidad

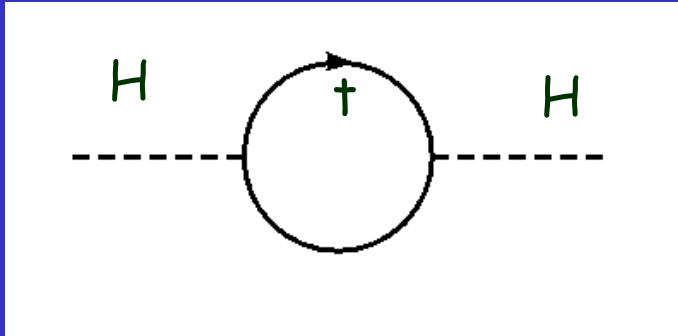
Límite por estabilidad del vacío

Región permitida experimentalmente

$\Lambda$  Podría ser muy grande

# Buscando pistas !

Correcciones a un "loop" a la masa del Higgs



$$m_H^2 = \underbrace{m_H^2(0)}_{\text{Masa desnuda}} + \underbrace{\delta m_H^2}_{\text{Corrección a un loop}}$$

$$\delta m_H = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{m_t}{\pi} \frac{\Lambda}{\Lambda_{ew}} \approx 0.3 \Lambda$$

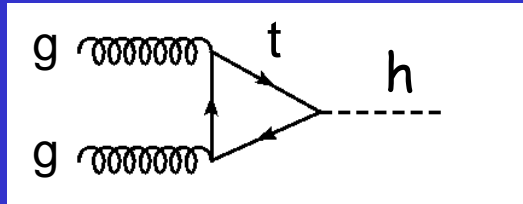
$\Lambda$  = Escala de la nueva física mas allá del ME

