

Observación de una nueva partícula con una masa de 125 GeV

Experimento CMS, CERN

4 de julio de 2012

Resumen

Investigadores del experimento CMS del Gran Colisionador de Hadrones del CERN (LHC) han presentado en un seminario conjunto del CERN y de la conferencia "ICHEP 2012" [1] en Melbourne sus últimos resultados preliminares de la búsqueda del bosón de Higgs del modelo estándar (SM), usando datos registrados hasta junio de 2012.

CMS observa un exceso de sucesos alrededor de una masa de unos 125 GeV [2] con una significación estadística de cinco desviaciones estándar (5 sigmas) [3] por encima del fondo esperado. La probabilidad de obtener un exceso semejante a partir de una fluctuación proveniente únicamente del fondo es cercana a una parte en tres millones. La evidencia es más acusada en los dos estados finales con mejor resolución en masa: en primer lugar el estado final con dos fotones y en segundo lugar el estado final con dos pares de leptones cargados (electrones o muones). El exceso es interpretado como la producción de una nueva partícula con una masa cercana a 125 GeV.

Los datos de CMS también excluyen la existencia de un bosón de Higgs del SM en los intervalos 110-122.5 GeV y 127-600 GeV con un nivel de confianza [4] del 95% (masas inferiores ya han sido excluidas por el colisionador LEP del CERN con el mismo nivel de confianza).

Los resultados obtenidos en los diversos canales de búsqueda son coherentes con lo esperado para un bosón de Higgs del SM dentro de las incertidumbres estadísticas y sistemáticas. Sin embargo, se necesitan muchos más datos para establecer si esta nueva partícula tiene todas sus propiedades o si por el contrario algunas discrepan con lo esperado, lo que implicaría nueva física más allá del modelo estándar.

El LHC continúa proporcionando nuevos datos a un ritmo impresionante. A finales de 2012 CMS espera tener más del triple de la muestra de datos actual. Estos datos permitirán a CMS establecer más claramente la naturaleza de esta nueva partícula observada y aumentar el alcance de muchas otras búsquedas de nueva física.

Estrategia de búsqueda en CMS

CMS ha analizado la muestra completa de datos de colisiones protón-protón coleccionada durante todo 2011 y 2012, hasta el 18 de junio. La cantidad de datos asciende hasta 5.1 fb⁻¹ de luminosidad integrada [5] a una energía en centro de masas de 7 TeV en 2011 y es de 5.3 fb⁻¹ a 8 TeV en 2012.

El modelo estándar predice un bosón de Higgs que sobrevive muy poco tiempo antes de desintegrarse en otras partículas conocidas. CMS ha estudiado cinco de los canales de desintegración principales. Tres de ellos corresponden a canales de desintegración en pares de bosones ($\gamma\gamma$, ZZ o WW) y los dos restantes a desintegraciones en pares de fermiones (bb o $\tau\tau$), donde γ representa un fotón, Z y W son los portadores de la interacción débil, b es un quark con belleza, y τ es el lepton tau. Los canales $\gamma\gamma$, ZZ y WW tienen sensibilidades semejantes en la búsqueda alrededor de 125 GeV, superiores a las de los canales bb y $\tau\tau$.

Los canales $\gamma\gamma$ y ZZ son particularmente importantes, ya que permiten una medida precisa de la masa de la nueva partícula. En el canal $\gamma\gamma$ la masa se determina a partir de las energías y direcciones de los dos fotones medidos en el calorímetro electromagnético de cristales de CMS (ECAL, figura 1). En el canal ZZ, la masa se determina a partir de las desintegraciones de los dos bosones Z, ya sea en dos pares de electrones, dos pares de muones o un par de electrones más un par de muones (figura 2). Estos son medidos en el ECAL, en el detector de trazas interno y en los detectores de muones.

