

# Observación de una Nueva Partícula con una masa de 125 GeV

Experimento CMS, CERN

4 Julio 2012

## Resumen

Hoy, en un seminario conjunto en el CERN y en la conferencia “ICHEP 2012”[1] en Melbourne, Australia, científicos del experimento Compact Muon Solenoid (o CMS) del Gran Colisionador de Hadrones (conocido como LHC por sus siglas en inglés) presentaron sus resultados preliminares sobre la búsqueda del bosón de Higgs del Modelo Estándar (ME en breve) en los datos grabados hasta Junio de 2012.

CMS observa un exceso de eventos a una masa de aproximadamente 125 GeV[2] con una significancia estadística de cinco desviaciones estándar (5 sigmas)[3] sobre lo que se espera de ruido. La probabilidad de que el ruido por si mismo fluctuó a este nivel o más arriba es de una en tres millones. La evidencia es más fuerte en los dos estados finales que tienen la mejor resolución de masa: en primer lugar en el estado final de dos fotones y en segundo lugar en el estado final con dos pares de leptones cargados (electrones o muones). Interpretamos ésto como que es debido a la producción de una partícula no observada anteriormente con una masa de alrededor de 125 GeV.

Los datos de CMS también descartan la existencia del bosón de Higgs del ME en los rangos 110-121.5 GeV y 127-600 GeV con un nivel de confianza de 95%[4] – masas más pequeñas habían sido ya excluidas por el colisionador LEP del CERN al mismo nivel de confianza.

Dentro de las incertidumbres estadísticas y sistemáticas, los resultados obtenidos en los varios canales de búsqueda son consistentes con las expectativas del bosón de Higgs del ME. Sin embargo, se necesitan más datos para establecer si esta nueva partícula tiene todas las propiedades del bosón de Higgs del ME o si algunas de estas propiedades no concuerdan con este bosón, lo que implicaría física nueva más allá del Modelo Estándar.

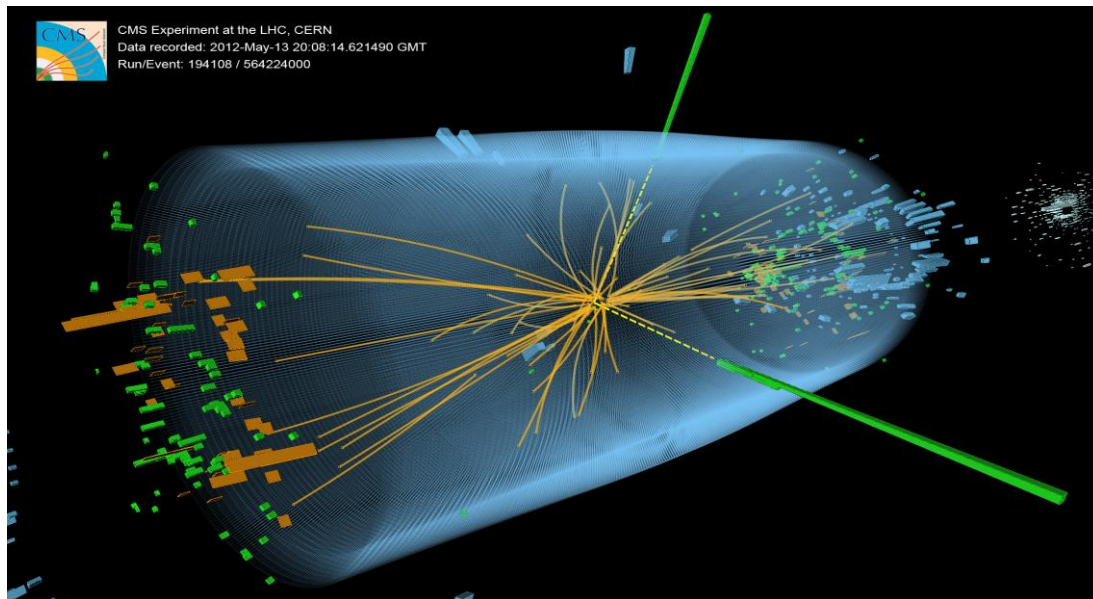
El LHC continúa produciendo nuevos datos a una razón impresionante. Antes de que acabe el 2012, CMS espera tener más del triple de la muestra de datos actual. Estos datos le permitirán a CMS elucidar más sobre la naturaleza de esta partícula recién observada. Estos datos también le permitirán a CMS extender su alcance en muchas otras búsquedas de física nueva.