$\Lambda_{ew}$  = Escala Eletrodébil = 244 GeV

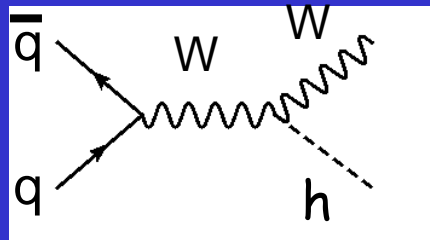
→  $m_H \approx \Lambda$

# Mecanismos de producción del Higgs en el LHC

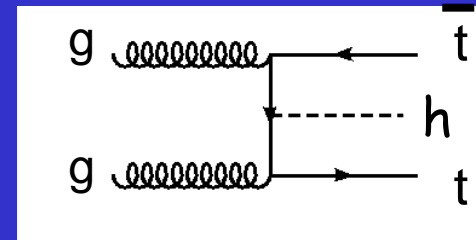
Fusión gluon-gluon



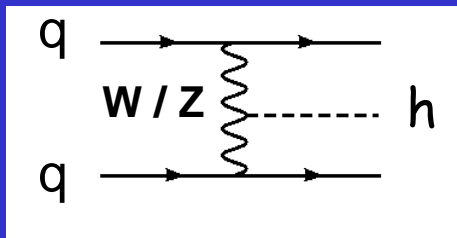
Asociado a W



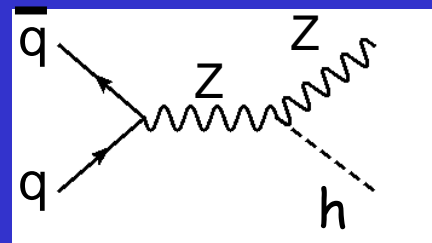
Asociado a t



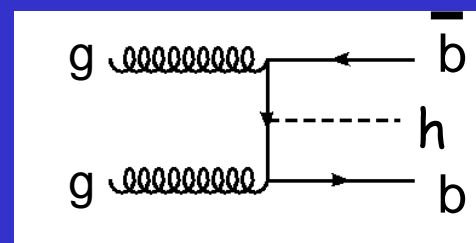
Fusión W/Z



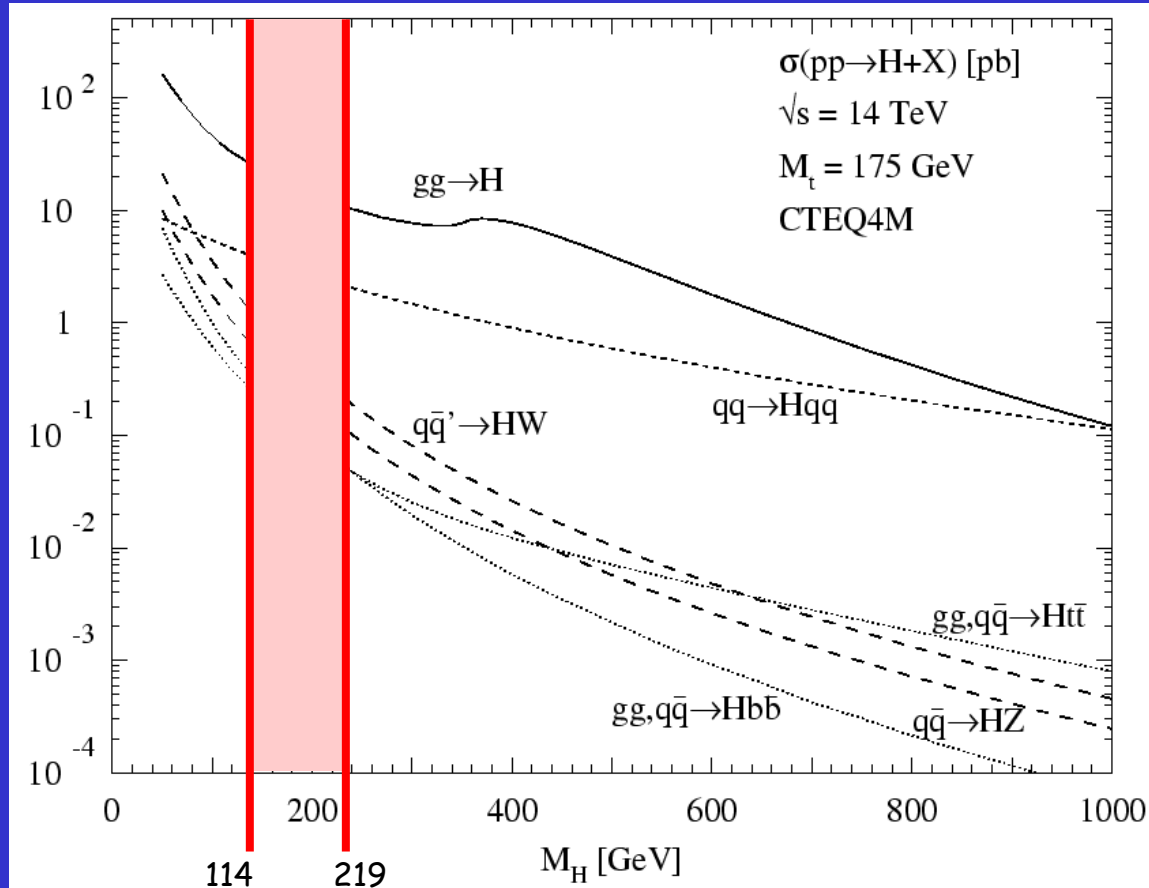
Asociado a Z



Asociado a b



# Secciones eficaces de producción



Región permitida

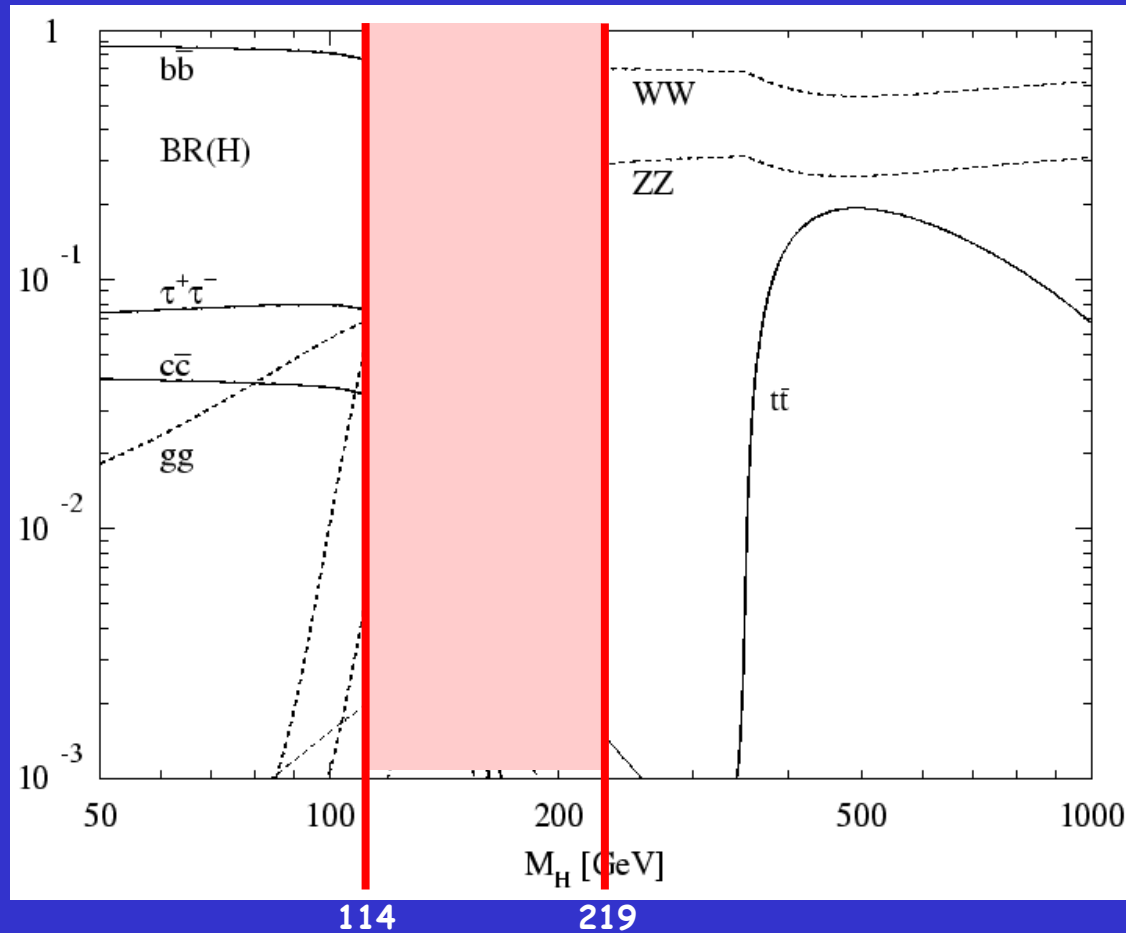
Ejemplo  
 $m_h = 140$  GeV

prod.	$\sigma$ (pb)	Sucesos/año
$g g \rightarrow h$	25	250 000
$W W \rightarrow h$	4.0	40 000
$h W$	1.2	12 000
$h Z$	0.6	6 000
$h t t$	0.2	2 000
$h b b$	0.3	3 000

Baja Luminosidad

# Desintegración del Higgs

Ejemplo  
 $m_h = 140 \text{ GeV}$



decay	BR(%)
W W*	50
b b	33
Z Z*	6
g g	6
$\tau \tau$	4
c c	1
$\gamma \gamma$	0.2

## Ejemplos de señales experimentales (Convolución Producción x Desintegración)

$$m_H = 140 \text{ GeV}$$

$$g g \rightarrow H \rightarrow \gamma \gamma$$
$$H \rightarrow Z Z^* \rightarrow 4 l$$

$$g g \rightarrow t \bar{t} H \rightarrow t \bar{t} b \bar{b}$$

$$q \bar{q} \rightarrow q \bar{q} H \rightarrow q \bar{q} W W^*$$
$$\rightarrow q \bar{q} \tau^+ \tau^-$$