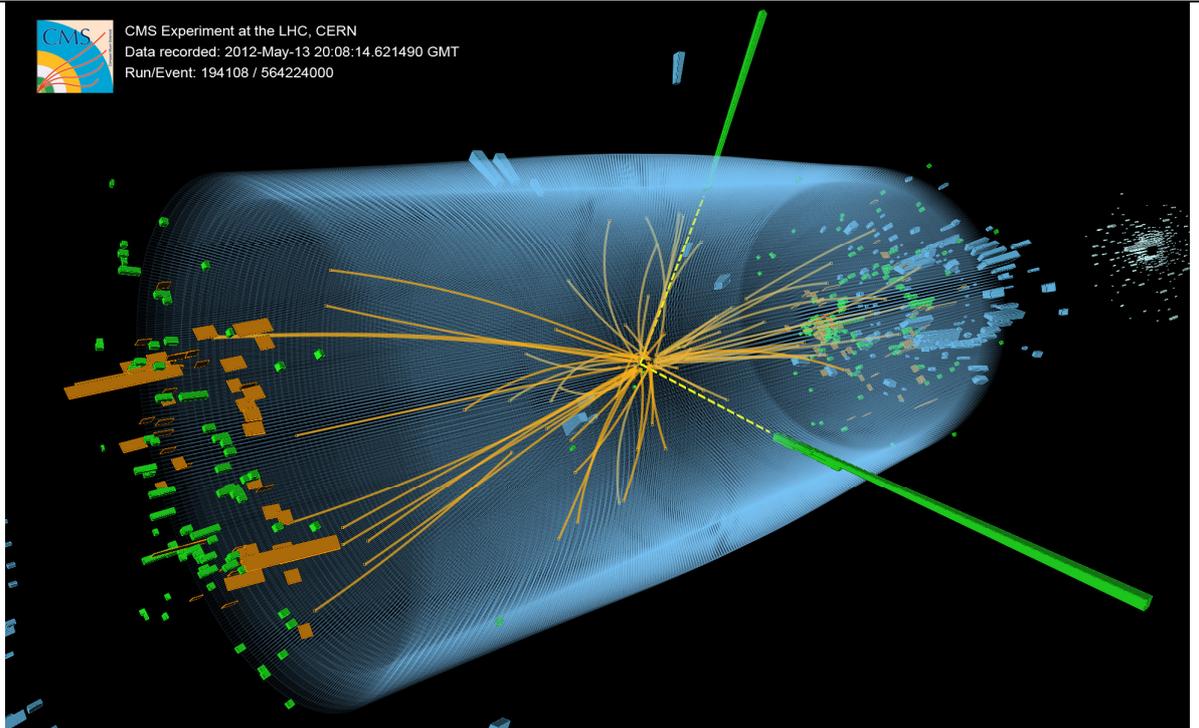


Figura 1. Suceso registrado por el detector CMS en 2012 a una energía en centro de masas de 8 TeV. El suceso muestra las características esperadas tras una desintegración del bosón de Higgs del SM en un par de fotones (líneas amarillas discontinuas asociadas a torres verdes). El suceso puede ser también interpretado a partir de procesos de fondo conocidos dentro del modelo estándar.