## Estrategia de Búsqueda en CMS

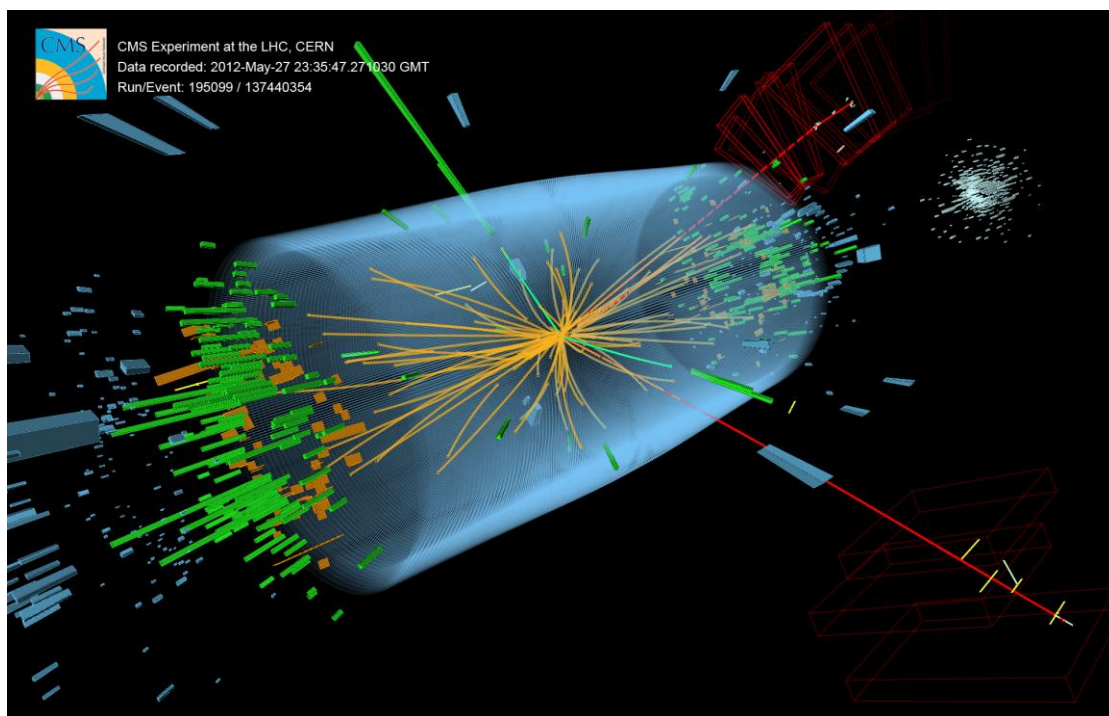
CMS analizo la muestra completa de datos de colisiones protón-protón reunida en el año 2011 y hasta el 18 de junio de 2012. Estos datos corresponden a  $5.1 \text{ fb}^{-1}$  de luminosidad integrada [5], a una energía en el centro de masa de 7 TeV en 2011 y hasta  $5.3 \text{ fb}^{-1}$  a 8 TeV en 2012.

El Modelo Estándar predice que el bosón de Higgs vive un tiempo muy corto antes de convertirse o decaer en otras partículas bien conocidas. CMS estudio los cinco canales de decaimiento principales del bosón de Higgs. Tres canales resultan en pares de partículas bosonicas ( $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$  o  $WW$ ) y dos canales resultan en pares de partículas fermionicas ( $bb$  o  $\tau\tau$ ), donde  $\gamma$  denota un fotón, y  $Z$  y  $W$  denotan los portadores de la fuerza de la interacción débil,  $b$  denota un quark bottom, y  $\tau$  denota un leptón tau. Los canales  $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$  y  $WW$  son igualmente sensibles en la búsqueda del bosón de Higgs alrededor de una masa de 125 GeV y todas son más sensible que los canales  $bb$  y  $\tau\tau$ .

Los canales  $\gamma\gamma$  y  $ZZ$  son especialmente importantes ya que ambos permiten medir con precisión la masa de la nueva partícula. En el canal  $\gamma\gamma$  la masa se determina de la energía y la dirección de los dos fotones energéticos medidos por el calorímetro electromagnético de CMS que está hecho de cristales (ECAL, Figura 1). En el canal  $ZZ$  la masa se determina de los decaimientos  $ZZ$  a dos pares de electrones o dos pares de muones, o un par de electrones y un par de muones (Figura 2). Estos son medidos en el ECAL, en los detectores de trazas interno y en los detectores de muones.



