



Análisis de Datos de Colisiones

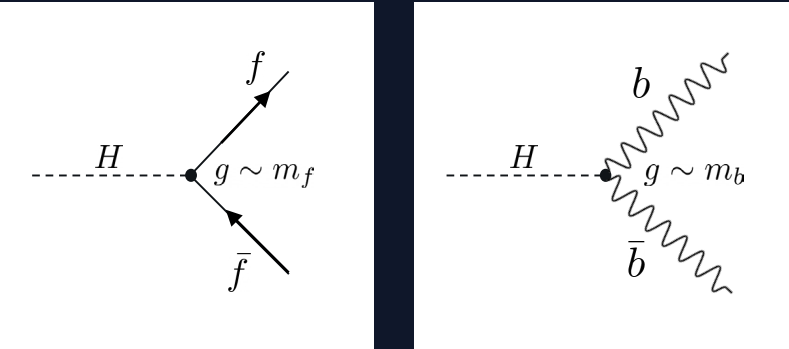
Estudio de señales ggH, VBFH y fondo utilizando variables cinemáticas

Estudiantes: Joan S. Guillamet, Víctor Salvador.

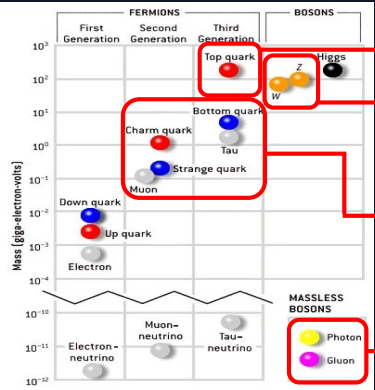
Tutores: Josu Cantero, Miguel Villaplana, Alejandro Pérez.

Introducción teórica

Decays principales del Higgs



$\Gamma \sim m^2$



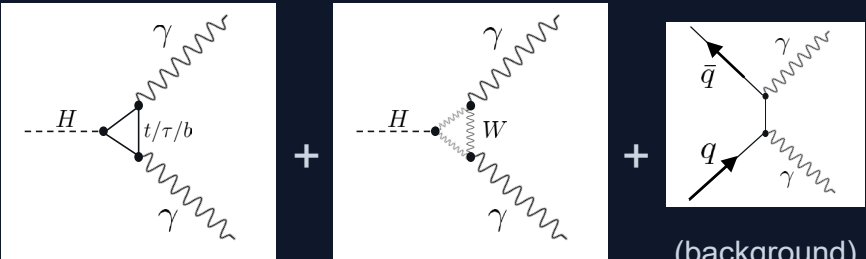
NO PERMITIDA: $m_H \approx 125 \text{ GeV} \not\geq 2m_t \approx 345 \text{ GeV}$

~24%

~67%, pero los quarks producen jets (mala señal)

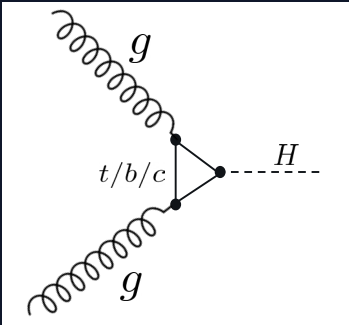
~8%, aunque su masa sea zero (diagrama a nivel de loops).

La desintegración a gg también producirá jets. En este trabajo sólo nos interesa la desintegración a $\gamma\gamma$:



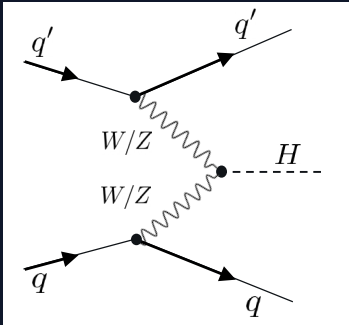
Producciones principales del Higgs

En la colisión pp del LHC, los gluones de la estructura interna de cada protón con $E_g \geq m_H/2$ se pueden fusionar y producir un Higgs:



Señal ggH
($N_{jet} \sim 0$)

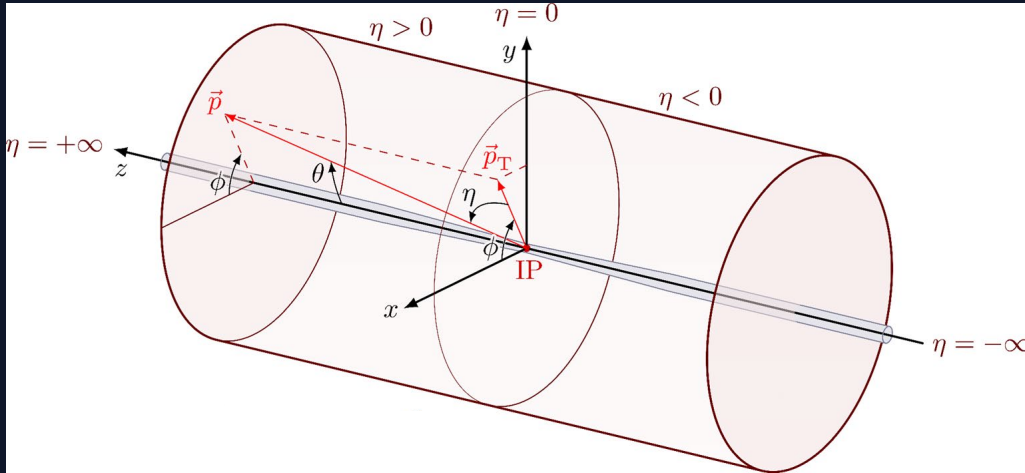
La otra contribución relevante es debida a:



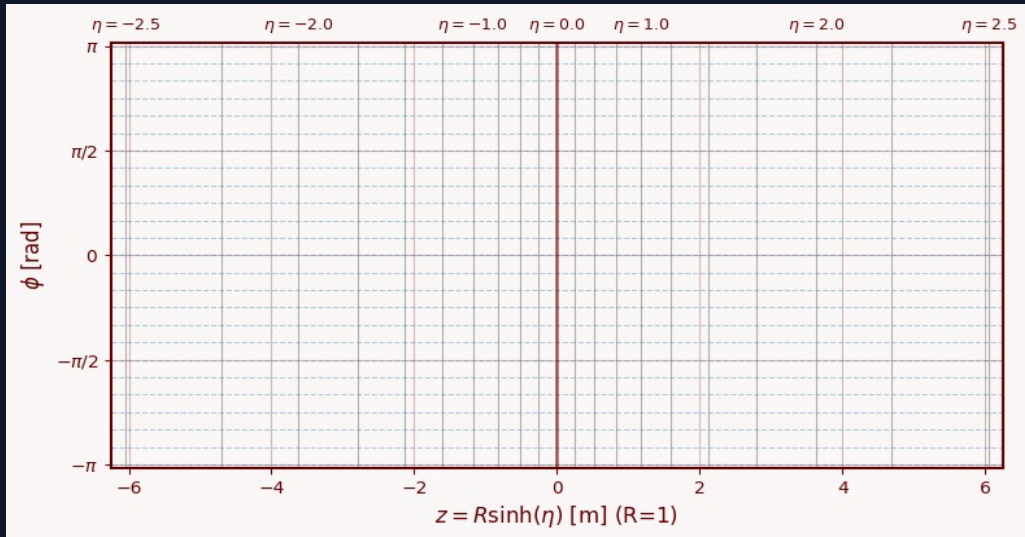
Señal VBFH
($N_{jet} \sim 2$)

Aliaksei Kachanovich, Researchgate

Variables cinemáticas



https://tikz.net/axis3d_cms/



- Ángulo azimutal:

$$0 \leq \phi \leq 2\pi \quad \text{ó} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

- Pseudorapidez:

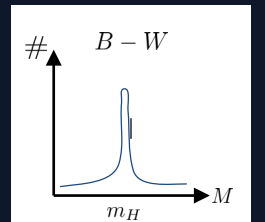
$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2)), \quad \theta \in [0, \pi]$$

- Momento transversal:

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}, \quad \begin{cases} p_x = p_T \cos \phi \\ p_y = p_T \sin \phi \end{cases}$$

- Masa invariante:

$$M = \sqrt{\left(\sum_{\text{ini}} p^\mu\right)^2} = \sqrt{\left(\sum_{\text{fin}} p^\mu\right)^2}$$



Conceptos Clave: Truth vs. Reco

Nivel "Truth" (Generador)

Representa las partículas exactas generadas por la simulación de Monte Carlo, **antes** de que interactúen con el detector.