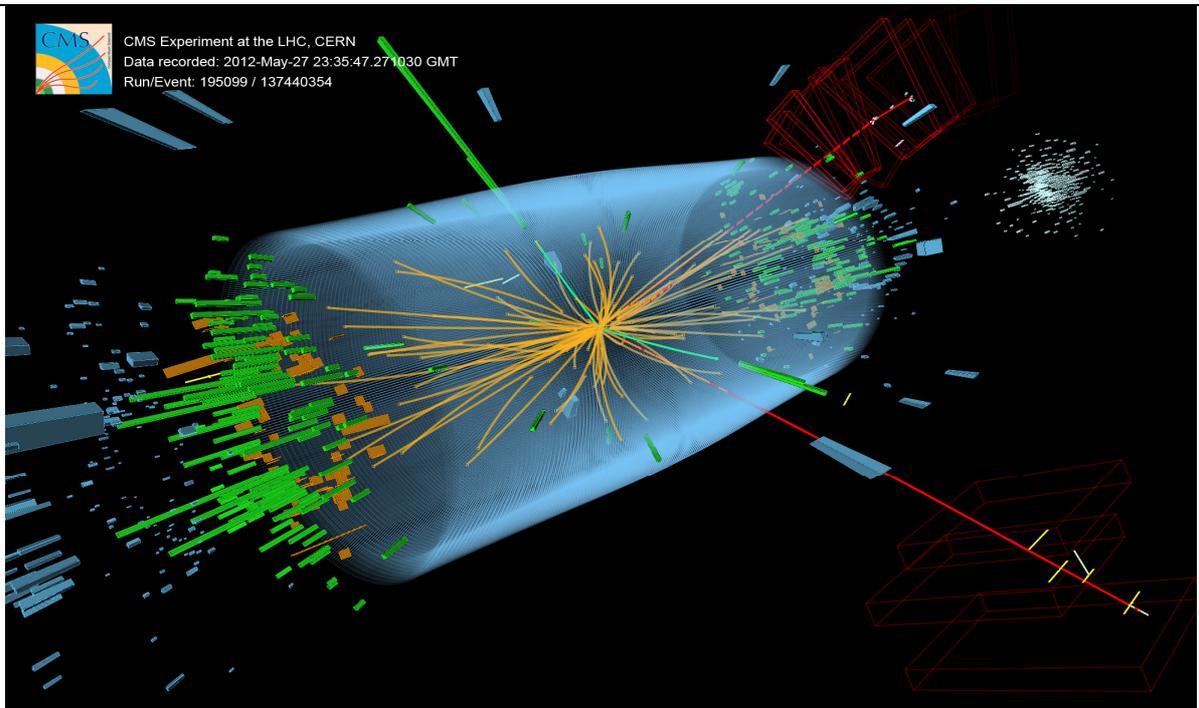


Figura 2. Suceso registrado en el detector CMS en 2012 a una energía en centro de masas de 8 TeV. El suceso muestra las características esperadas tras una desintegración del bosón de Higgs del SM en un par de bosones Z. Uno de los Z se desintegra a su vez en un par de electrones (líneas verdes asociadas a torres verdes). El otro Z se desintegra en un par de muones (líneas rojas). El suceso puede ser también interpretado a partir de procesos de fondo conocidos dentro del modelo estándar.

El canal WW es más complejo. Cada W se identifica a través de su desintegración en un electrón y un neutrino o en un muón y un neutrino. Los neutrinos atraviesan los detectores de CMS sin ser detectados, por lo que el bosón de Higgs del SM se manifestaría en este canal como un amplio exceso en la distribución de masa, en lugar de un pico estrecho. El canal bb está dominado por fondos de otros procesos del modelo estándar, por lo que los análisis buscan sucesos en los que el bosón de Higgs del SM se produce en asociación con un W o un Z. Estos se desintegran a su vez en leptones que contienen electrones o muones. El canal $\tau\tau$ se analiza a partir de desintegraciones del τ en electrones, muones y hadrones.

Resumen de resultados de CMS

Los datos de CMS deberían ser suficientes para excluir completamente el intervalo de masas 110–600 GeV con un 95% de nivel de confianza si el Higgs del SM no existiera. De hecho, los datos de CMS excluyen la existencia de dicho bosón en dos amplios intervalos de masa, 110–122.5 GeV y 127–600 GeV con un 95% de nivel de confianza.

El intervalo 122.5–127 GeV no puede ser excluido debido a un exceso de sucesos en tres de los cinco canales analizados:

1. **canal $\gamma\gamma$** : la distribución de masa del sistema $\gamma\gamma$ se muestra en la figura 3. Hay un exceso por encima del fondo con una significancia de 4.1 sigmas para una masa cercana a 125 GeV. La observación en este estado final implica que la nueva partícula tiene que ser un bosón y no un fermión, así como que no puede tratarse de una partícula de espín 1.
2. **canal ZZ**: la figura 4 muestra la distribución de masa del sistema de cuatro leptones (dos pares de electrones, o dos pares de muones, o un par de electrones más un par de muones). Cuando se tienen en cuenta además las propiedades angulares de la desintegración, el análisis conduce a un exceso de 3.2 sigmas por encima del fondo para una masa cercana a 125 GeV.
3. **canal WW**: se observa un exceso general en la distribución de masa al nivel de 1.5 sigmas.
4. **canales bb y $\tau\tau$** : no se observan excesos.