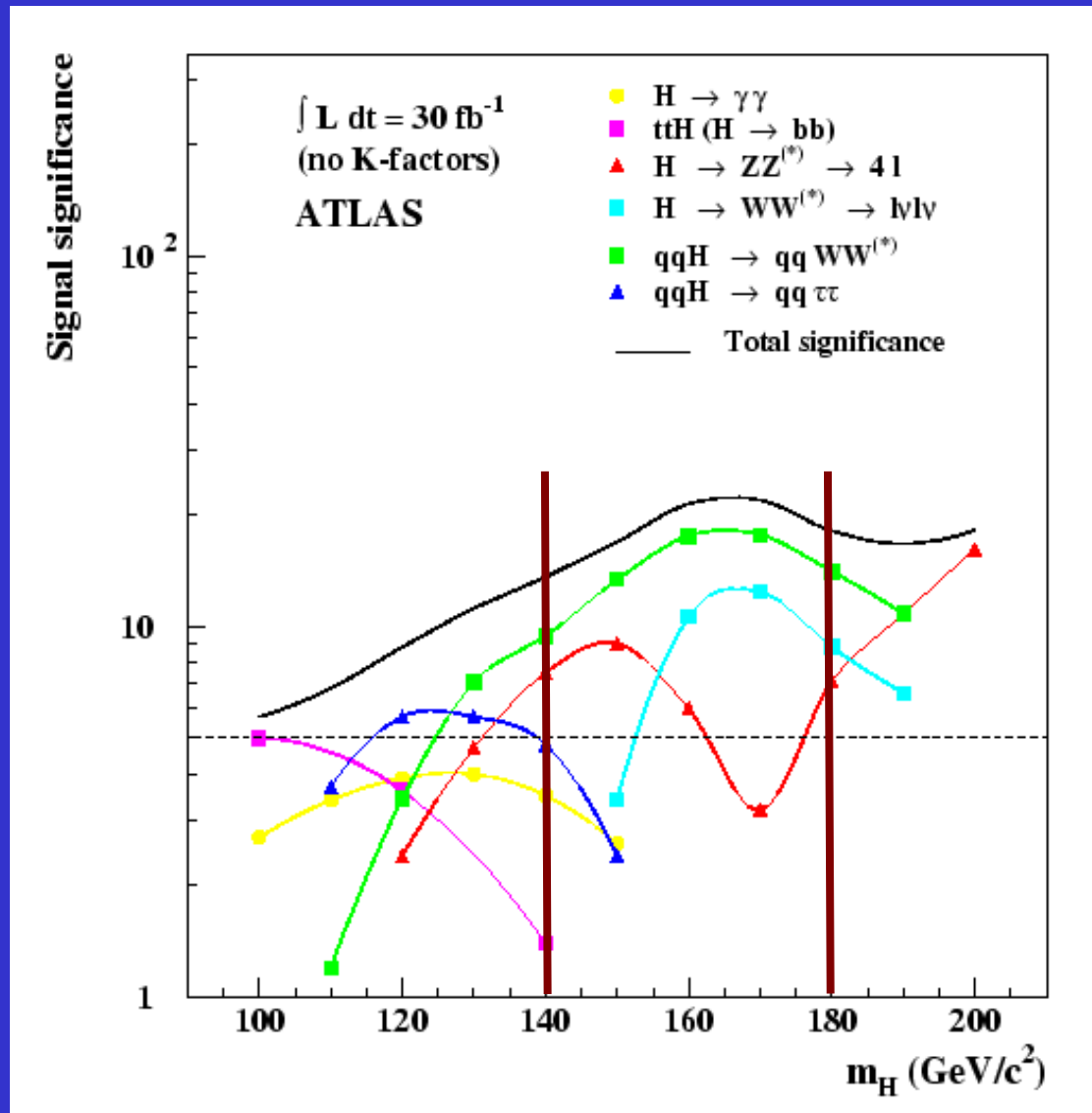
$$m_H = 180 \text{ GeV}$$

$$g g \rightarrow H \rightarrow W W^*$$
$$H \rightarrow Z Z^*$$

$$q \bar{q} \rightarrow q \bar{q} H \rightarrow q \bar{q} W W^*$$

Dependiendo de la masa la señal experimental puede ser muy distinta

# Significancia de la señal



$$\text{Significancia } S = \frac{N(\text{señal})}{\sqrt{N(\text{ruido})}}$$

$$L = 30 \text{ fb}^{-1} = 3 \text{ años@BajaLum}$$

$$\text{Descubrimiento} \Rightarrow S > 5$$

$m_H = 140 \text{ GeV}$

$m_H = 180 \text{ GeV}$

$\gamma\gamma$  3

$WW^*$  9

$tt \text{ } bb$  1

$ZZ^*$  7

$ZZ^*$  7

$qq \text{ } WW^*$  9

$qq \text{ } WW^*$  13

$qq \text{ } \tau\tau$  5

total S 13

total S 17

## El bosón de Higgs en SuperSimetría

• MSSM = Modelo SuperSimétrico Mínimo

• Sector de Higgs =  $\underbrace{H \quad A \quad h}_{\text{neutros}} \quad \underbrace{H^+ \quad H^-}_{\text{cargados}} \left\{ \begin{array}{l} h, H = \text{escalar} \\ A = \text{pseudoescalar} \end{array} \right.$

• Relación de masas :  $m_H < m_A < m_h$

• Nivel árbol :  $m_H^2 < M_Z^2 \cos 2\beta < M_Z^2$

Dos parámetros libres =  $m_A, \tan \beta$

• Órdenes superiores:  $m_h^2 < M_Z^2 \cos 2\beta + \varepsilon(M_s, M_2, \mu, X_\pm, m_g)$