Un *Truth Photon* o *Truth Jet* refleja la física pura del evento, sin sesgos experimentales, pérdidas de energía o resoluciones finitas.

Nivel "Reco" (Reconstruido)

Es lo que el detector realmente "ve" y mide. Las partículas se infieren a partir de firmas electrónicas en los calorímetros y rastreadores.

Un *Reco Photon* o *Reco Jet* está afectado por la eficiencia, la geometría y la resolución intrínseca de los instrumentos de medición.

Justificación de los Cortes Cinemáticos



$$p_T > 20 \text{ GeV}$$

Elimina el ruido de fondo de baja energía, como radiación por parte de quarks o leptones.

Asegura que estamos analizando partículas provenientes del proceso de dispersión dura principal.



$$|\eta| < 2.5$$

Restringe el análisis a la zona central del detector. Fuera de esta zona, las partículas se escapan del detector y la reconstrucción no es fiable.



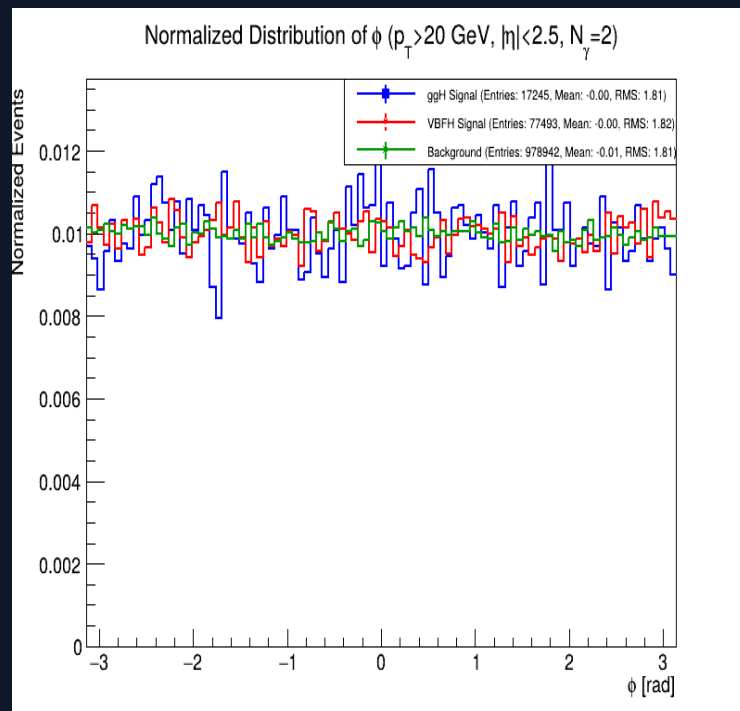
$$\Delta R > 0.4$$

Asegura el aislamiento espacial de los jets. Evita que la energía de otras partículas cercanas (como fotones u otros jets solapados) se incluya erróneamente en la reconstrucción del cono del jet analizado.

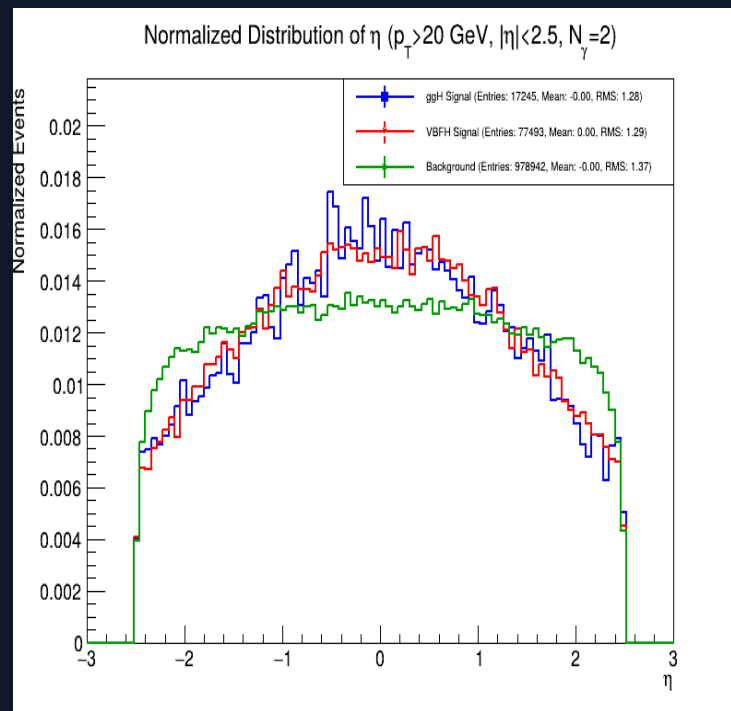
$$\Delta R = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\phi)^2}$$

Cinemática Individual de Fotones Truth

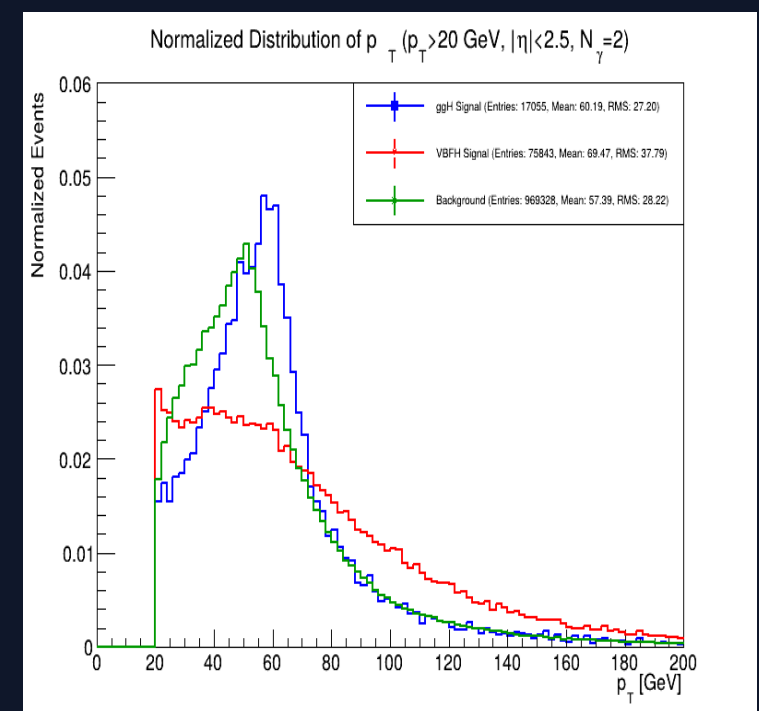
Comparación de distribuciones para señales ggH, VBFH y bkg.