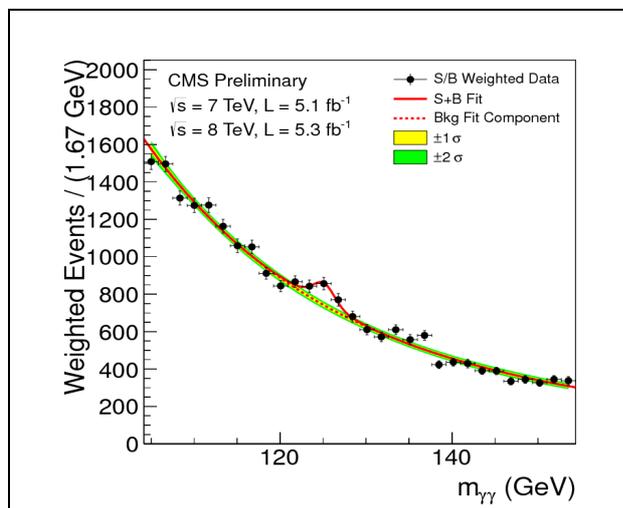


Figura 3. Distribución de la masa invariante de di-fotones ($\gamma\gamma$) para datos de 2011 y 2012 (puntos negros con barras de error). Los datos han sido pesados por la proporción de señal sobre fondo para cada categoría de sucesos. La línea roja continua muestra el resultado del ajuste de señal más fondo; la línea roja discontinua muestra sólo el fondo.

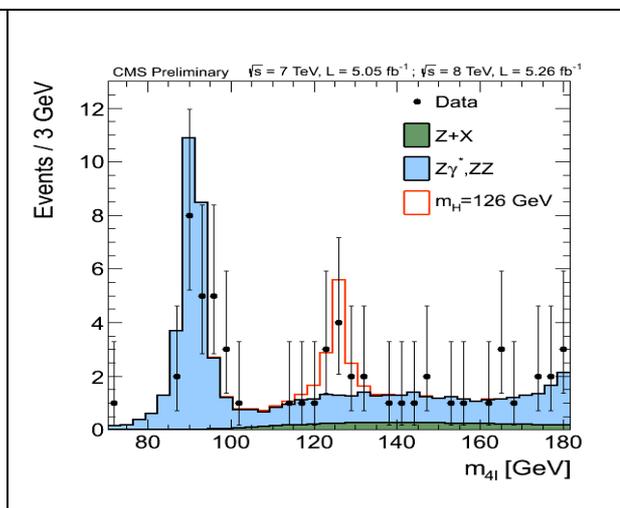
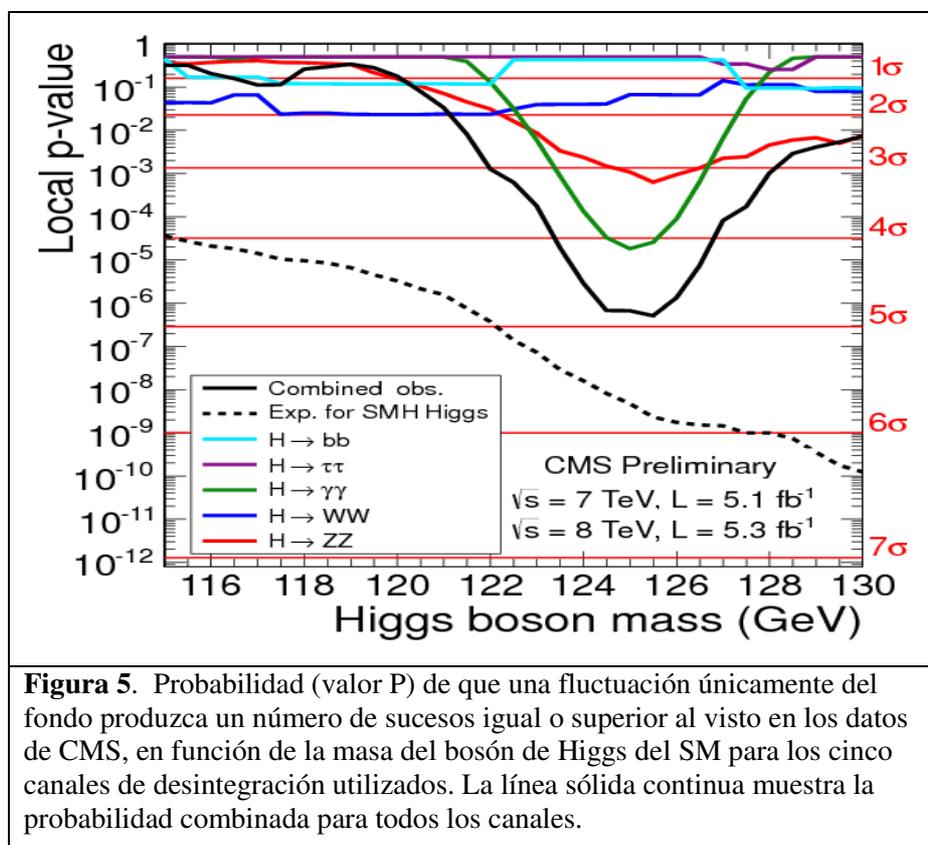