Muchos parámetros libres  $\rightarrow$  diferentes escenarios

Limite de LEP:  $m_H > 91 \text{ GeV}/c^2$



## Otras búsquedas y medidas

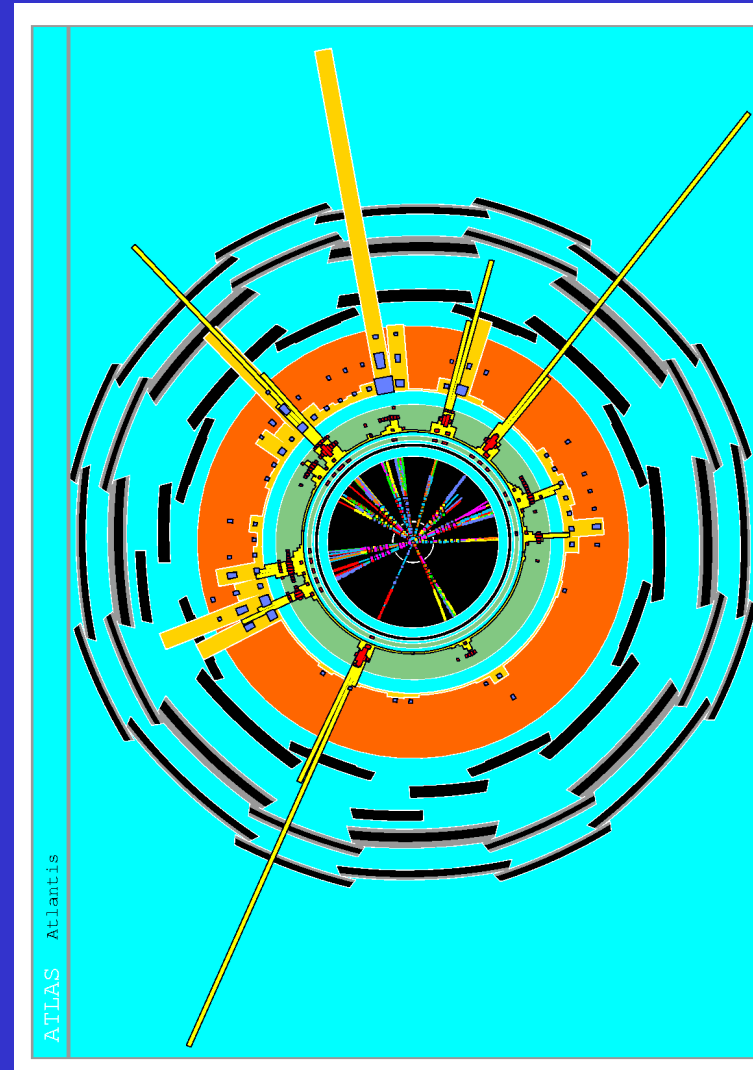
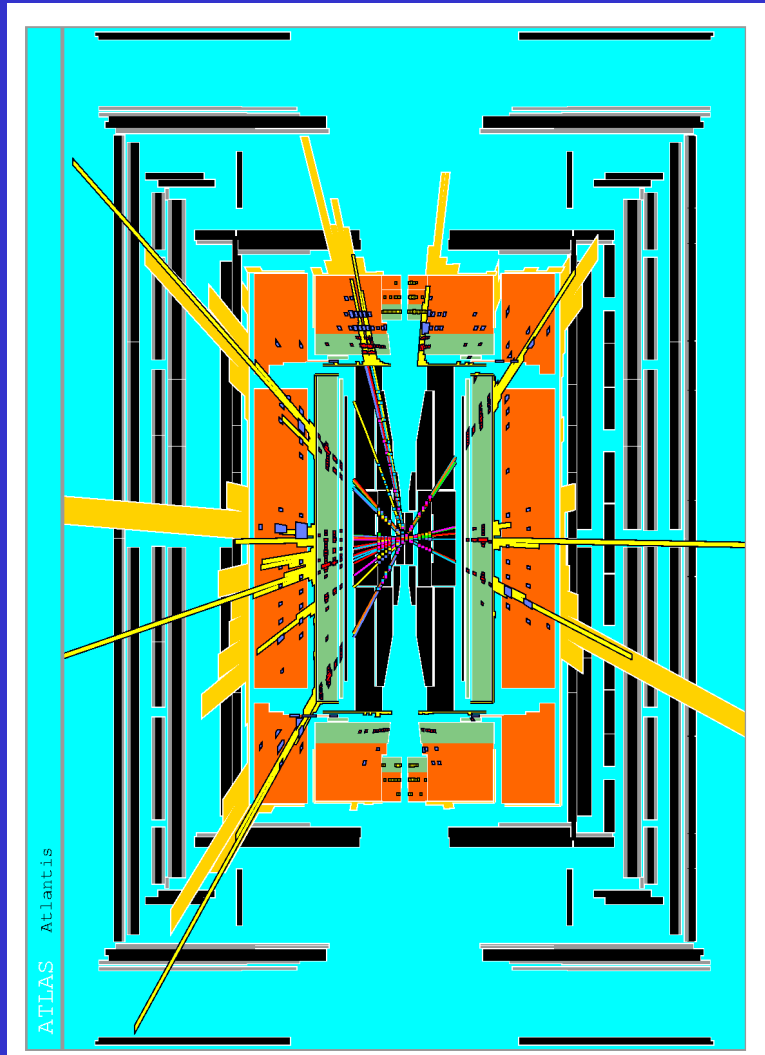
### Modelo Estándar:

- Masa del W
- Test de los acoplamientos triples de los bosones gauge
- Física del quark t
- Tests de QCD

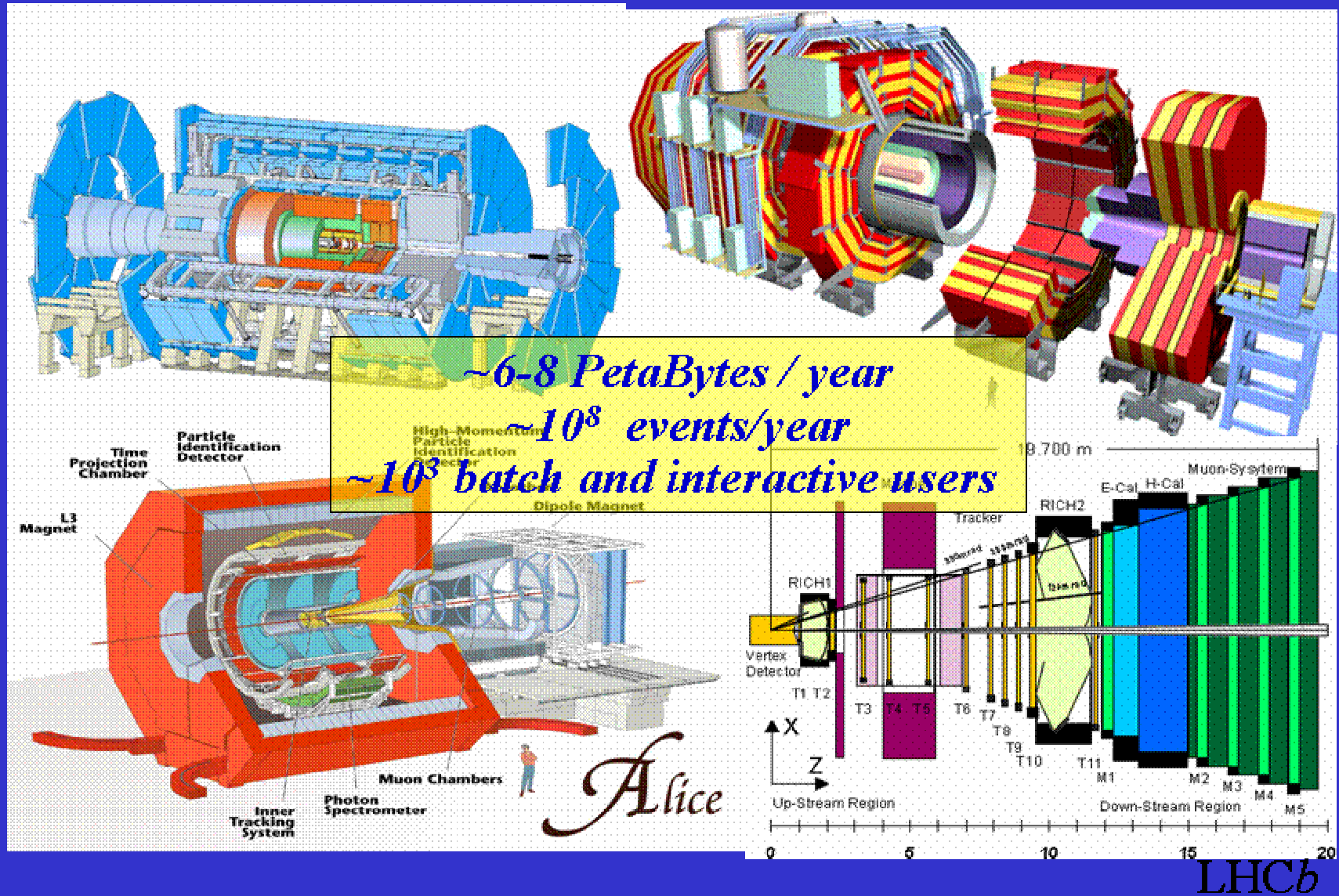
### Mas Allá del Modelo Estándar:

- Supersimetría (s-quarks, gluinos, charginos, neutralinos, s-leptones).
- Dimensiones extra (gravitón, radión)
- Tecnicolor (tecnipiones..)
- Nuevas partículas: fermiones excitados, leptarquarks, little Higgs, leptones neutros pesados, nuevos bosones gauge.. agujeros negros..
- Lo inesperado !

# Simulación de un agujero negro producido en ATLAS



# Los retos del futuro LHC: El tecnológico ...



## Los retos del futuro LHC: El tecnológico ...

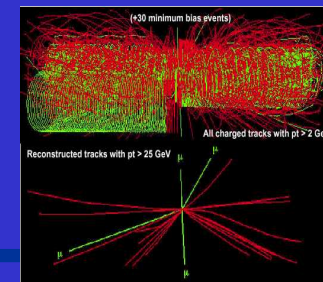
Condiciones de operación del LHC y sus experimentos (ATLAS,CMS, LHC-b,Alice..)

El acelerador (27 km) :

- Tecnología de imanes superconductores ( $T = -272$  y  $-269$  °C)
- $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (cien veces más de lo que se ha conseguido hasta la fecha)
- $E = 14 \text{ TeV}$

Los detectores:

- Cruce de haces 25 ns ( tiempo en que una señal recorre  $\sim 5$  m de cable)
- Electrónica y detectores resistentes a la radiación (1 Mrad/año)
- Cientos de millones de canales para cada suceso (ancho de banda)
- Bajo consumo (disipación de calor)
- Materiales ultra resistentes pero ligeros (mínima interacción con el medio)
- Mecánica de alta precisión
- Necesariamente grandes, R grande..
- Gran hermiticidad y granularidad



# Un detector LHC: CMS



## CMS Collaboration



36 Nations, 160 Institutions, 2008 Scientists and Engineers (November 2003)

### TRIGGER & DATA ACQUISITION

Austria, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

### TRACKER

Austria, Belgium, CERN, Finland, France, New Zealand, Germany, Italy, Japan\*, Switzerland, UK, USA

### CRYSTAL ECAL

Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Ireland, Italy, Japan\*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

### PRESHOWER

Armenia, Belarus, CERN, Greece, India, Russia, Taipei, Uzbekistan

### RETURN YOKE

Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia  
Endcap: Japan\*, USA, Brazil

### SUPERCONDUCTING MAGNET

All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular:  
Finland, France, Italy, Japan\*, Korea, Switzerland, USA

FEET  
Pakistan  
China

### FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

### HCAL

Barrel: Bulgaria, India, Spain\*, USA  
Endcap: Belarus, Bulgaria, Russia, Ukraine  
HO: India

### MUON CHAMBERS

Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain,  
Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Korea, Pakistan, Russia, USA

\* Only through industrial contracts

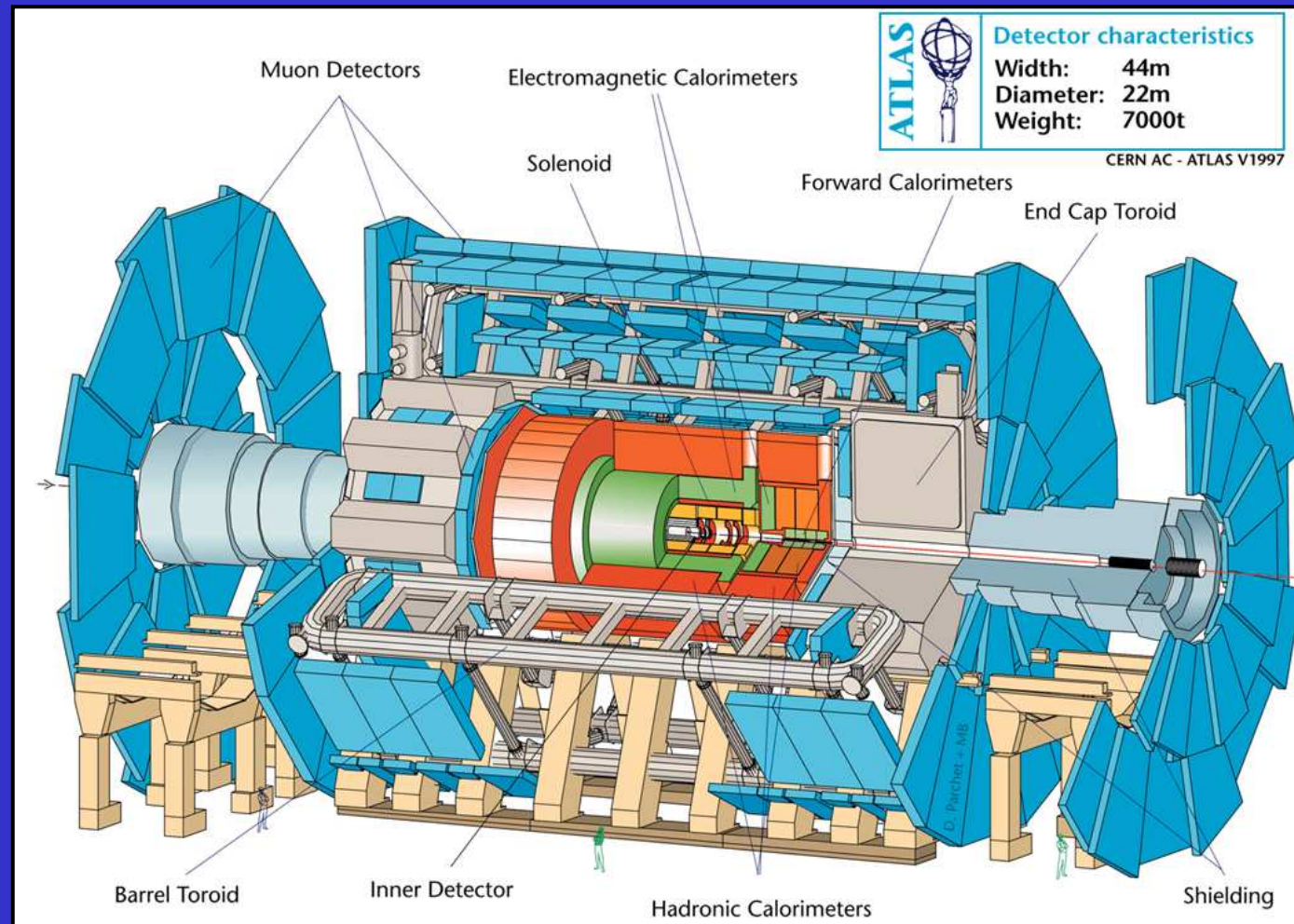
Total weight : 12500 T  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 21.5 m  
Magnetic field : 4 Tesla