Histograma PHI () ϕ



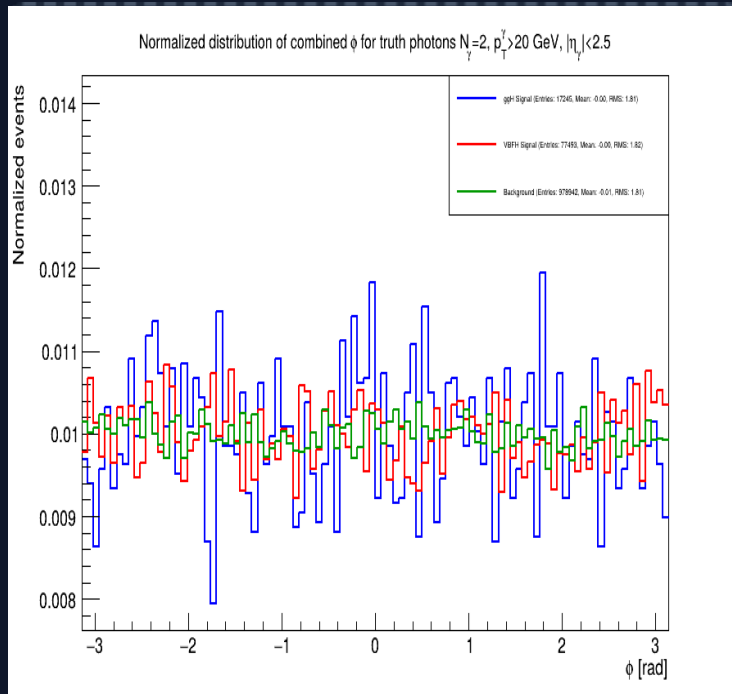
Histograma ETA () η



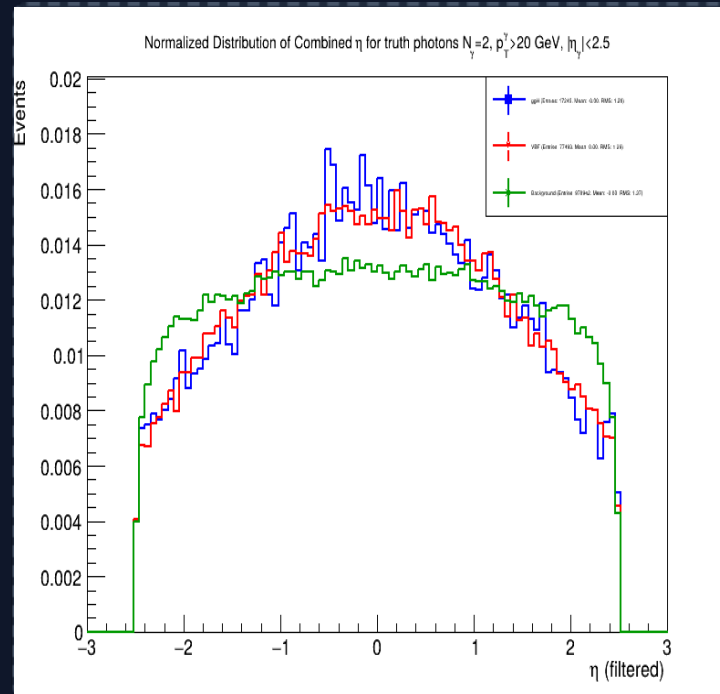
Histograma PT () p_T

Variables Cinemáticas Combinadas Truth

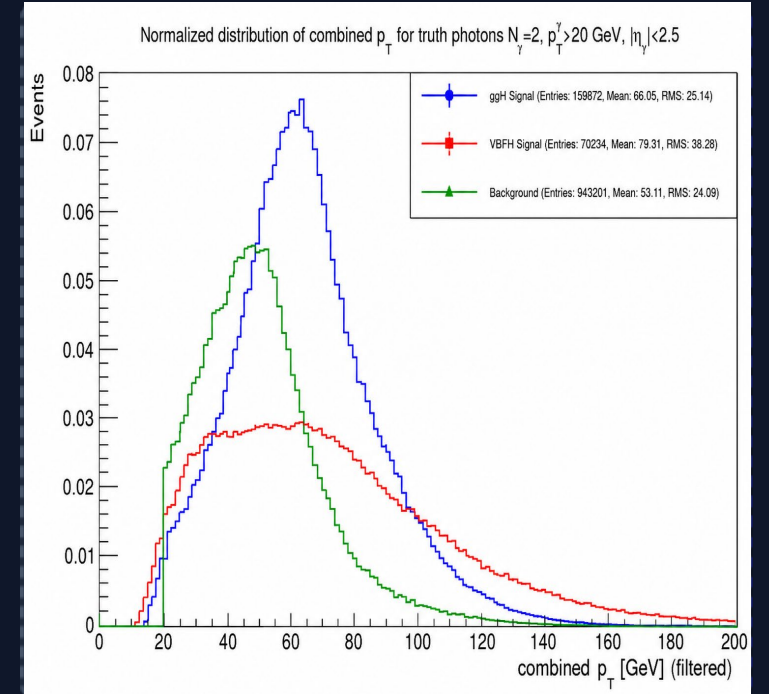
Análisis de la cinemática del sistema di -fotón.



PHI Combinado



ETA Combinado



PT Combinado

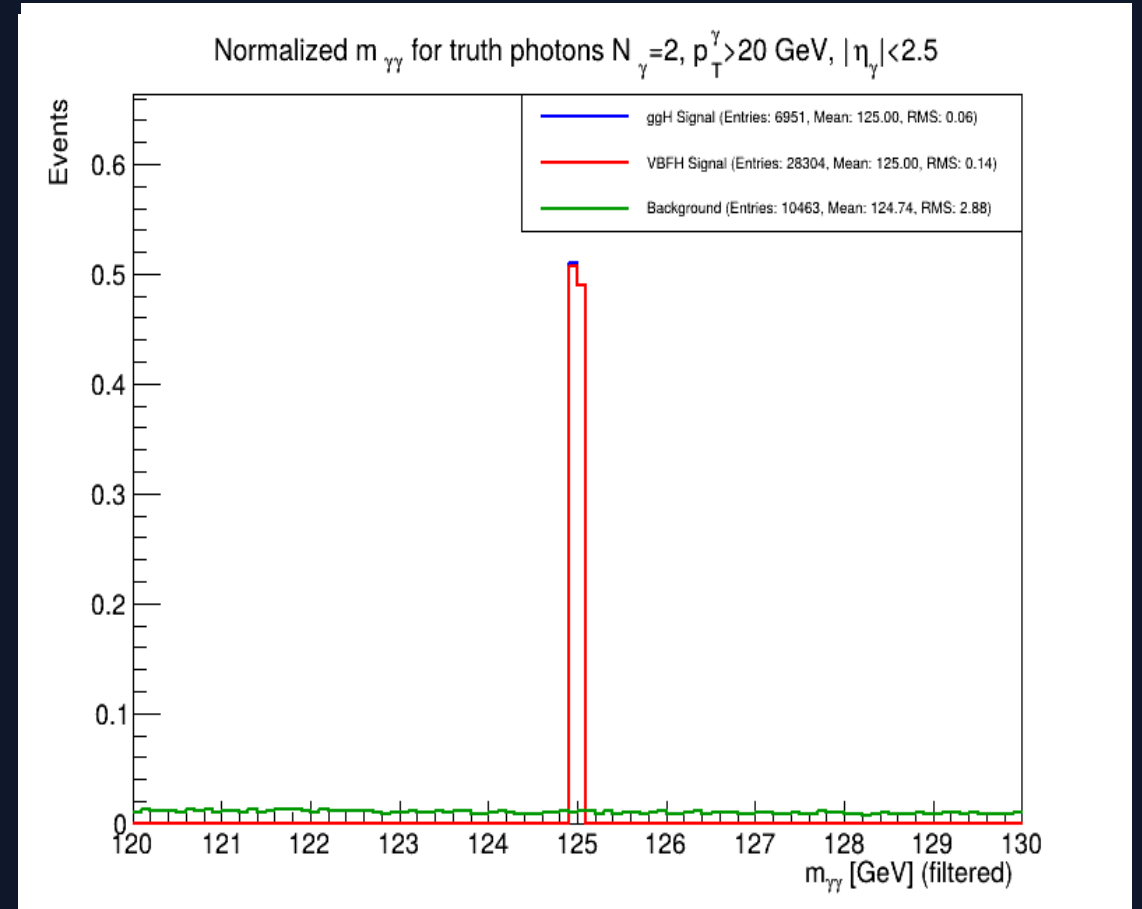
Reconstrucción de la Masa Invariante Truth

El Parámetro Clave

La masa invariante es la variable más crítica en este análisis. Permite reconstruir la masa de la partícula original (ej. bosón de Higgs) que ha decaído en el estado final observado.

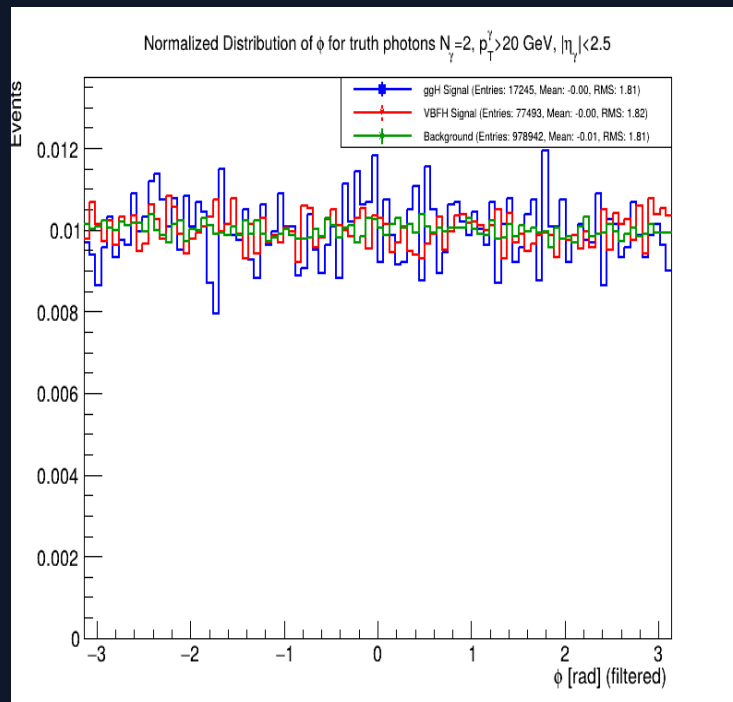
Las señales (ggH, VBFH) formarán un pico característico sobre un fondo (bkg) que típicamente presenta una distribución continua y decreciente.