Figura 4. Distribución de la masa reconstruida del sistema de cuatro leptones para la suma de canales $4e$, 4μ y $2e2\mu$. Los puntos son los datos, los histogramas sombreados el fondo y el histograma no sombreado la señal esperada. Las distribuciones se presentan como histogramas apilados y las medidas usan los datos acumulados a energías en centro de masas de 7 y 8 TeV.

La significación estadística de la señal a partir de un ajuste combinado a los cinco canales (figura 5), es de 4.9 sigmas sobre el fondo. Un ajuste combinado restringido a los dos canales más sensibles y con mejor resolución en masa ($\gamma\gamma$ y ZZ) conduce a una significación estadística de 5.0 sigmas.



La masa estimada para la nueva partícula es 125.3 ± 0.6 GeV, independientemente de las contribuciones relativas consideradas para los diferentes canales de desintegración. La tasa de producción medida (σ_{DAT}) está en acuerdo con la tasa predicha (σ_{SM}) para el bosón de Higgs del SM: $\sigma_{\text{DAT}}/\sigma_{\text{SM}} = 0.80 \pm 0.22$.

Se ha tenido además sumo cuidado en entender los detalles del comportamiento del detector, la selección de sucesos, las estimaciones del fondo y otras posibles fuentes de incertidumbres estadísticas y sistemáticas. El análisis de 2011 [6] mostró un exceso de sucesos alrededor de 125 GeV. Por tanto, y para evitar sesgos potenciales en la elección de los criterios de selección que pudieran artificialmente incrementar el exceso, el análisis de 2012 se ha realizado de forma “ciega” [7], en el sentido de que la región de interés no ha sido examinada hasta que los criterios de análisis no han sido completamente evaluados y aprobados.

Como test general, los análisis fueron llevados a cabo por al menos dos grupos independientes. Varios hechos refuerzan la confianza en los resultados:

- El exceso se observa alrededor de 125 GeV en ambas muestras de datos: 2011 (7 TeV) y 2012 (8 TeV);
- El exceso aparece en los dos canales de alta resolución ($\gamma\gamma$ y ZZ);
- El exceso observado en los canales WW y bb es coherente con lo esperado para una partícula de masa 125 GeV;
- El exceso aparece en un abanico de estados finales que contienen fotones, electrones, muones y hadrones.

Los resultados preliminares presentados hoy serán refinados con la intención de ser enviados para su publicación hacia finales del verano.

Planes futuros

La nueva partícula observada alrededor de 125 GeV es compatible, dentro de la limitada precisión estadística, con el bosón de Higgs del SM. Sin embargo, se necesitan más datos para medir propiedades tales como sus fracciones de desintegración en los diferentes canales ($\gamma\gamma$, ZZ, WW, bb y $\tau\tau$) y en último término su espín y paridad. Así se comprobará si se trata realmente del bosón de Higgs del SM o si es el resultado de nueva física más allá del modelo estándar.

