CALIBRACIÓN DE LA ESCALA DE ENERGÍA DE LOS JETS CON SUCESOS γ +JET PARA EL DETECTOR ATLAS DE LHC

El Modelo Estándar responde a muchas de las cuestiones principales sobre la estructura y la estabilidad de la materia a partir de 6 tipos de quarks, 6 leptones y 4 fuerzas, pero deja muchas otras sin respuesta: ¿Por qué hay 3 familias de quarks y de leptones? ¿Tienen sus masas alguna explicación? ¿Hay más tipos de partículas o de fuerzas que puedan descubrirse en aceleradores de más alta energía? ¿Son realmente los quarks y los leptones partículas fundamentales o tienen subestructura? La esperanza de que colisiones más energéticas den respuesta a preguntas como éstas ha motivado la construcción de nuevos aceleradores, como LHC con el detector ATLAS.

Dadas las altas energías a las que se trabajarán en ATLAS (14 TeV en el centro de masas), las partículas producidas serán las más elementales, como leptones, quarks y gluones, que se manifiestan en forma de jets. Por tanto, los jets serán una herramienta muy útil para el análisis de gran parte de los canales físicos del LHC y debe poder medirse su energía con alta precisión. El objetivo que se ha marcado el experimento a este respecto es alcanzar una precisión en el valor promedio de la energía transversa del orden del 1% con el fin de poder realizar con fiabilidad la medida de otras cantidades derivadas importantes, como las masas de nuevas partículas.

Los jets son objetos compuestos y medir su energía no es tarea fácil. Hay varios factores que influyen en la medida de la energía de los jets. Efectos físicos, como fragmentación, ISR y FSR (radiación en los estados inicial y final), coexistencia de efectos subyacentes o de eventos adicionales. Y efectos del detector, como respuesta diferente del calorímetro a hadrones neutros y cargados, no compensación entre calorímetros, no-linealidades, campo magnético, zonas muertas, espacios entre calorímetros, granularidad y ruido electrónico, etc., todos ellos relacionados con el diseño del detector y que hay que optimizar.

La calibración de las partes del detector es un paso previo a las medidas y es fundamental en el momento de ponerlo a punto, y aunque de alguna manera el calorímetro ya está precalibrado debido a las calibraciones previas con fuentes radioactivas, muones cósmicos, piones y haces de prueba, una calibración *in situ* es imprescindible. Es necesario pues simular de manera realista el detector, y en particular el calorímetro, incluyendo los subdetectores situados delante (detector interno, trazador y detector de vértices), las zonas de materia muerta, etc.

Hay procesos alternativos y complementarios que permiten lograr una buena calibración del calorímetro hadrónico y de sus partes: los estados finales γ +jet y Z^0 +jet, y W →jet+jet. Este trabajo consiste en estudiar a fondo el primero de ellos, por los motivos que ahora siguen. La última de las tres reacciones se limita a aportar información sobre la calibración de jets formados a partir de quarks ligeros. Los sucesos γ +jet presentan tanto ventajas como inconvenientes respecto a los Z^0 +jet. Dado que el Z^0 es muy masivo, se producen del orden de 1 Z^0 +jet por cada 40 γ +jet producidos, de modo que, en los inicios del detector, cuando la luminosidad aun no será muy elevada, la muestra de γ +jet será estadísticamente más significativa. Sin embargo, la resonancia del Z^0 observado en la

desintegración de los leptones permite seleccionar una muestra muy pura, mientras que en la muestra de γ +jet tendremos más contaminación de otros procesos. El trigger del experimento también condiciona su uso: a bajas energías (20-60 GeV) Z^0 +jet será más importante estadísticamente que γ +jet, mientras que para $p_T > 60$ GeV ocurre al contrario.

A primer orden en teoría de perturbaciones, las reacciones que dan lugar al estado final γ +jet son:

$$\begin{aligned} q + g &\rightarrow \gamma + q \dots \text{hadronización} \dots \rightarrow \gamma + \text{jet} \\ q + q' &\rightarrow \gamma + g \dots \text{hadronización} \dots \rightarrow \gamma + \text{jet} \end{aligned}$$

Dado que en primera aproximación los dos partones del estado inicial tienen momento transversal (p_T) nulo, por conservación, el estado “intermedio” γ +partón también debe tener p_T igual a cero. Por otro lado, puesto que los jets resultan de la fragmentación del partón, se espera que el p_T del jet pueda relacionarse con el del partón aplicando algunas correcciones, de modo que los momentos transversos del jet y del fotón del estado final se cancelarán entre sí. Así pues, el balance de p_T entre el fotón y el jet del estado final permite determinar con mucha precisión la escala absoluta de energía de los jets, calibrando así el calorímetro hadrónico. No obstante, el proceso presenta algunas complicaciones que dificultan el análisis de los datos, como el ISR y el FSR mencionados antes, que pueden llevarse parte del momento transversal, descompensando el balance deseado.

Además de la calibración del calorímetro hadrónico, este trabajo permite también y gracias a la simulación realista del detector, la intercalibración de las diferentes partes del calorímetro hadrónico, el ajuste de los coeficientes de calibración para los hadrones, la determinación de la precisión que puede alcanzarse en las diferentes regiones del calorímetro en función de la estadística disponible, el estudio de la eficiencia de los distintos algoritmos para encontrar los jets en el calorímetro y la realización de todo tipo de tareas de monitoring.

El análisis presentado incluye pues una simulación detallada y realista del detector, de las interacciones de señal y del ruido de fondo, formado principalmente por sucesos jet+jet en los que un jet fragmenta en un π^0 energético que a su vez decae en dos fotones que se acaban detectando como un único fotón en el calorímetro.

La reconstrucción de los sucesos se ha realizado con tres tipos de algoritmos de reconstrucción de jet (kT, Cone con radio de 0.7 y Cone con radio de 0.4), lo que permite estudiar comparativamente distintos aspectos relacionados con la reconstrucción de los jets y su calibración. También disponemos de la información de los sucesos generados y de los jets reconstruidos a partir de las partículas halladas en el calorímetro para los distintos algoritmos; una referencia segura con la que cotejar todos los algoritmos de reconstrucción de jets.

En definitiva, el fotón es un objeto electromagnético cuya energía puede medirse con alta precisión y que, por tanto, podemos usar para comparar el comportamiento de los diferentes algoritmos de reconstrucción de jets empleados a distintos niveles, obteniendo información relativa a la calibración tanto de la energía de los jets como del calorímetro hadrónico, y de otros muchos aspectos relacionados con el detector y con los jets.