**Figura 1.** Evento grabado con el detector CMS en 2012 a una energía del centro de masa del protón-protón de 8 TeV. El evento muestra las características esperadas de un decaimiento del bosón de Higgs del Modelo Estándar a un par de fotones (líneas amarillas punteadas y torres verdes). El evento podría también deberse a procesos físicos conocidos del Modelo Estándar.



**Figura 2.** Evento grabado con el detector CMS en 2012 a una energía del centro de masa protón-protón de 8 TeV. El evento muestra las características esperadas de un decaimiento del bosón de Higgs del Modelo Estándar a un par de bosones Z, uno de los cuales a su vez decae a un par de electrones (líneas verdes y torres verdes) y el otro Z decae a un par de muones (líneas rojas). El evento también podría ser debido a procesos físicos conocidos del Modelo Estándar.

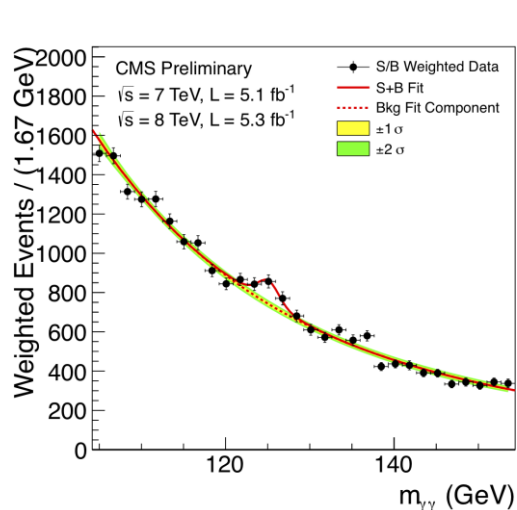
El canal WW es más complejo. Cada W se identifica a través de su decaimiento a un electrón y un neutrino o a un muón y un neutrino. Los neutrinos pasan a través de los detectores de CMS sin ser detectados, así que el bosón de Higgs del ME en el canal WW se manifestaría como un exceso ancho en la distribución de masa, más que un pico delgado. El canal bb tiene ruidos muy grandes de procesos del Modelo Estándar, así que los análisis buscan eventos en los cuales el bosón de Higgs se produzca en asociación con un W o un Z, que decae después a electrones o muones. El canal  $\tau\tau$  se mide al observar decaimientos del  $\tau$  a electrones, muones y hadrones.

### Resumen de los Resultados de CMS

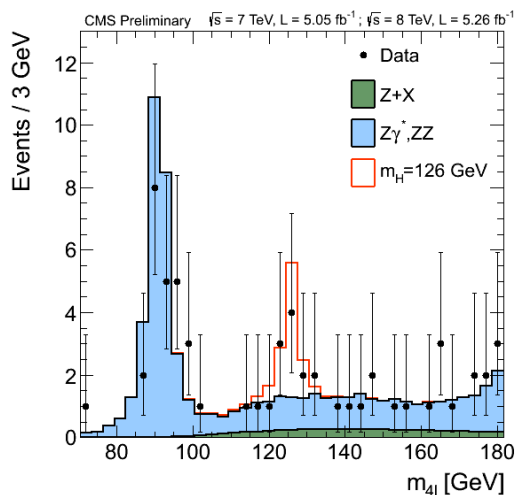
Si el Higgs del ME no existe, la muestra de datos de CMS debería ser suficientemente sensible para excluir completamente el rango de masa 110–600 GeV a un nivel de confianza de 95%. De hecho, los datos de CMS descartan la existencia del bosón de Higgs del ME en dos rangos de masa muy amplios de 110-122.5 GeV y 127-600 GeV con 95% de nivel de confianza.

El rango 122.5–127 GeV no puede ser excluido porque vemos un exceso de eventos en tres de los cinco canales analizados:

- **El canal  $\gamma\gamma$ :** la distribución de masa del  $\gamma\gamma$  se muestra en la Figura 3. Hay un exceso de eventos sobre el ruido con una significancia de 4.1 sigmas, en una masa cerca de 125 GeV. La observación del estado final de dos fotones implica que la nueva partícula es un bosón, no un fermión, y que no puede ser una partícula de “spin 1”.
- **El canal ZZ:** la Figura 4 muestra la distribución de masa para los cuatro leptones (dos pares de electrones, o dos pares de muones o un par de electrones y un par de muones). Se observa un exceso de 3.2 sigmas sobre el nivel del ruido a una masa de 125 GeV y también explica las características angulares del decaimiento,
- **El canal WW:** se observa en la distribución de masa un exceso ancho de 1.5 sigmas.
- **Los canales bb y  $\tau\tau$ :** no se observa ningún exceso.