El LHC continúa funcionando de forma extremadamente satisfactoria. A finales de 2012, CMS espera al menos triplicar su muestra de datos, y así explorar más en profundidad la naturaleza de esta nueva partícula. Si se trata del Higgs del SM, sus propiedades e implicaciones para el modelo estándar serán estudiadas en detalle. Si no se trata del Higgs del SM, CMS explorará la naturaleza de la nueva física que ello implica, lo que podría incluir partículas adicionales que sean observables en el LHC. En cualquiera de los escenarios, se continuarán las búsquedas de nuevas partículas e interacciones en el LHC a más altas energías e intensidades.

Sobre CMS

Para más información consúltese la página Web: <http://cern.ch/cms>.

CMS es uno de los dos experimentos multipropósito del LHC que han sido construidos para buscar nuevas señales de física. Está diseñado para detectar una gran variedad de partículas y fenómenos producidos en colisiones de protones e iones de alta energía en el LHC, y ayudará a responder a cuestiones como: “¿de qué está hecho el universo y cuáles son las fuerzas que actúan en él?”, “¿cuál el origen de la masa?”. También medirá con una precisión sin precedentes las propiedades de partículas conocidas y estará al tanto de posibles nuevos fenómenos inesperados. Estas investigaciones no sólo aumentan nuestra comprensión del universo, sino que pueden conducir a nuevas tecnologías que cambien el mundo en el que vivimos, como ya ha ocurrido frecuentemente en el pasado.

El diseño conceptual de CMS data de 1992. La construcción de este enorme detector (15 m de diámetro por casi 29 m de largo con un peso de 14000 toneladas) supuso 16 años de esfuerzo por parte de una de las mayores colaboraciones científicas internacionales jamás formadas: 3275 físicos (incluyendo 1535 estudiantes), además de 790 ingenieros y técnicos de 179 instituciones y laboratorios de investigación repartidos por 41 países a través del mundo.

Para ampliar la información, contáctese: cms.outreach@cern.ch

Referencias:

[1] ICHEP es la 36ª International Conferencia Internacional de Física de Altas Energías, que se celebra en Melbourne, Australia del 4 al 11 julio de 2012. Los resultados se presentan de forma conjunta: físicamente en el CERN y por enlace vídeo en tiempo real a ICHEP.

[2] El electrón-voltio (eV) es una unidad de energía. Un GeV son 1,000,000,000 eV. En física de partículas, donde masa y energía se intercambian frecuentemente, es habitual utilizar eV/c^2 como unidad de masa ($E = mc^2$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío). Aún más común es utilizar un sistema de unidades naturales con $c=1$ (y por tanto $E=m$). En unidades naturales eV y GeV no son sólo unidades de energía, sino también de masa.

[3] La desviación estándar proporciona la dispersión de un conjunto de datos alrededor de su media. Se puede usar asimismo para cuantificar el nivel de discrepancia de un conjunto de datos con una hipótesis dada. Los físicos miden desviaciones estándar en unidades llamadas “sigmas”. Cuanto mayor es el número de sigmas, mayor es la incompatibilidad de los datos con la citada hipótesis. En un caso típico, cuanto más inesperado es un descubrimiento, mayor es el número de “sigmas” requerido para ser convincente.

[4] El nivel de confianza es una medida estadística del porcentaje de veces que se espera que los resultados de un test aparezcan en un intervalo especificado previamente. Por ejemplo, un nivel de confianza del 95% significa que el resultado de una acción dada será probablemente el esperado un 95% de las veces.

[5] El femtobarn es una unidad de superficie, equivalente a 10^{-15} barns = 10^{-43} m². El barn es, aproximadamente, el área de un núcleo atómico. Esta unidad es muy utilizada en física para medir secciones eficaces en colisiones muy energéticas, y su inverso, el femtobarn inverso, para medir la luminosidad, una estimación del número de colisiones de partículas por unidad de superficie producidas en un acelerador como el LHC.

[6] https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5706&filename=CMSHiggs2010_2011_ES.pdf

[7] La región de masas que no fue excluida en 2011, así como sus alrededores (110 – 140 GeV) se han ocultado durante el análisis de los nuevos datos. Las regiones restantes son las que se han utilizado para comprender los fondos y ajustar los criterios de análisis finalmente empleados en la zona de interés. Este método se usa frecuentemente en física de partículas y es similar a los métodos empleados en investigaciones médicas para estudiar los efectos de nuevos tratamientos.