$$M \approx \sqrt{2p_{T1}p_{T2}[\cosh(\Delta\eta) - \cos(\Delta\phi)]}$$

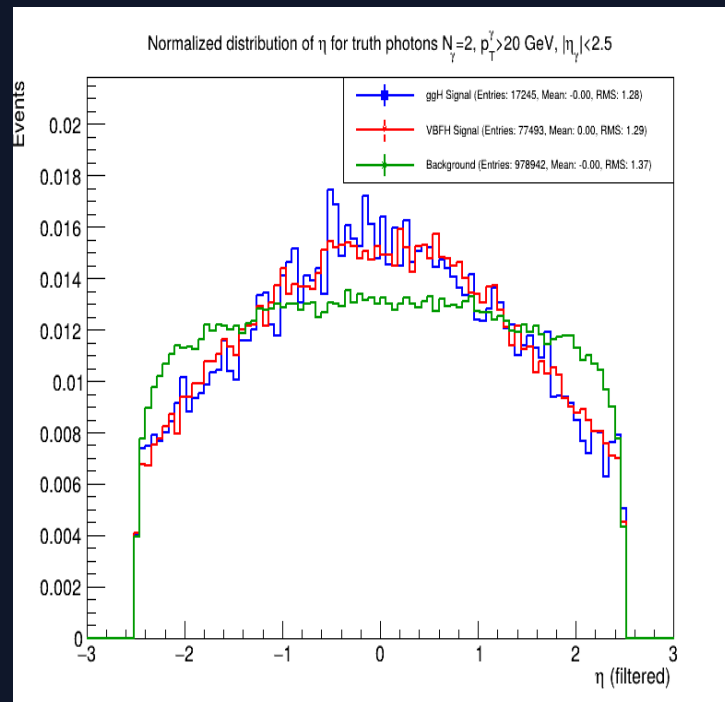


Cinemática Individual de Fotones Reco

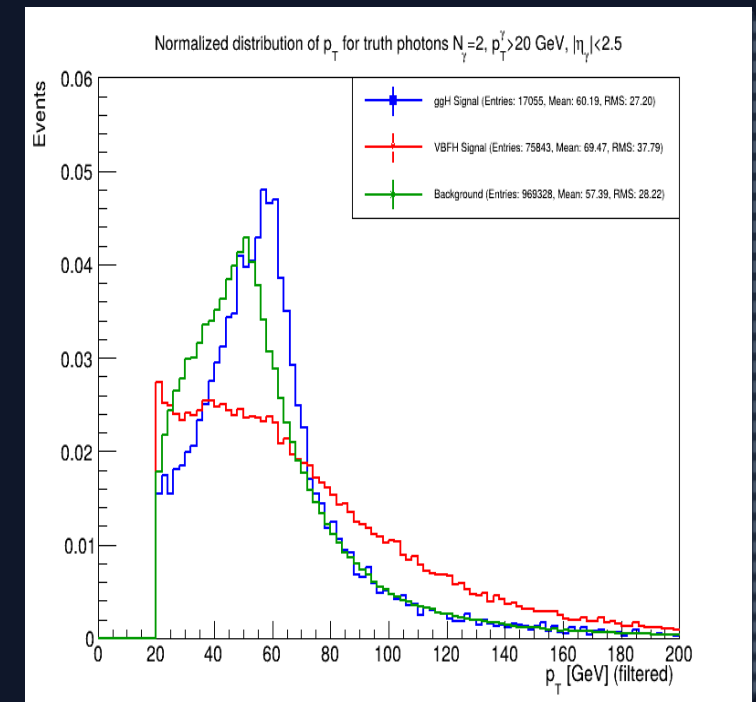
Comparación de distribuciones para señales ggH, VBFH y bkg.



Histograma PHI (ϕ)



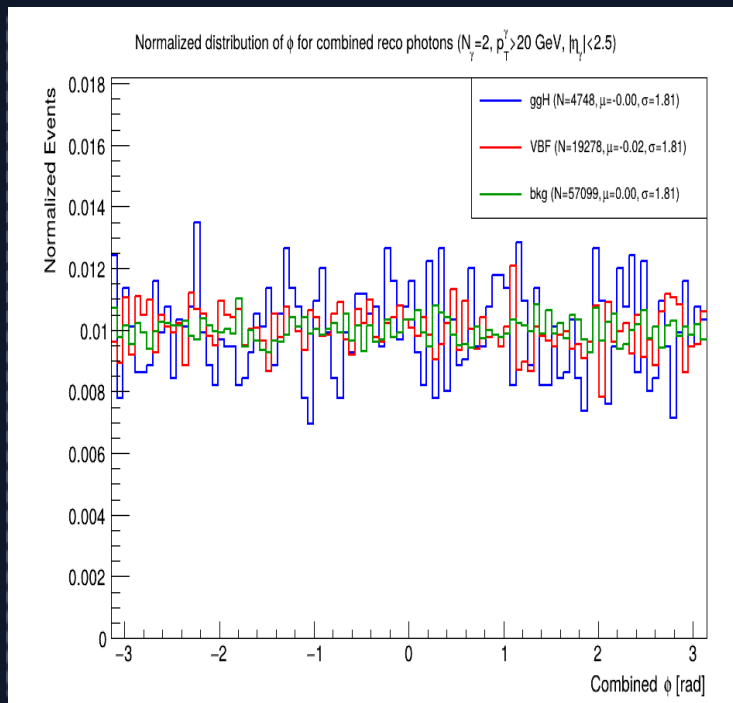
Histograma ETA (η)



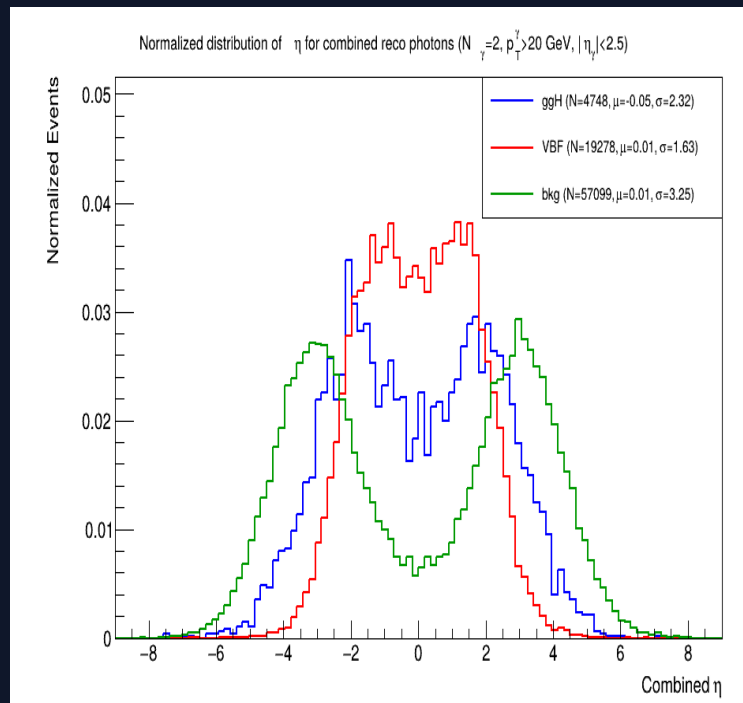
Histograma PT (p_T)

Variables Cinemáticas Combinadas Reco

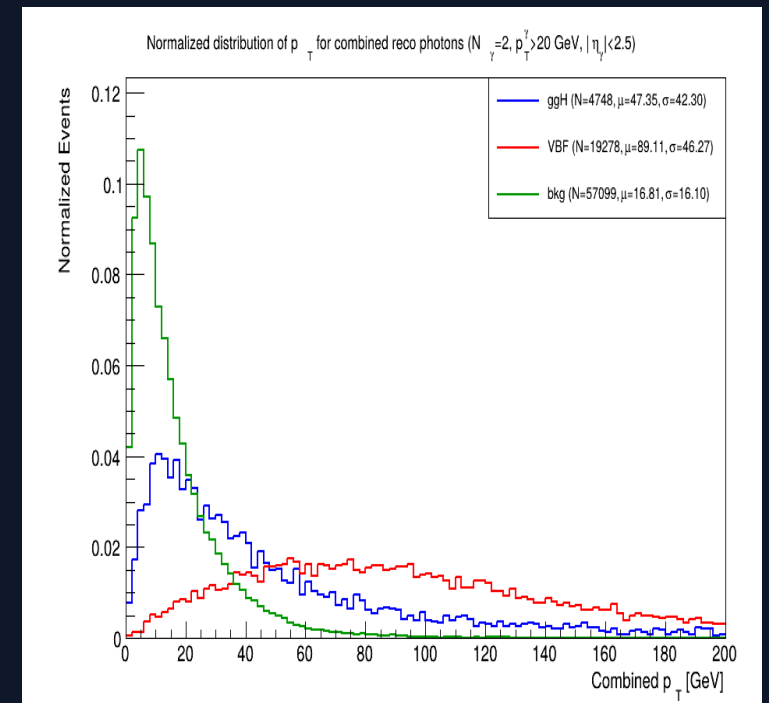
Análisis de la cinemática del sistema di γ -fotón.



PHI Combinado



ETA Combinado

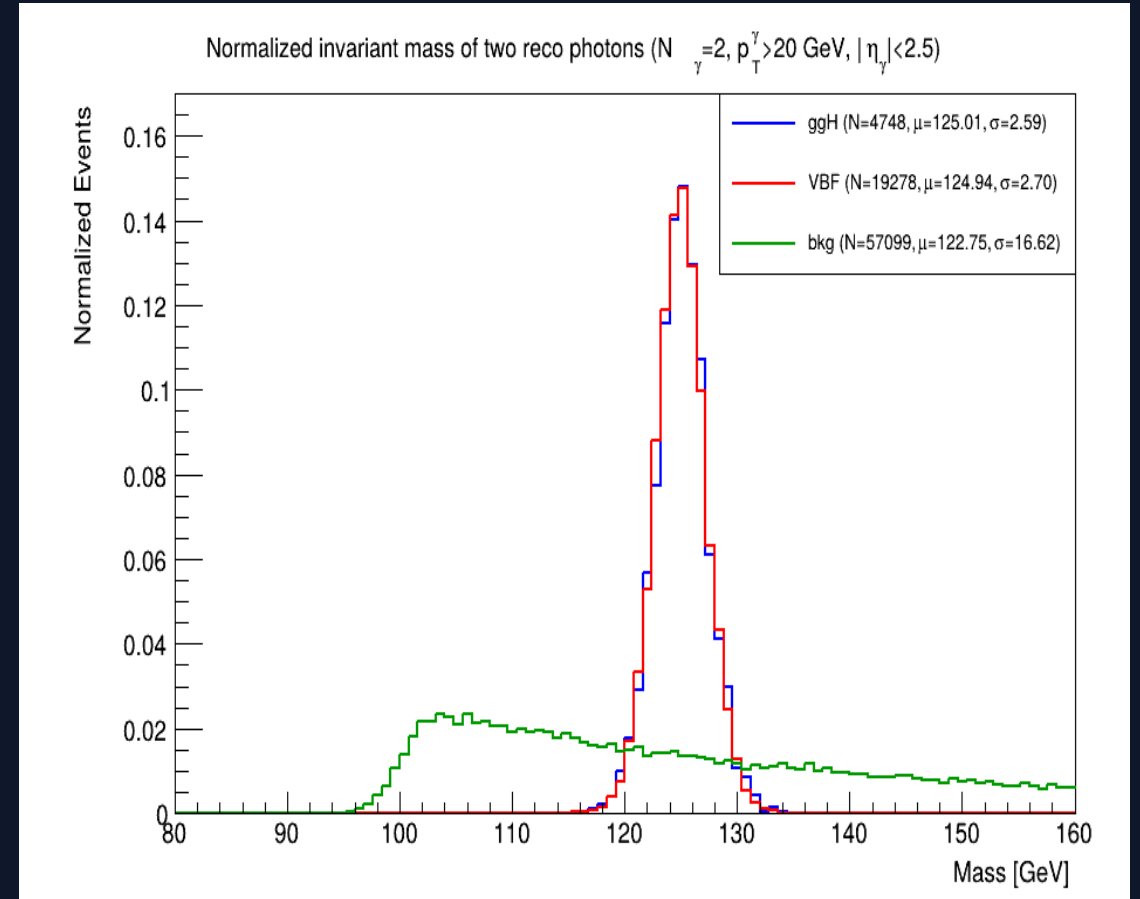


PT Combinado

Reconstrucción de la Masa Invariante Reco

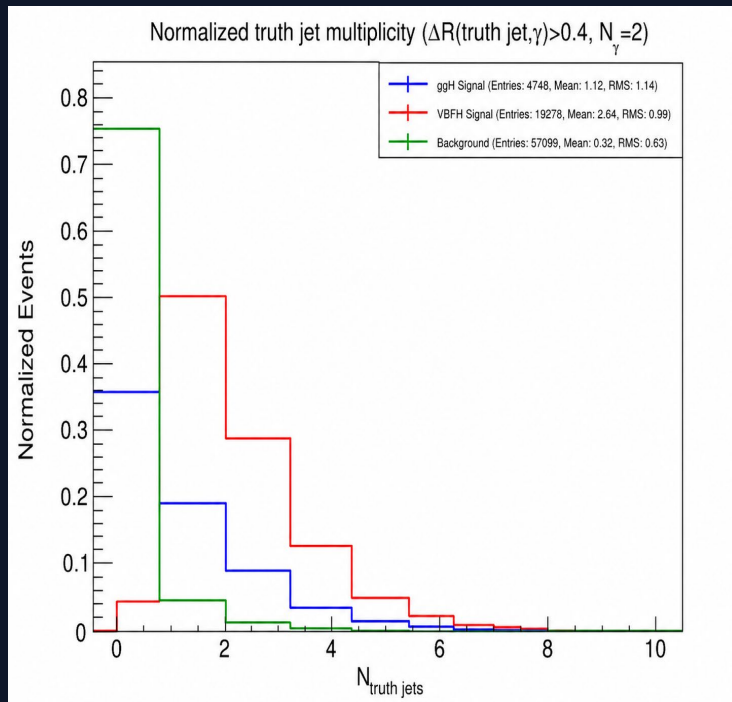
Masa Invariante: Photon Reco (Nivel Reconstruido)

Masa calculada con los fotones reales medidos por el detector. Incluye efectos experimentales como la resolución de los calorímetros y el ruido de fondo, lo que ensancha y deforma el pico. Es la variable que se usa para comparar con los datos reales del experimento.

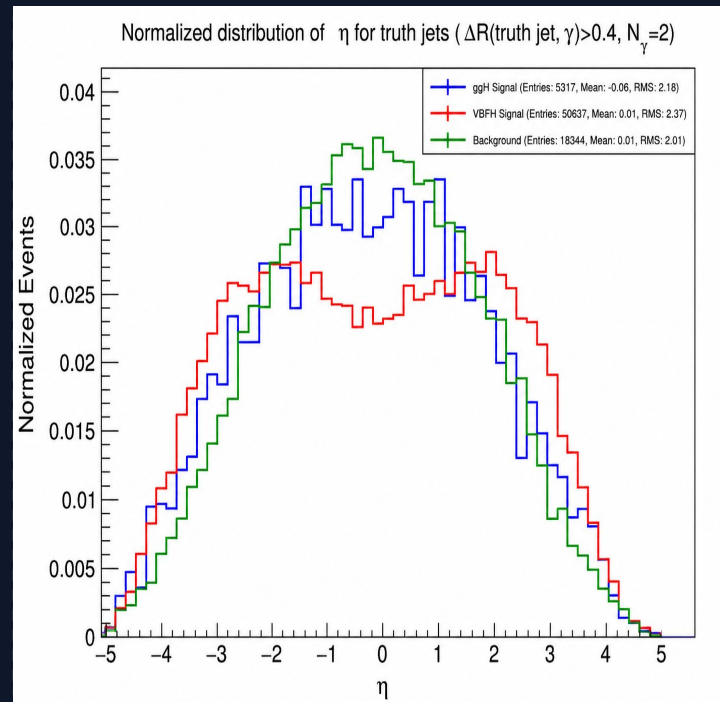


Análisis de Jets Truth

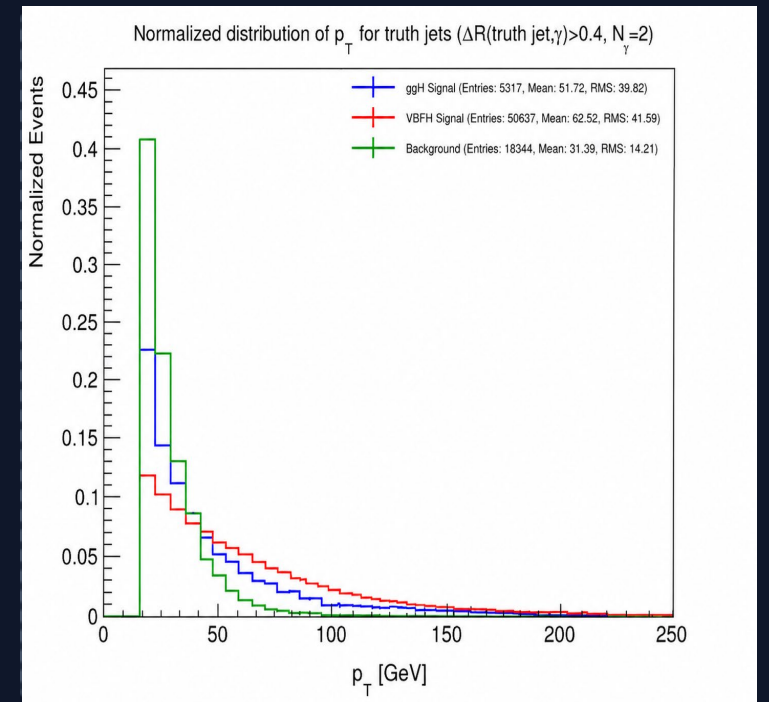
Distribuciones topológicas y cinemáticas tras aplicar aislamientos ($\Delta R > 0.4$).



Multiplicidad (N)



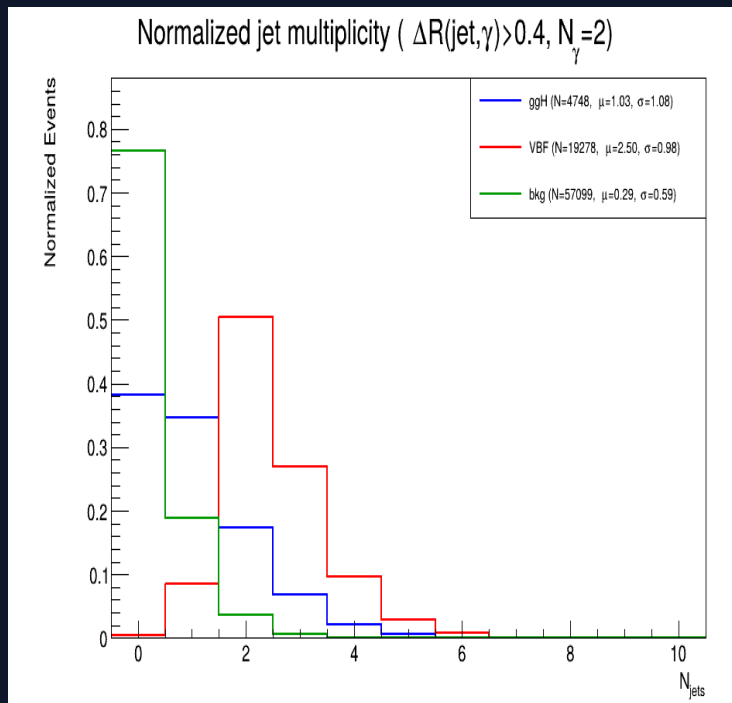
Jet ETA (η)



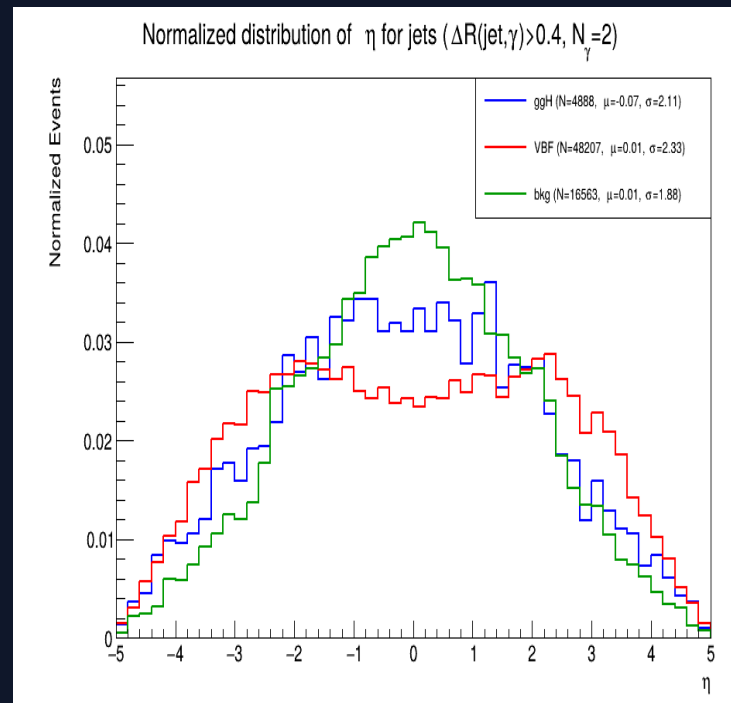
Jet PT (p_T)

Análisis de Jets Reco

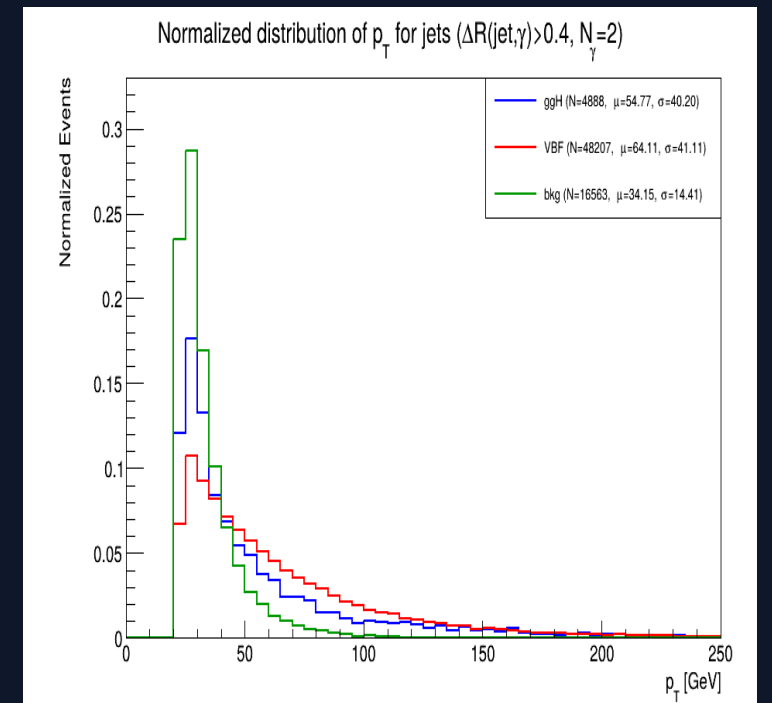
Distribuciones topológicas y cinemáticas tras aplicar aislamientos ($\Delta R > 0.4$).



Multiplicidad (N)



Jet ETA (η)



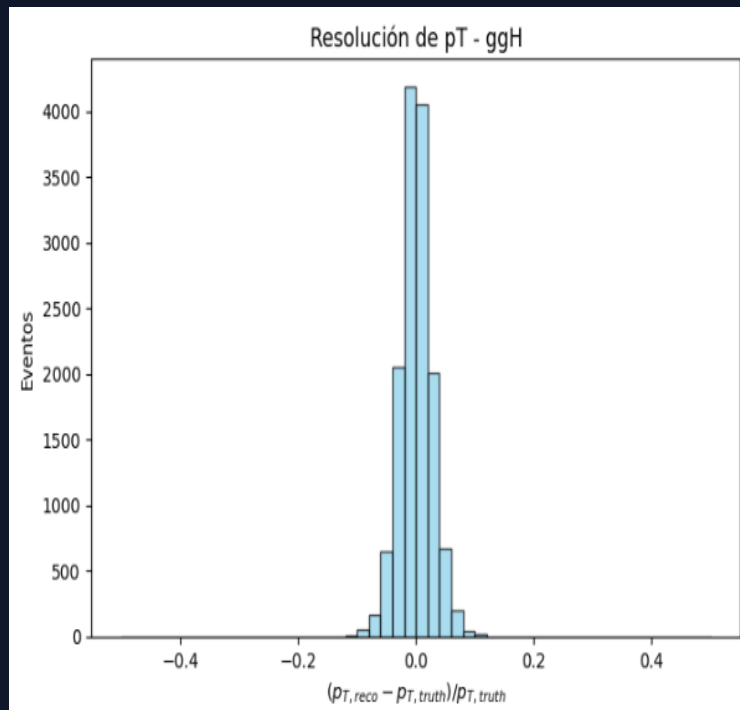
Jet PT (p_T)

$$1 - R = \frac{p_T^{\text{reco}} - p_T^{\text{truth}}}{p_T^{\text{truth}}}$$

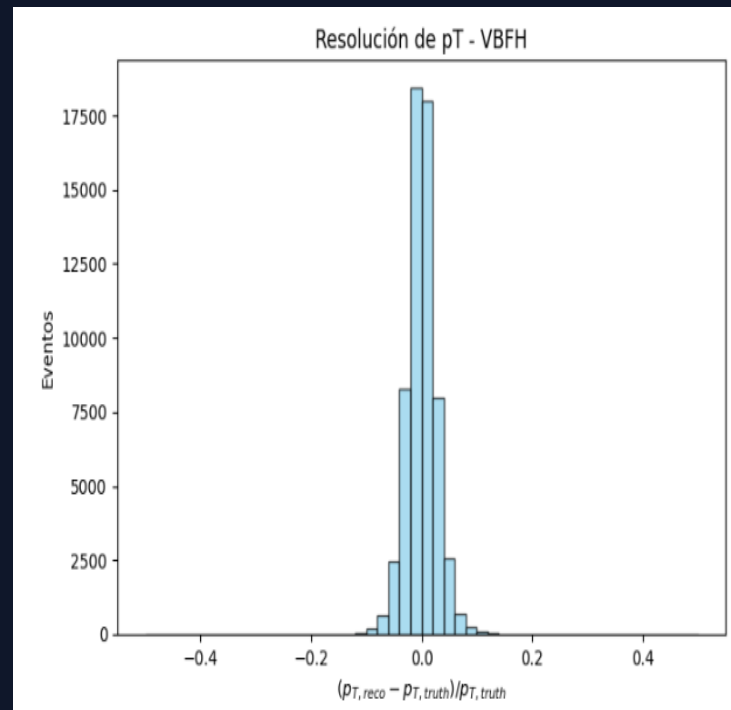
Resolución del Momento Transversal para fotones

Para medir la calidad de la reconstrucción, buscamos el fotón reco que minimiza la distancia espacial con el fotón truth.

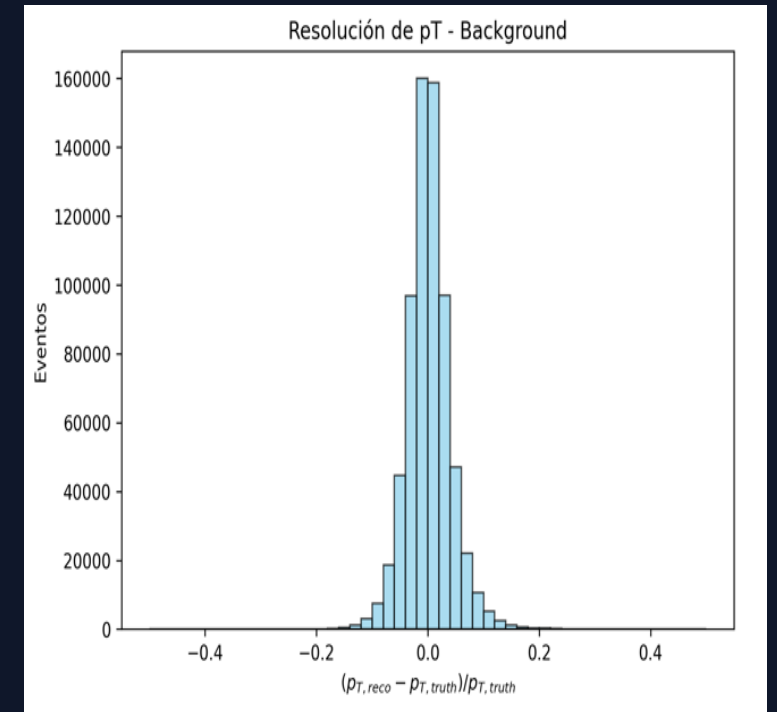
Si esta distancia mínima cumple $\Delta R < 0.1$, consideramos que es un "match" exitoso.



ggH



VBFH



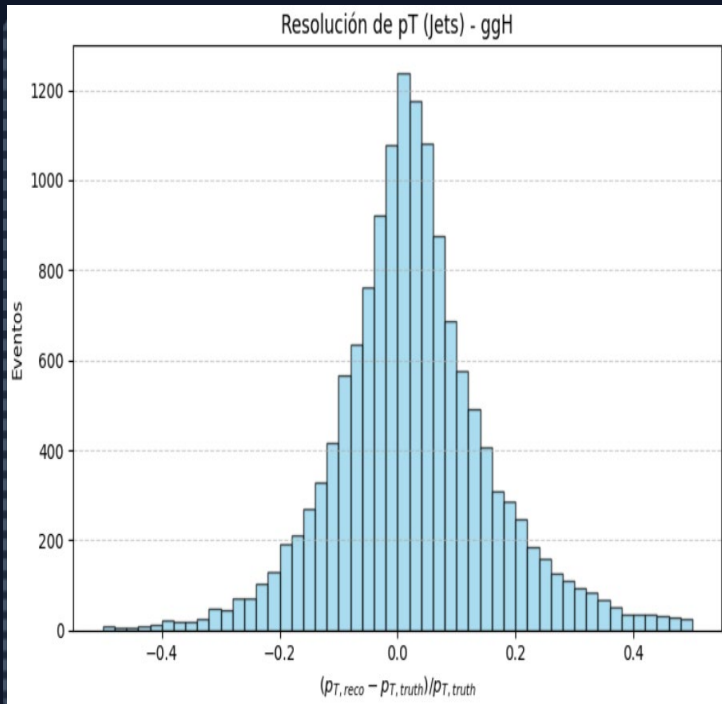
Background

1: Esta ecuación muestra la expresión residual.

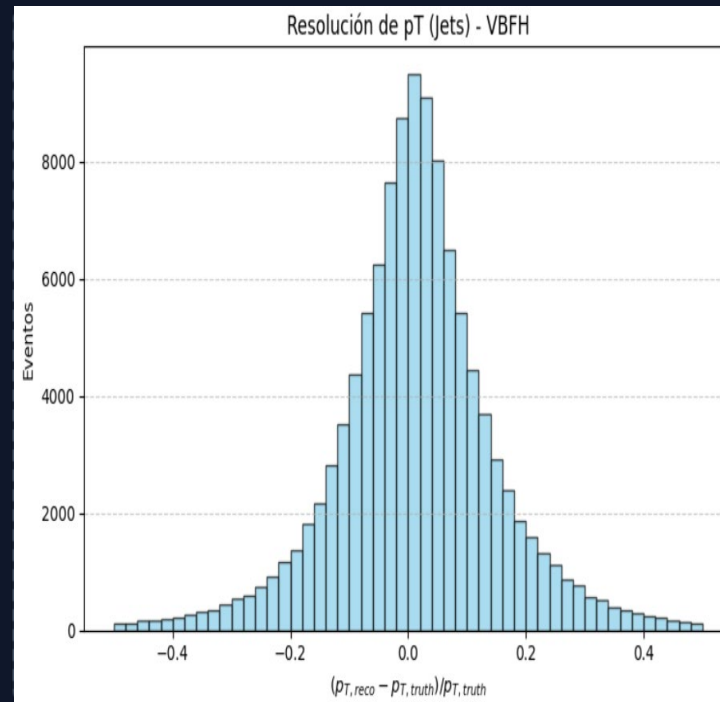
$$1 - R = \frac{p_T^{\text{reco}} - p_T^{\text{truth}}}{p_T^{\text{truth}}}$$

Resolución del Momento Transversal para jets

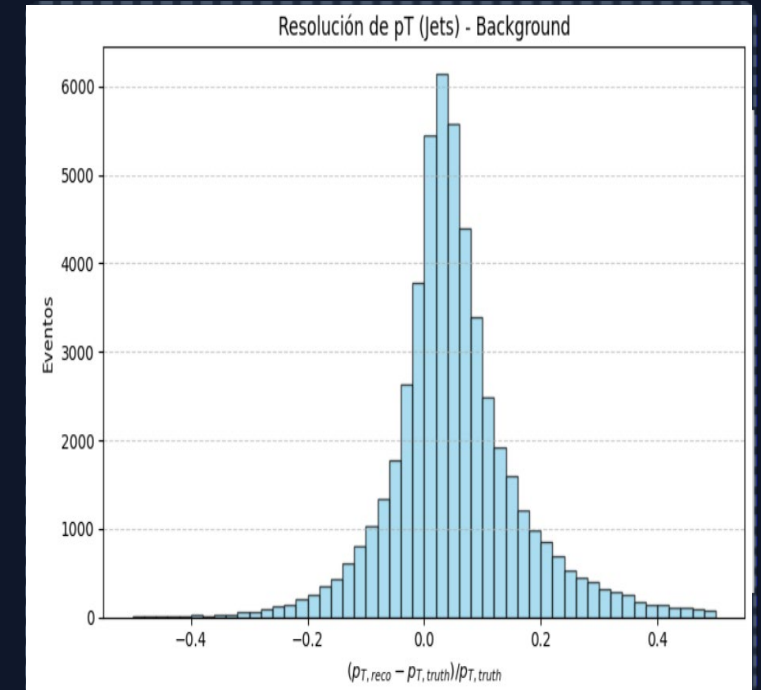
Para medir la calidad de la reconstrucción, buscamos el jet reco que minimiza la distancia espacial con el jet truth. Si esta distancia mínima cumple $\Delta R < 0.1$, consideramos que es un "match" exitoso.



ggH



VBFH

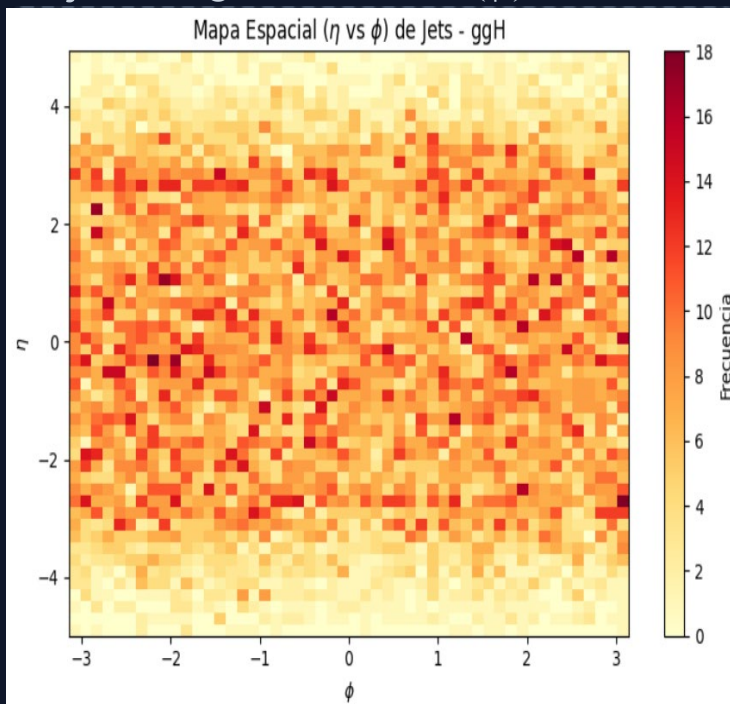


Background

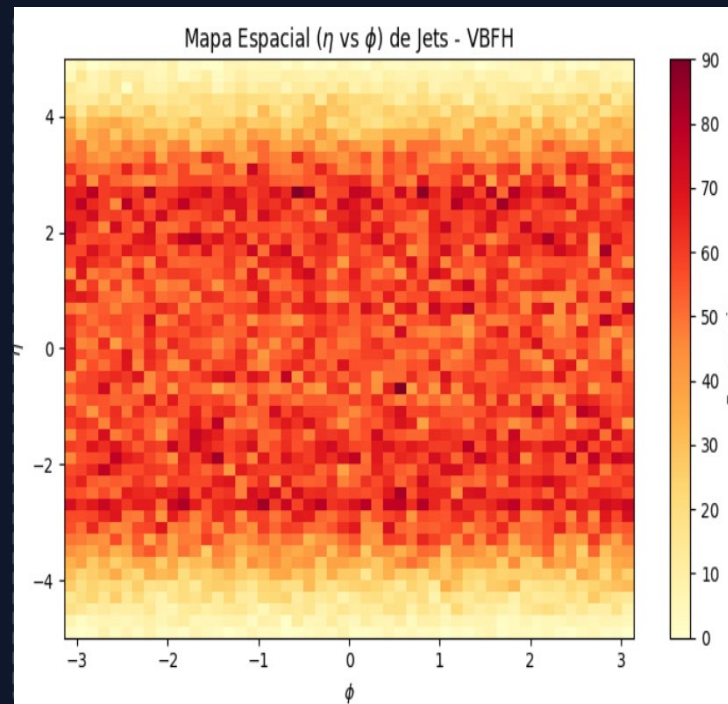
Mapa de Resolución 2D (η vs ϕ) para jets

Este mapa 2D muestra la resolución calculada proyectada sobre las coordenadas del detector.

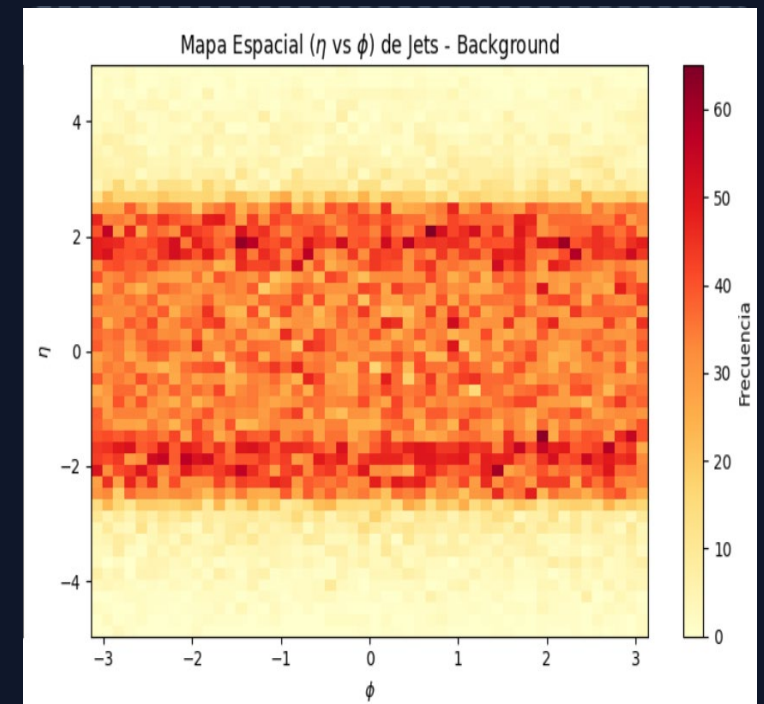
- Eje Y: Pseudorapidez (η)
- Eje X: Ángulo Azimutal (ϕ)



ggH



VBFH



Background

Nota Importante sobre ϕ : Al medir distancias azimutales, es imperativo aplicar condiciones de contorno periódicas. Matemáticamente, 0 y 2π mapean exactamente al mismo punto en el detector, por lo que la distancia máxima de $\Delta\phi$ nunca excede π .

Conclusión del Análisis

- Hemos estudiado las variables cinemáticas para distintos procesos de producción de dos fotones (fondo y Higgs) a nivel truth y reconstruido (reco).
 - Hemos aprendido que en una simulación tenemos los eventos a nivel truth y nivel reco y conocemos sus diferencias.
- Hemos usado los eventos a nivel truth y reco para obtener la respuesta del detector a fotones y jets
 - Conocemos que es la respuesta del detector y por qué es ventajoso usar el canal $di\text{-fotónico } H \rightarrow \gamma\gamma$ en lugar de otros de más probables como $H \rightarrow b\bar{b}$.
- Hemos identificado variables que separan signal y background, como son: la multiplicidad de jets, el momento transversal de la pareja $di\text{-fotónica}$, ...

ATLAS
EXPERIMENT

Run: 381401
Event: 222081568
2023-01-01 04:53:15.789T



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2025-May-05 12:29:47.657920 GMT
Run / Event / LS: 391858 / 140050821 / 149

¿Preguntas o comentarios?

ALICE Experiment at CERN
Run / Event: 311200 / 1411100
Data recorded: 2025-01-01 12:00:00.000T



ALICE
Run 3 Pb-Pb
 $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ TeV
14th November 2025
16:18:46