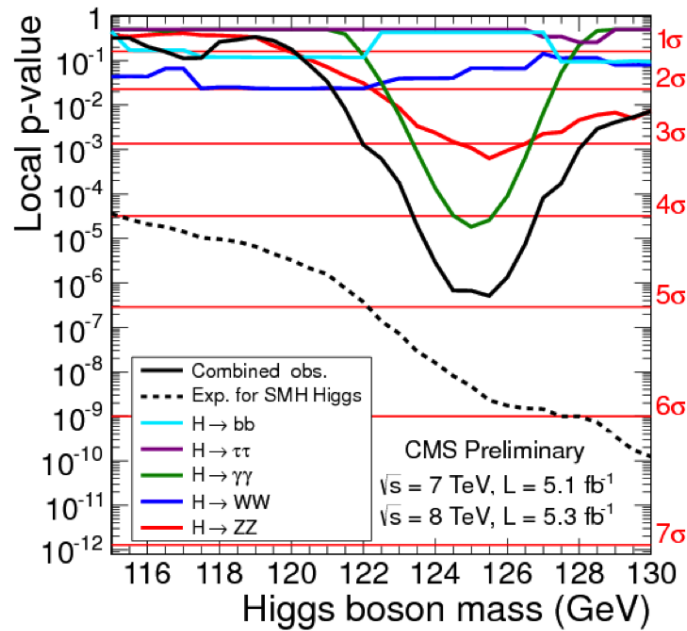
**Figura 3.** Distribución de la masa invariante del di-fotón ( $\gamma\gamma$ ) para los datos de CMS del 2011 y 2012 (puntos negros con barras de error). Los datos se pesan por la razón de señal a ruido para cada subcategoría de eventos. La línea sólida roja muestra el resultado final para señal más ruido; la línea punteada roja muestra solo el ruido.



**Figura 4.** Distribución de masa de los cuatro leptones reconstruidos, para la suma de los canales  $4e$ ,  $4\mu$ , y  $2e2\mu$ . Los puntos representan los datos, los histogramas sombreados representan el ruido y el histograma sin sombreado representa la expectativa de señal. Las distribuciones se presentan como histogramas sobrepuestos. Las mediciones se presentan para la

suma de los datos grabados a energías de centro de masa de 7 y 8 TeVs.

La significancia estadística de la señal, de un ajuste combinado a los cinco canales (Figura 5), es 4.9 sigmas sobre el ruido. Un ajuste combinado a los dos canales más sensibles y de más alta resolución ( $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ ) produce una significancia estadística de 5.0 sigmas. La probabilidad de que el ruido por si mismo fluctuó a este nivel o más arriba es de una en tres millones.



**Figura 5.** La probabilidad observada (o valor-p local) de que la hipótesis que el ruido produzca un número de eventos igual o mayor a los que se ven en los datos de CMS, como función de la masa del bosón de Higgs del ME para los cinco canales considerados. La línea sólida negra muestra el valor-p local de todos los canales combinados.

Se determina que la masa de la nueva partícula es  $125.3 \pm 0.6$  GeV, independiente de cualquier suposición sobre la producción relativa esperada de los canales de decaimiento. La razón de producción medida ( $\sigma_{\text{DAT}}$ ) de esta nueva partícula es consistente con la razón predicha ( $\sigma_{\text{SM}}$ ) para el bosón de Higgs del ME:  $\sigma_{\text{DAT}}/\sigma_{\text{SM}} = 0.80 \pm 0.22$ .

Se ha tenido un gran cuidado de entender los numerosos detalles del funcionamiento del detector, la selección de eventos, la determinación del ruido y otras fuentes posibles de incertidumbres sistemáticas y estadísticas. El análisis del 2011[6] mostro un exceso de eventos alrededor de 125 GeV. Por lo tanto, para evitar un posible sesgo en los criterios de selección para los datos de 2012 que pudiera artificialmente favorecer este exceso, el análisis de los datos del 2012 se hizo “a ciegas”[7], entendiéndose que la región de interés no se examinó si no hasta que todos los criterios del análisis habían pasado por un estricto escrutinio y habían sido aprobados.

Como un cross check general, los análisis se hicieron por al menos dos equipos trabajando de manera independiente. Un cierto número de otras características que dan confianza en los resultados son:

- El exceso se ve alrededor de 125 GeV en ambas muestras, la muestra de datos del 2011 (7 TeV) y la muestra de datos del 2012 (8 TeV);

- El exceso se ve en la misma masa en los dos canales de alta resolución ( $\gamma\gamma$  and  $ZZ$ );
- El exceso visto en el canal  $WW$  es consistente con uno que viniera de una partícula de 125 GeV;
- El exceso es visto en un rango de estados finales que involucran fotones, electrones, muones y hadrones.