12-16 Julio 2004

J. Fuster

22

# Otro detector LHC : ATLAS



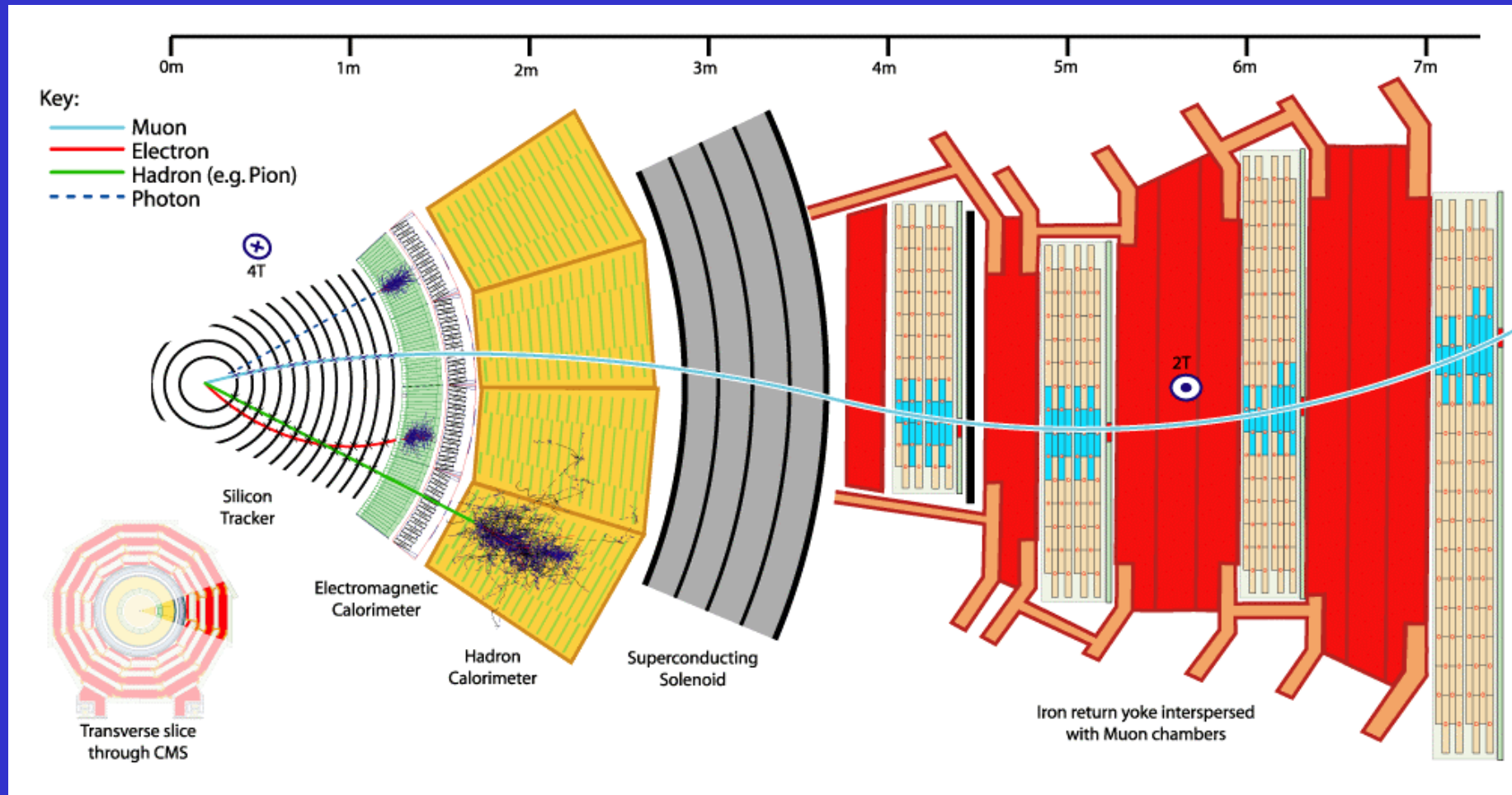
Longitud: 44 m

Diámetro: 22 m

Cruce de haces cada 25 ns

Mas de 100 millones de canales de lectura

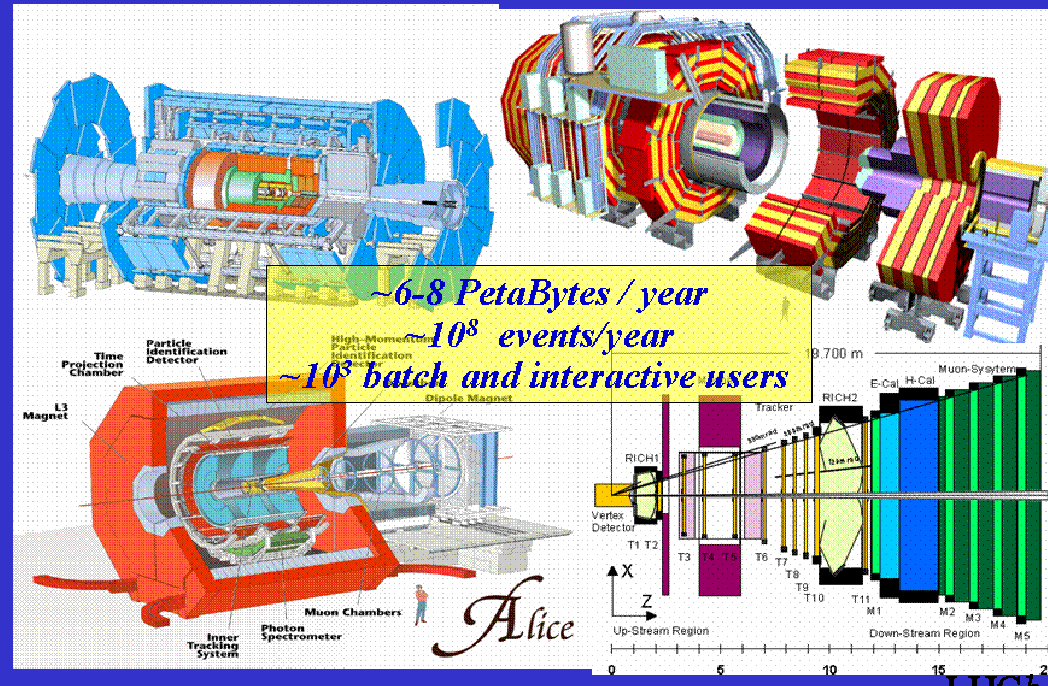
# La interacción de las partículas en los detectores



# la " computación": GRID ...

Palabras clave:

- Velocidad
- Cantidad



Almacenamiento-  
Frecuencia de registro de datos 0.1 - 1 GBytes/sec

Acumulando a 5-8 PetaBytes/año

10 PetaBytes de disco (15,000.000 de CDs)

Procesamiento

200,000 de los PC's más rápidos actuales

" En LEP el trigger era 2-3 Hz "



# El proyecto GRID ...



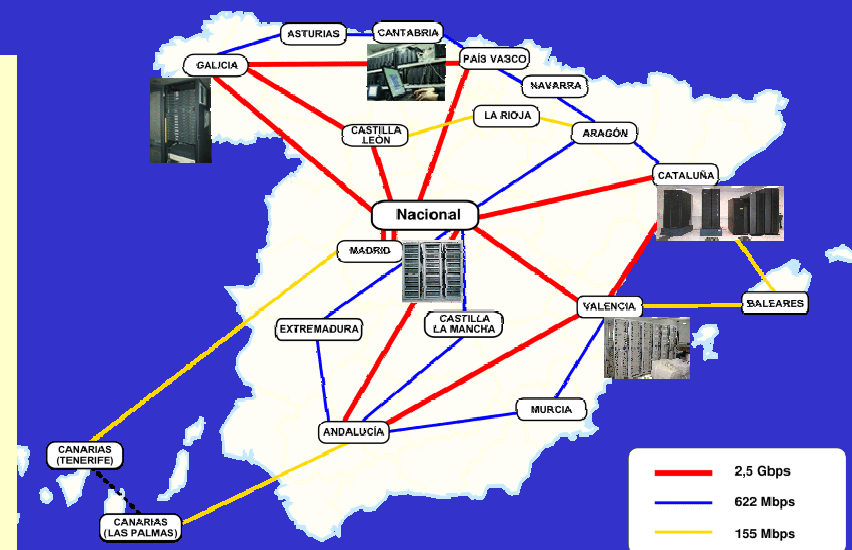
*El CERN ya inventó la WEB (1992)*  
Como necesidad de comunicación  
(intercambio de datos, control, toma  
de datos..) entre científicos de varios  
países

*La nueva idea (el GRID):*

Todo el "mundo" pone recursos..

Todo el "mundo" los puede utilizar..

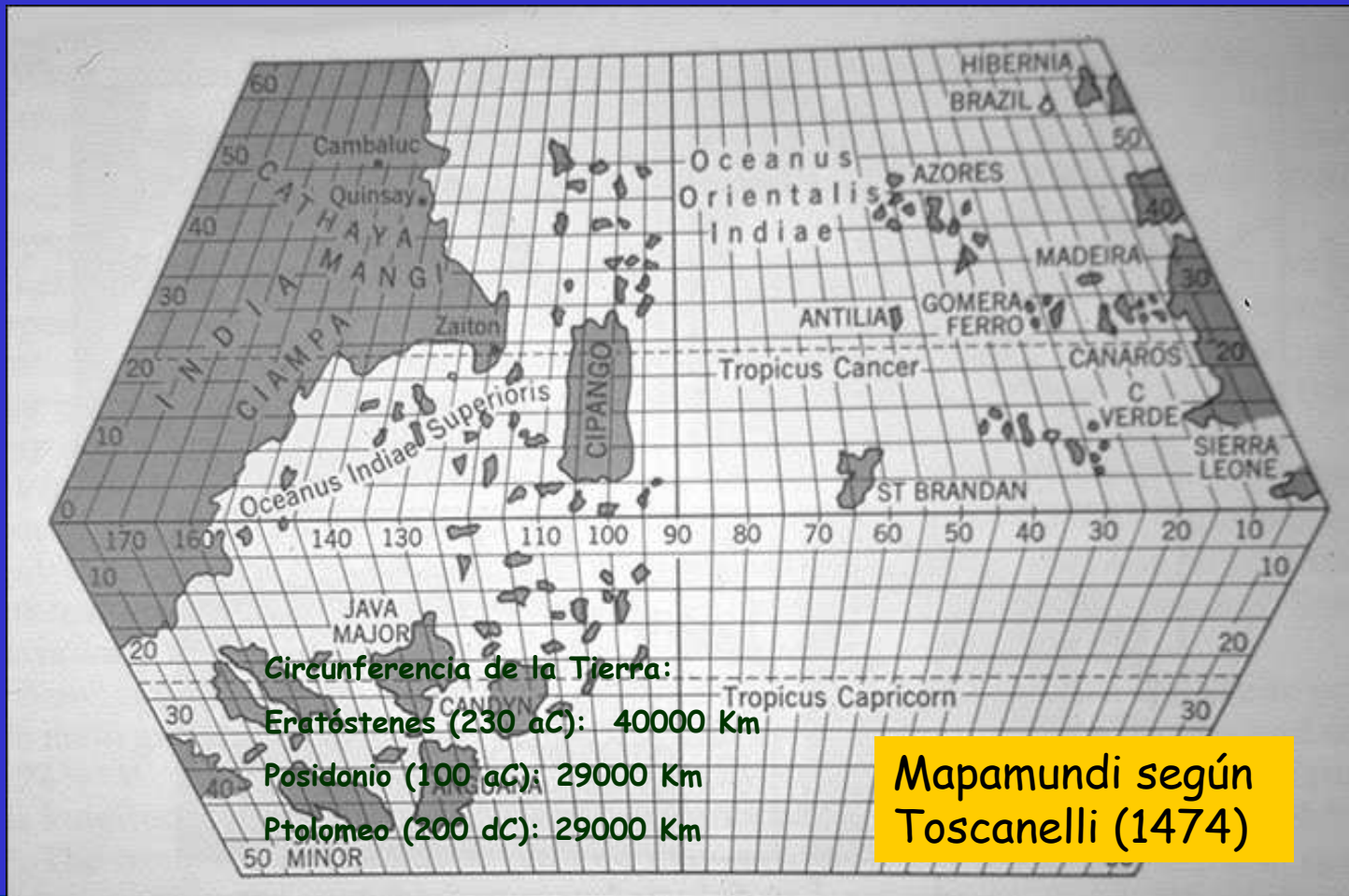
El sistema es inteligente para reconocer  
los usuarios autorizados y encontrar los  
recursos que necesitan, estén donde estén



# Resumen (licencia Histórica): Viaje de Colón !

*Una Ilusión: Alcanzar las Indias por el Oeste*

*Un Cálculo erróneo: Las dimensiones de la tierra*



## Dos Buenas ideas

### 1ª- Uso de Tecnología punta: Carabela Portuguesa



Resultado de la mezcla de conocimientos entre la navegación hanseática y la mediterránea.

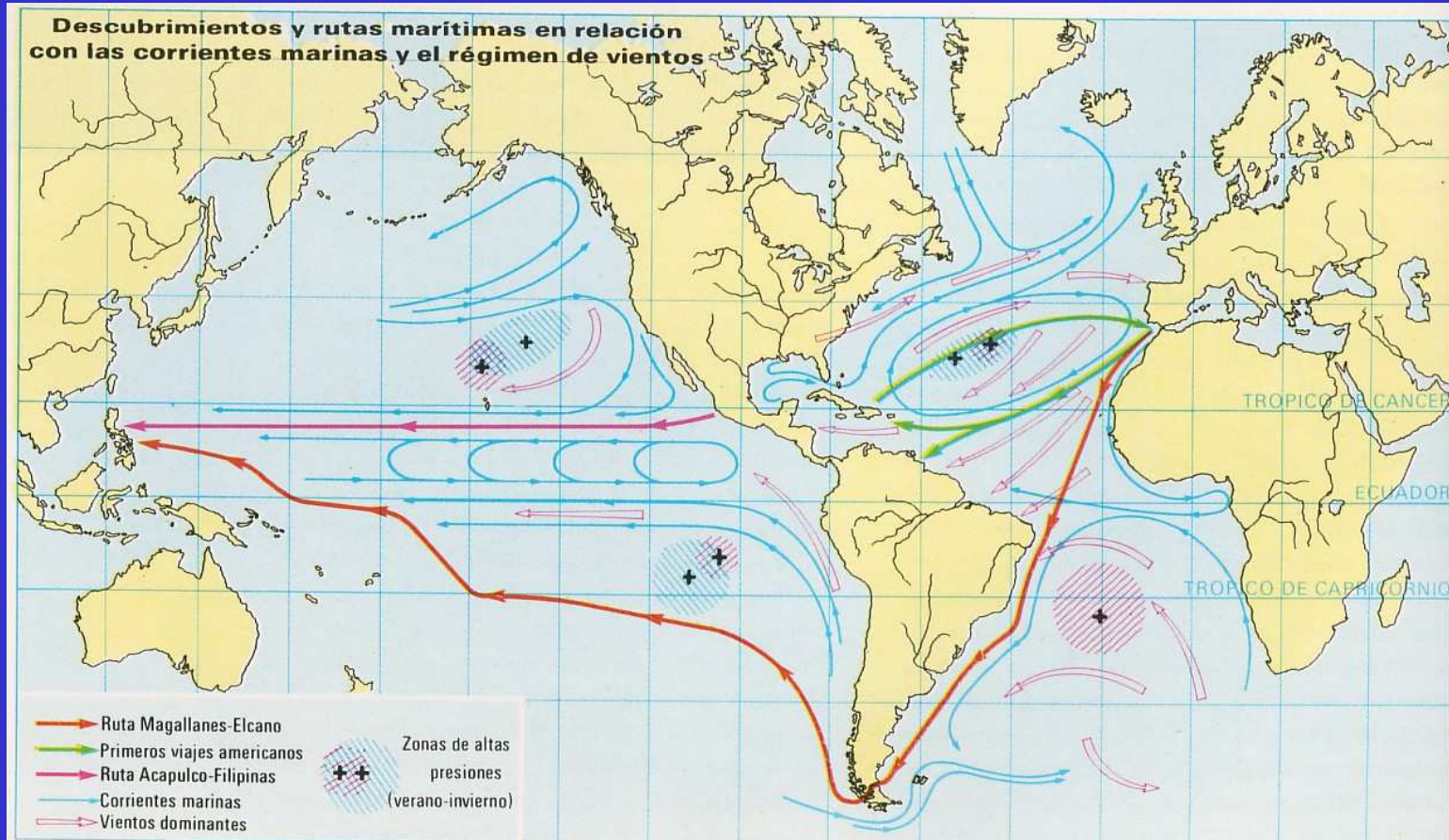
La carabela al no utilizar remos podía alcanzar mayor velocidad en grandes distancias.

Estaba dotada de un aparejo doble, velas cuadradas para aumentar la velocidad y una vela triangular o latina, fundamental para hacer posible la navegación con viento lateral o en contra.

Debido a sus características, la carabela requería de una tripulación pequeña que no superaba los treinta hombres. De esa forma, el costo operacional de un viaje en carabela era el más bajo de la época.

# Dos Buenas ideas

## 2ª- Los Vientos y las Corrientes marinas: La Ruta por las Islas Canarias



Intentos de viajes anteriores hacia el oeste de portugueses o ingleses siempre fracasaron debido a los vientos aliseos.

Sólo por las Islas Canarias era posible navegar hacia el oeste y sólo en carabela podía tener éxito y sólo un cálculo erróneo hizo posible creer que el viaje se podía realizar !!



Tecnicolor

HIGGS

LANDIA

SUSY

Lo no previsto

CMS

ME

Z

MANGI  
KATAY

INDIA

CIP  
PAN  
GU

Antilia

v

top

b

W

LHCb

¿?

ATLAS

Dimensiones

Extra

Mapamundi

según

Toscanelli 1474