



Búsqueda del Bosón de Higgs en el canal $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$ en CMS

María Aldaya

CIEMAT

Bienal de la Real Sociedad Española de Física, Septiembre 2005



- Modelo Estándar (SM): partículas adquieren masa por EWSB
- Mecanismo de Higgs → partícula escalar: bosón de Higgs H
 - Masa desconocida (único parámetro libre en el mecanismo de Higgs)
 - Acoplamientos del H a las partículas del SM $\sim m^2$
 - Límites:
 - $m_H > 115$ GeV (LEP, búsqueda directa)
 - $m_H < 225$ GeV (CL 95%) (medidas de precisión electrodébiles de LEP, SLD, Tevatron, etc)
- LHC (2007) : desvelar y explicar la física que se esconde tras EWSB. Desafíos:
 - **Descubrir o excluir el H del SM.**
 - Descubrir nueva física: SUSY, dimensiones extra...
- Parámetros: luminosidad (L) $2 \cdot 10^{33} - 10^{34}$ cm⁻²s⁻¹ en colisión p-p , $\sqrt{s} = 14$ TeV, 2835 paquetes de 10^{11} protones, separados entre sí 25 ns → ~ 20 interacc. pp / cruce de haces
- Detectores: CMS y ATLAS (multipropósito), LHCb (física de b's), ALICE (iones pesados)
- CMS: compacto, alto **B** (4 T), alta resolución en P_T de leptones, energía de γ 's y jets
 - Sistema de muones: μ ID y trigger
 - CIEMAT responsable de la construcción y de la electrónica de 70 MBDT (>30% total)

Sección eficaz p – p (NLO)

- A las energías de LHC:

$$\sigma_{\text{total}} \sim \text{mb}$$

$$\sigma_{\text{señal}} \sim \text{pb}$$

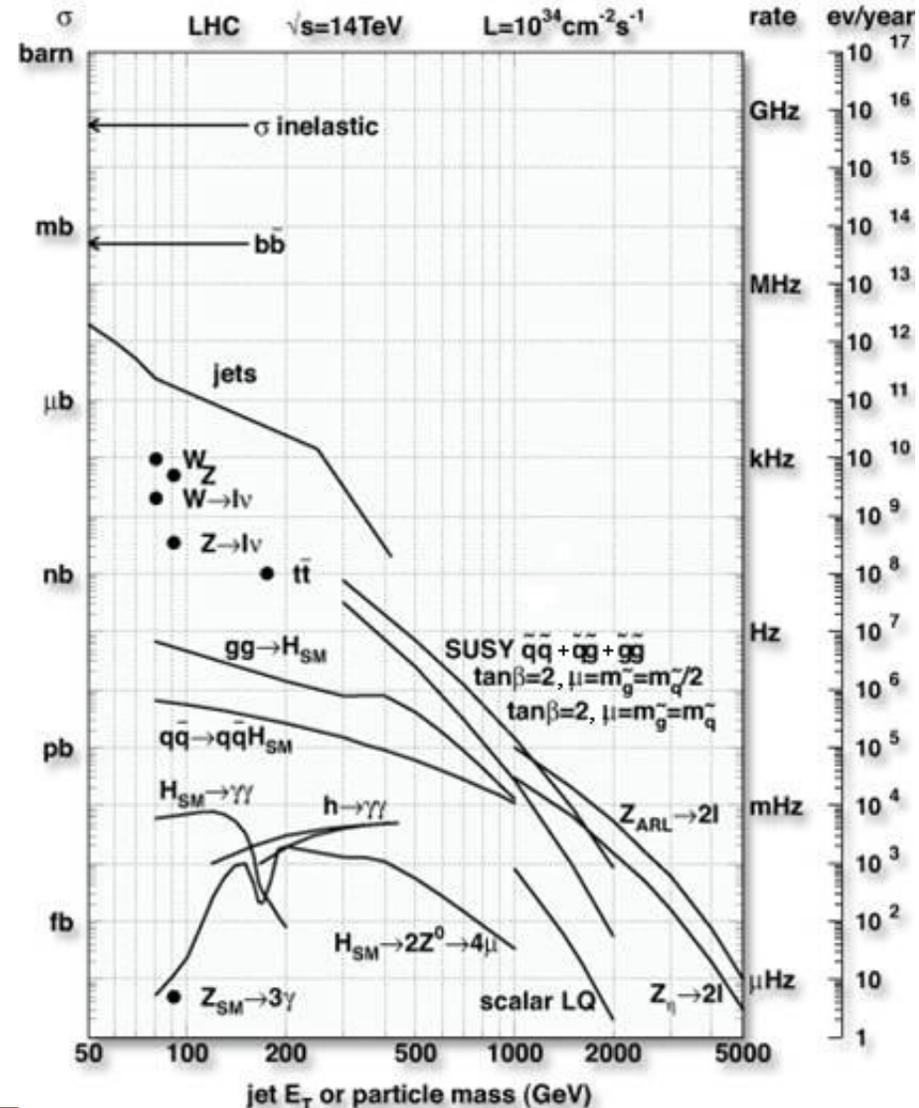
$\sigma_{\text{señal}} \sim 9$ órdenes de magnitud menor que la contaminación !!!!

Si además consideramos subprocessos:

~ 1 suceso / 10^{12} !!!

- Es necesario un trigger capaz de discriminar sucesos (10^6) → **selección on-line**

- Un delicado proceso de análisis permite seleccionar sucesos con la topología de la señal, reduciendo la contaminación a niveles manejables → **selección off-line**



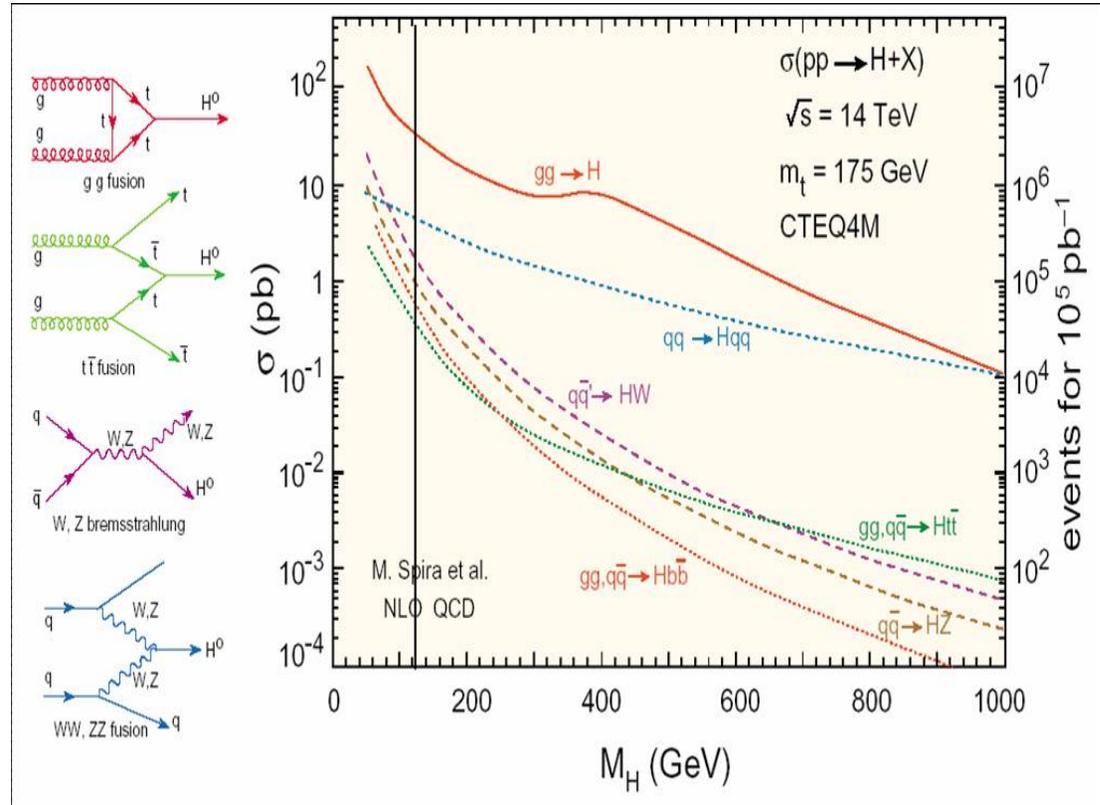
$gg \rightarrow H$ domina en LHC hasta 1 TeV

$qq \rightarrow WW \rightarrow qqH$, $qq \rightarrow ZZ \rightarrow qqH$ contribuyen significativamente a masas altas

Sin embargo:

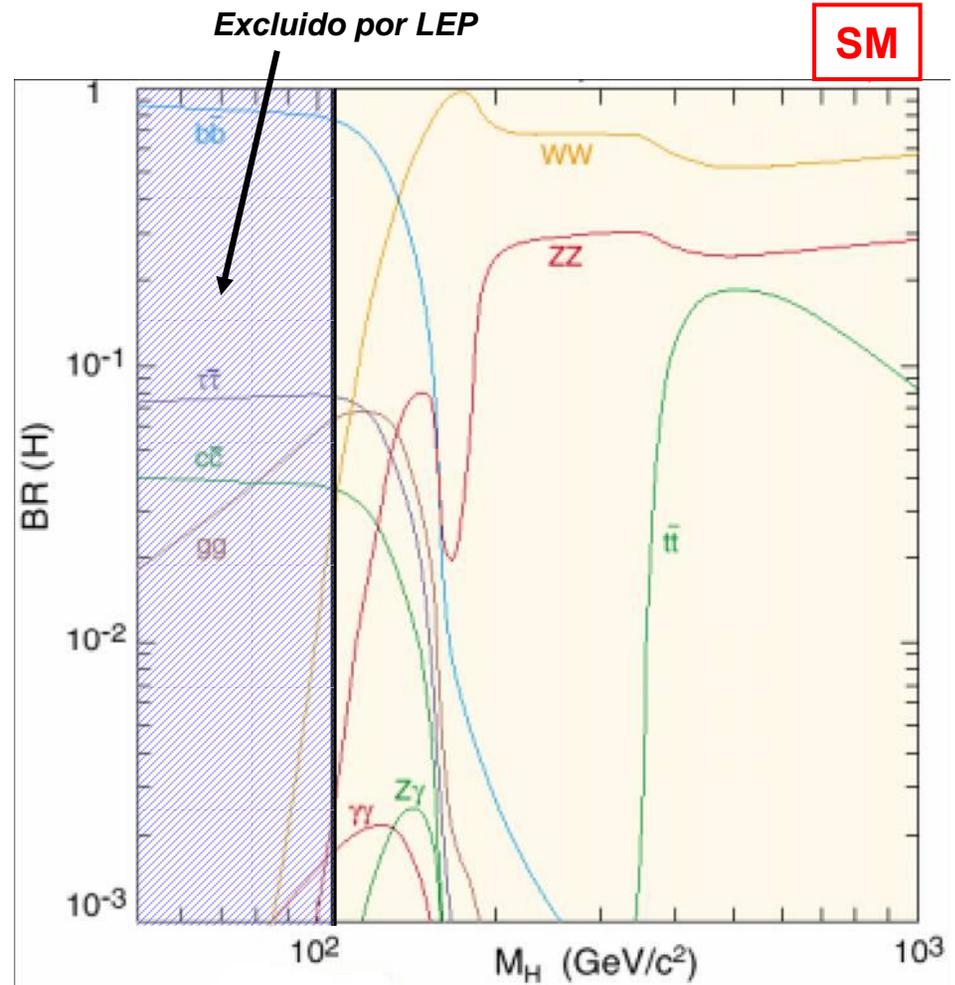
- $\sigma_{\text{prod}} H$ en colisionadores hadrónicos es muy pequeña comparada con los fondos de QCD

- La proporción de sucesos de señal es despreciable



Incertidumbres en las secciones eficaces NLO (PDF, NNLO,...) > 20 %

- $m_H \sim 2m_W$:
domina el canal WW
- $m_H > 2m_Z$:
BR($H \rightarrow WW$) \gg BR($H \rightarrow ZZ$), pero canal ZZ mucho mejor experimentalmente ($W \rightarrow l\nu$; energía faltante E_T)
- **Canales leptónicos del ZZ:**
 - **signaturas claras**
 - **contaminación a niveles aceptables**
 - **información precisa sobre la masa del Higgs**



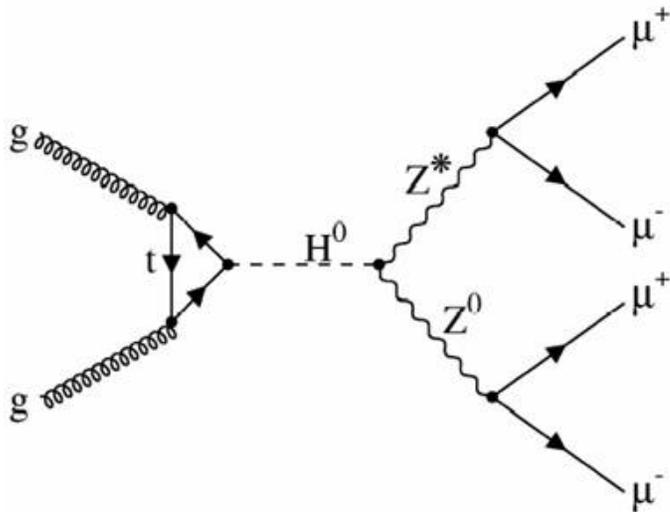
• $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$:

$$\text{BR}(H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu) \sim 10^{-5}$$

canal muy limpio, bueno para descubrimiento: $m_{4\mu} \sim m_H$ (señal muy característica)

• **‘Golden channel’ en un amplio rango de masas: <150 GeV y 170 – 500 GeV**

Topología:



• 4 muones (dos positivos y dos negativos):

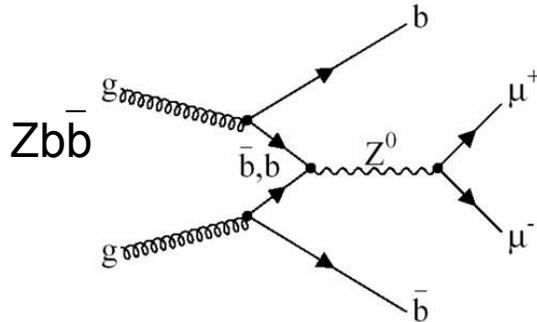
- Aislados
- Alto momento transverso
- Apuntando al mismo vértice primario

• Masa invariante de los pares de muones compatible con la del Z, dependiendo de la restricción en el espacio de fases introducida por la propia masa del Higgs

• Masa invariante de los 4 muones es la del bosón de Higgs (dentro de la resolución del detector)

• La contaminación proviene principalmente de sucesos $t\bar{t}$, ZZ , $Zb\bar{b}$

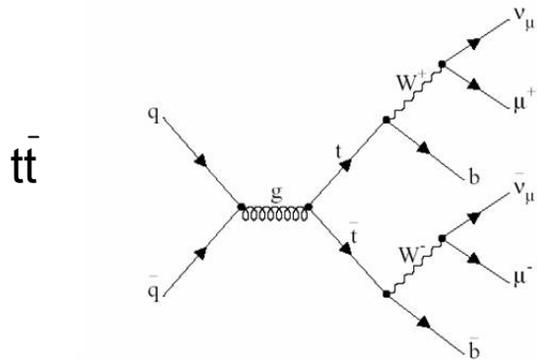
Signatura similar a la de la señal: 4 muones en el estado final



Producción a partir de gluones o quarks
Un Z en el suceso

Reducible:

2 muones no aislados (dentro de b-jets) y
provenientes de vértices secundarios

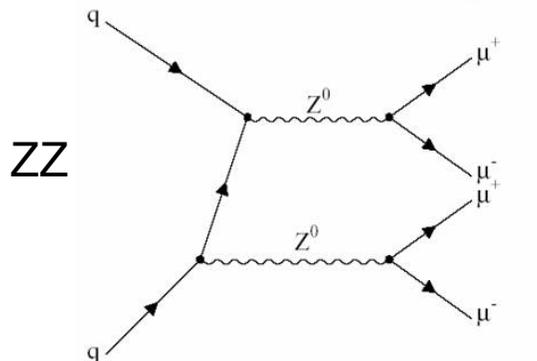


- Producción mediante fusión de gluones y aniquilación quark-antiquark.

- $t \rightarrow b \sim 100\%$, $W \rightarrow \mu\nu \sim 10\%$, μ en b-jets $\sim 10\%$

- Reducible:

2 muones no aislados, ningún Z en el suceso



- Producción a partir de aniquilación quark-antiquark o mediante gluones (via loop)

- “Irreducible”: 4 muones aislados, de alto P_T

- Suprimido para $m_H < 2m_Z$ (uno de los Z es virtual)

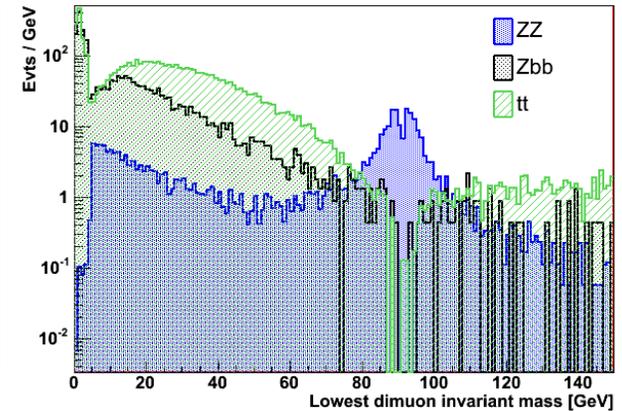
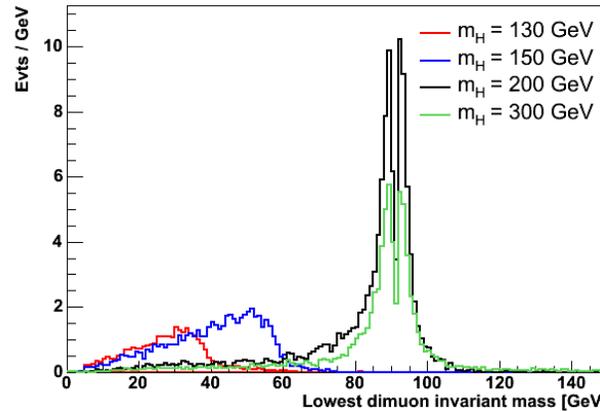
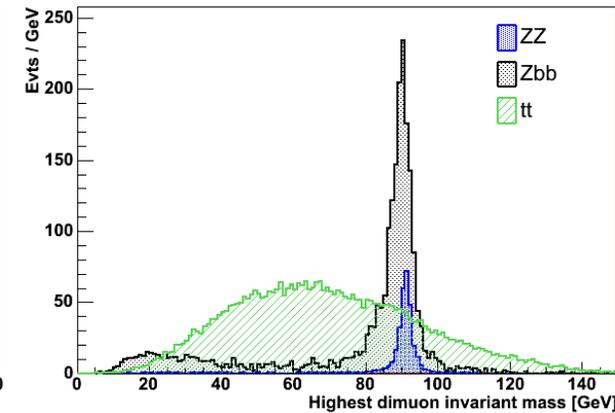
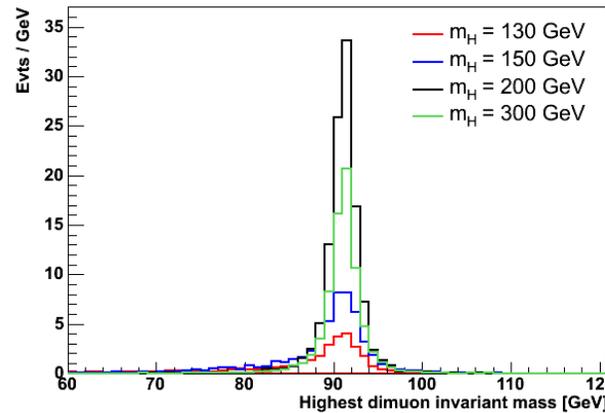
$m_H < 2m_Z$: Un Z real y un Z virtual en el suceso

- Un par $\mu^+\mu^-$ con una masa invariante compatible con la del Z
- La combinación restante es el candidato a Z virtual

$m_H > 2m_Z$: Dos Z reales en el suceso

- Dos pares $\mu^+\mu^-$ con una masa invariante compatible con la del Z

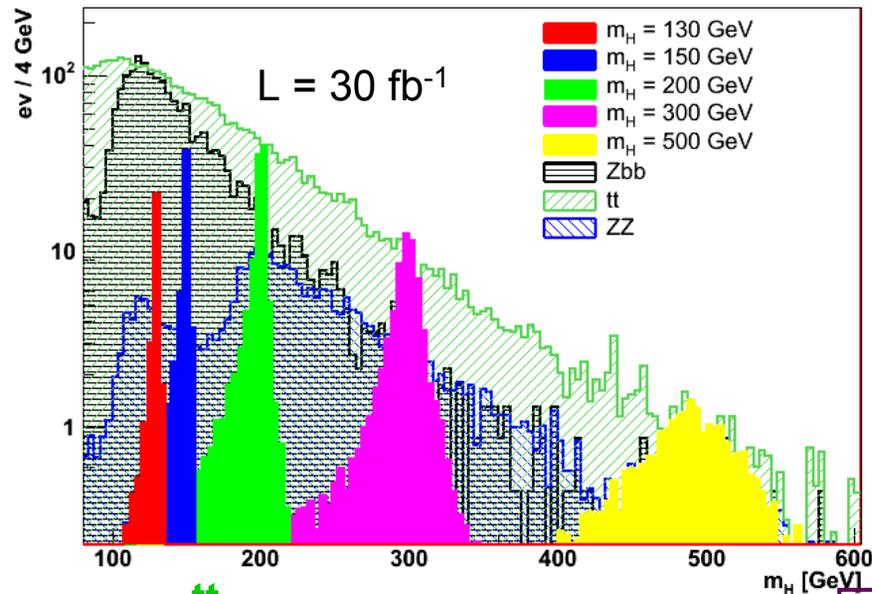
$|\eta| < 2.5, P_T > 3 \text{ GeV}$ para $L = 30 \text{ fb}^{-1}$



Cortes de aceptación del detector:

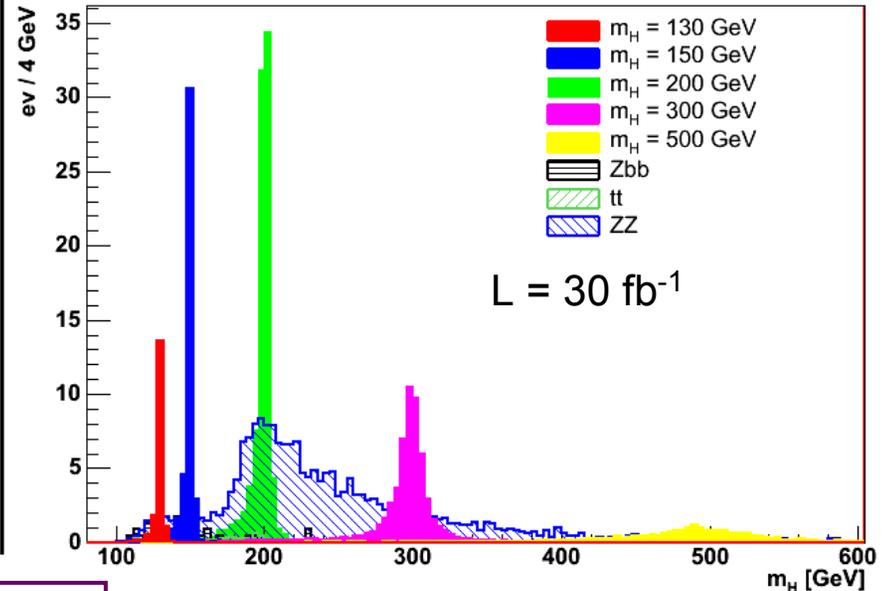
- 4 muones con $|\eta| < 2.5$, $P_T > 3$ GeV

$\epsilon \sim 0.7 - 0.9$ para $m_H = 115 - 600$ GeV

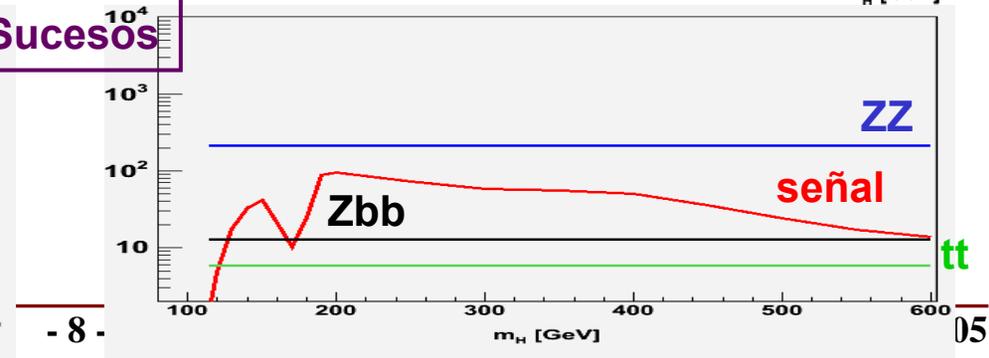
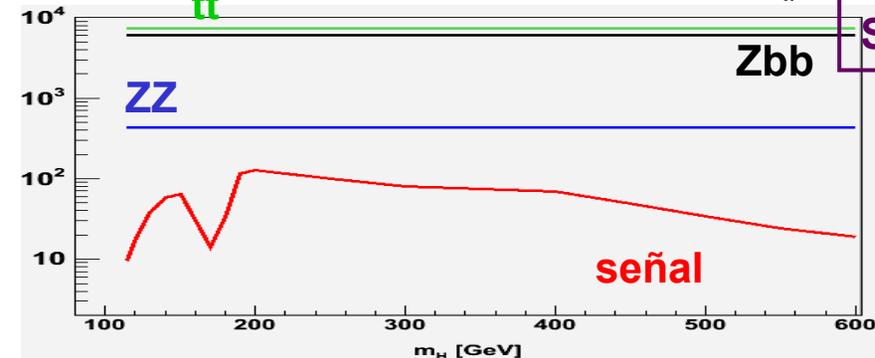


Cortes de selección:

- Cortes de aceptación
- $P_T > 15, 15, 12, 8$ GeV
- $70 < m_{Z_{\text{real}}} < 100$ GeV
- aislamiento de μ : calorímetro y trazas



Sucesos



- Observable para determinar la existencia del Higgs (y su masa): $m_H \sim m_{4\mu}$
- Potencial del análisis: luminosidad necesaria para 3σ (evidencia) y 5σ (descubrimiento)
- Significación estadística para m_H y L dada por N_s y N_b en la región de la señal:

$$S_{cL} = \sqrt{2(N_s + N_b) \ln(1 + N_s/N_b) - 2N_s}$$

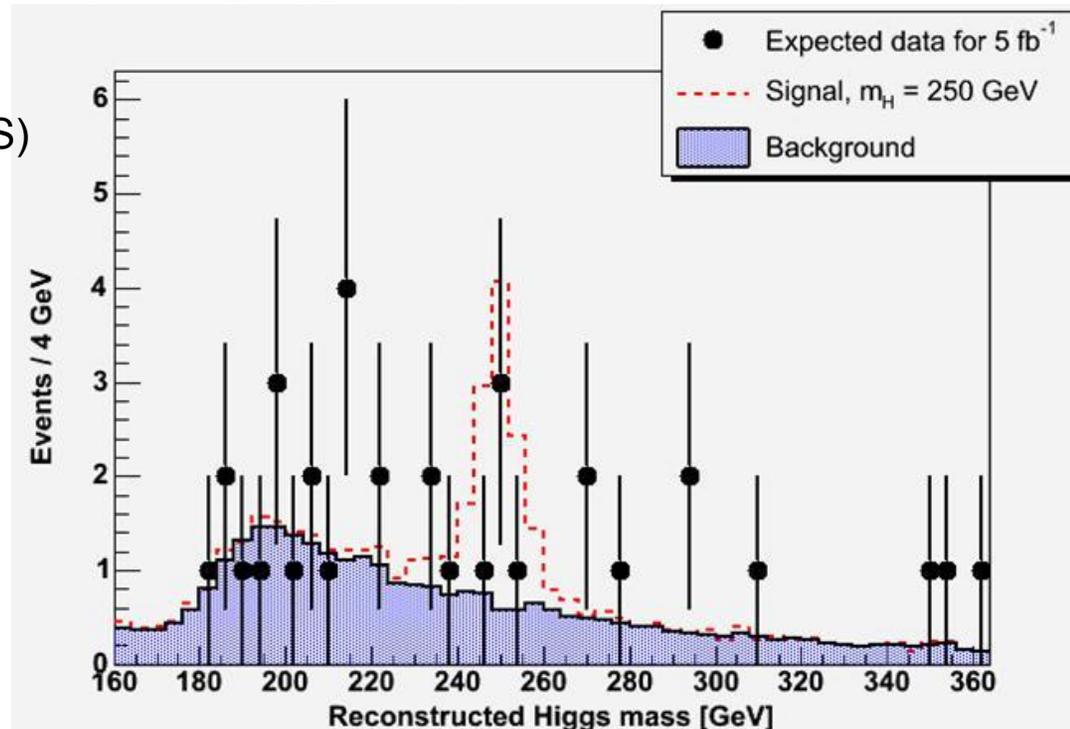
- Métodos más complejos: **Log Likelihood Ratio** (LEP) utiliza tanto la **forma** como la **normalización** de señal (S) y contaminación (B)

- La **significación estadística** de la señal es:

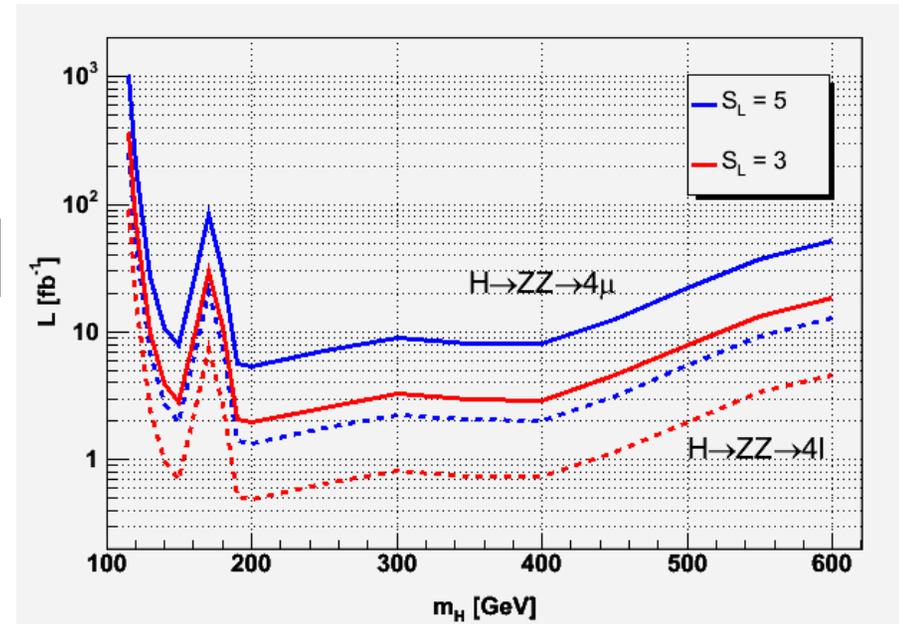
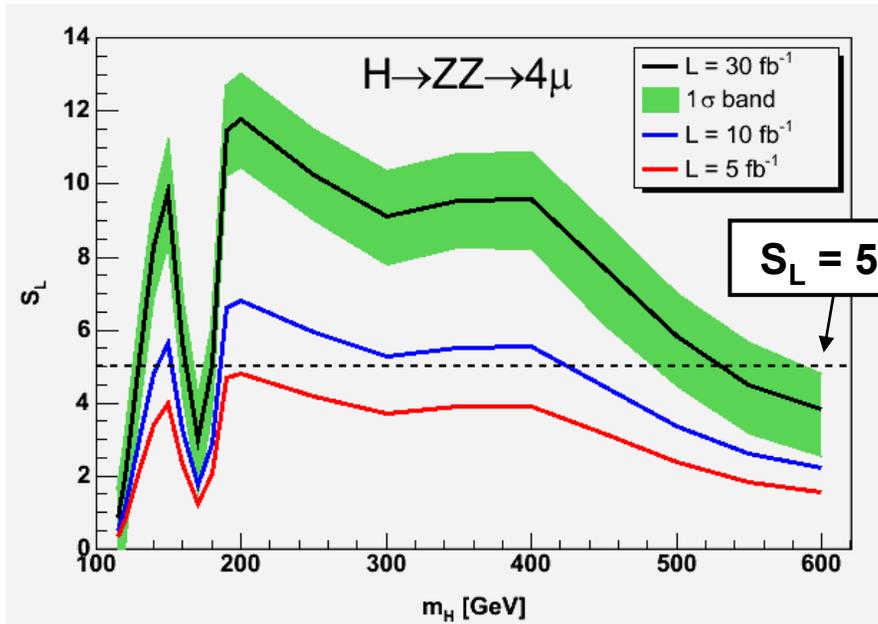
$$S_L = \sqrt{2 \ln(Q)} \quad Q = \frac{\mathcal{L}(S+B)}{\mathcal{L}(B)}$$

LLR permite:

- Seguir la evolución del peso de los candidatos con L
- Descubrimiento a baja luminosidad
- Combinar canales con facilidad



- S_L : Desviación estadística (# sigmas) de la hipótesis de S+B respecto de la de B solo
- $S_L = 5$ para $L = 10 \text{ fb}^{-1}$ en un amplio rango de masas: $\sim 150, 180 - 450 \text{ GeV}$
- Combinación de canales con bajo poder estadístico individual (y distintos discriminantes):
 - Aumenta S_L
 - Consistencia interna en los distintos canales/análisis



El potencial de descubrimiento aumenta significativamente con la combinación de canales



Conclusiones



- El descubrimiento del bosón de Higgs en el experimento CMS es factible durante el primer año de operación de LHC a la luminosidad de diseño ($2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \sim 20 \text{ fb}^{-1}$) para un amplio rango de masas

- El canal $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$ proporciona:
 - Signaturas claras
 - Contaminación a niveles aceptables
 - Información precisa sobre la masa del Higgs

- La combinación de los canales leptónicos $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu, 2e2\mu, 4e$ jugará un papel fundamental en el descubrimiento del bosón de Higgs