Los resultados preliminares presentados hoy serán refinados con el objetivo de enviarlos para publicación hacia el final de verano.

### Planes futuros

La nueva partícula observada alrededor de 125 GeV es compatible, dentro de la limitada precisión estadística, con que sea el bosón de Higgs del ME. Sin embargo, se requieren más datos para medir sus propiedades, tales como sus razones de decaimiento en los diferentes canales ( $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$ ,  $WW$ ,  $bb$  y  $\tau\tau$ ) y finalmente su spin y paridad, y por lo tanto confirmar si es realmente el bosón de Higgs del ME o el resultado de nueva física más allá del Modelo Estándar.

El LHC continua funcionando extremadamente bien. Antes del final del 2012, CMS espera tener más del triple de su muestra total de datos y así poder profundizar en el estudio de la naturaleza de esta nueva partícula. Si resulta que esta partícula es el bosón de Higgs del Modelo Estándar, sus propiedades e implicaciones para el Modelo Estándar serán estudiadas en detalle. Si no es el bosón de Higgs del ME, CMS explorará la naturaleza de la nueva física que esto implica, lo cual podría incluir partículas adicionales que son observables en el LHC. En cualquier caso, se continuará la búsqueda de otras nuevas partículas o fuerzas que pudieran ser observadas en futuras tomas de datos del LHC a energías e intensidades más altas.

### Sobre CMS

Más información: <http://cern.ch/cms> o contactar [cms.outreach@cern.ch](mailto:cms.outreach@cern.ch).

CMS es uno de los dos experimentos de multi-propósitos en el LHC que se construyeron para buscar nueva física. Se diseñó para detectar un amplia gama de partículas y fenómenos producidos en las colisiones a altas energías de protón-protón y iones pesados en el LHC y ayudará a responder preguntas tales como: "¿De qué está hecho el universo y qué fuerzas actúan en él?" y "¿Qué le da masa a todo?" También medirá las propiedades de partículas bien conocidas con una precisión sin precedentes y estará preparado para observar fenómenos completamente nuevos y no predichos. Esta investigación no solo incrementa nuestro entendimiento de cómo funciona el universo, si no que tarde o temprano podría generar tecnología que cambie el mundo en el que vivimos como ya ha ocurrido en el pasado.

El diseño conceptual del experimento CMS se remonta a 1992. La construcción de este detector gigante (15 m de diámetro y casi 29 m de largo con un peso de 14000 toneladas) tomó 16 años de esfuerzo de una de las colaboraciones científicas internacionales más grandes nunca antes reunida: 3275 físicos (incluyendo 1535 estudiantes) más 790 ingenieros y técnicos, de 179 instituciones y laboratorios de investigación distribuidos en 41 países de todo el mundo.

### Pies de página

[1] ICHEP es la 36 Conferencia Internacional de Física de Altas Energías, en Melbourne, Australia de 4-11 de Julio, 2012. Los resultados serán presentados conjuntamente : en persona en el CERN y por video en tiempo real en ICHEP.

[2] El electrón volt (eV) es una unidad de energía. Un GeV es 1,000,000,000 de eVs. En física de partículas, donde la masa y la energía frecuentemente se intercambian, es común usar  $eV/c^2$  como unidad de masa (de  $E = mc^2$ , donde  $c$  es la velocidad de luz en el vacío). Aun más común es el sistema de unidades naturales con  $c$  puesto a 1 (de ahí que,  $E = m$ ), y usar eV y GeV como unidades de masa.

[3] La desviación estándar describe la anchura de un conjunto de mediciones alrededor del valor promedio. Se puede usar para cuantificar el nivel de desacuerdo de un conjunto de datos con una hipótesis dada. Los físicos expresan desviaciones estándar en unidades llamadas “sigma”. Mientras más alto el número de sigmas, más incompatibles son los datos con la hipótesis. Típicamente, mientras más inesperado sea un descubrimiento, más grande será el número de sigmas que los físicos requerirán para estar convencidos.

[4] Nivel de confianza es una medida estadística del porcentaje de resultados de prueba que se pueden esperar que estén en un rango específico. Por ejemplo, un nivel de confianza de 95% significa que el resultado de una acción probablemente alcanzarán las expectativas 95% de las veces.

[5] <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>

[6] <http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>

[7] <http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses>