
Identificación de jets usando variables de forma en el experimento ALICE.

Antonio Ortiz Velásquez

Instituto de Ciencias Nucleares-UNAM

XXIII Reunión Anual de la División de Partículas y

Campos de la Sociedad Mexicana de Física

Viernes 22 de Mayo de 2009.

1. Introducción.
2. Breve historia de las variables de forma.
3. Variables de forma en colisionadores de hadrones.
4. Física de jets en colisiones protón-protón en ALICE.
5. Descripción de ESA.
6. Implementación de ESA en colisiones p-p a $\sqrt{s} = 10$ TeV.
7. Estudios de correlaciones azimutales a $\sqrt{s} = 200$ GeV usando ESA.
8. Conclusiones.

Introducción

En el LHC se harán chocar protones con energía en centro de masa desde 10 hasta 14 TeV. A estas energías la producción de procesos duros será muy abundante, dichos procesos se manifestarán principalmente en forma de jets en eventos de alta multiplicidad.

ALICE es uno de los cuatro experimentos del LHC, usando su sistema de disparo para seleccionar eventos de alta multiplicidad y su excelente capacidad para rastrear partículas con momento transversal desde 0.5 GeV/c hasta 100 GeV/c; es posible seleccionar eventos provenientes de procesos duros de acuerdo a su distribución de momento transversal y a su número de jets. Para dicho propósito, utilizamos las variables de forma: thrust y recoil.

Breve historia de las variables de forma.

Las variables de forma miden las propiedades geométricas del flujo de energía en estados finales QCD. Algunas de estas observables:

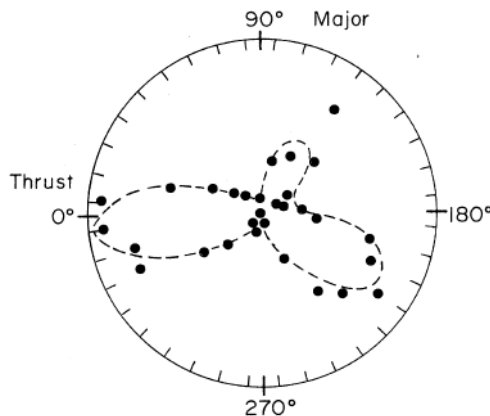
✓ Esfericidad

G. Hanson et al., *Phys. Rev. Lett.* **35** (1975) 1609.

$$S = \frac{3(\sum_i \vec{p}_{\perp i}^2)_{min}}{2 \sum_i \vec{p}_i^2}$$

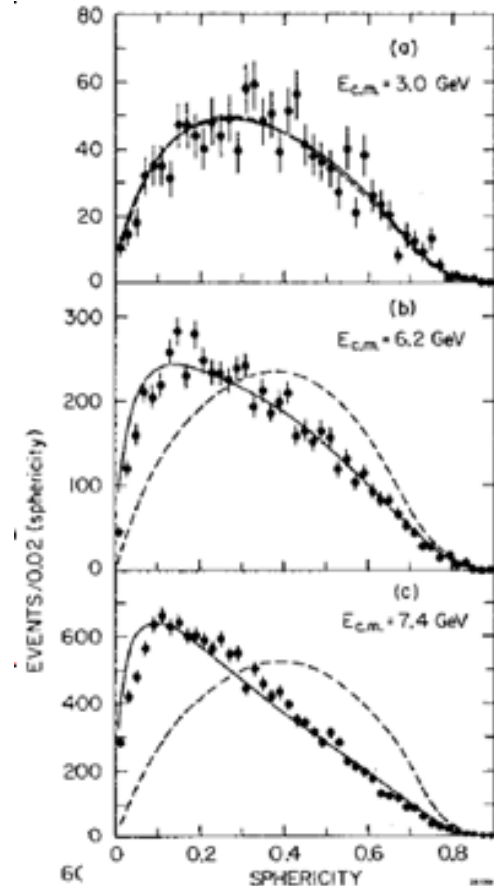
✓ Oblateness

(MARK-J Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **43**, 830 (1979).



$$T \equiv \max_{\vec{e}_1} \frac{\sum_i |\vec{E}_i \cdot \vec{e}_1|}{\sum_i |\vec{E}_i|}$$

$$O \equiv M_a - M_i$$

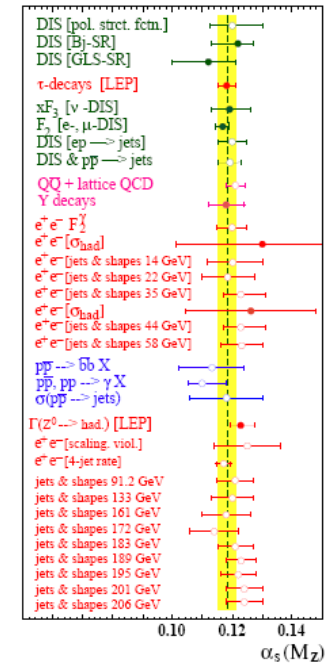


En colisiones $e^+ e^-$ y en DIS, las variables de forma han sido las observables QCD más estudiadas en ambos frentes: teórico y experimental. Estas se calculan teóricamente en términos de los momentos de los quarks y gluones salientes; y se miden en términos del momento de los hadrones. Entre los estudios que se han hecho se encuentran:

✓ Mediciones de la constante de acoplamiento

fuerte

S. Bethke, *Nucl. Phys.* **121** (2003)



En colisiones $e^+ e^-$ y en DIS, las variables de forma han sido las observables QCD más estudiadas en ambos frentes: teórico y experimental. Estas se calculan teóricamente en términos de los momentos de los quarks y gluones salientes; y se miden en términos del momento de los hadrones. Entre los estudios que se han hecho se encuentran:

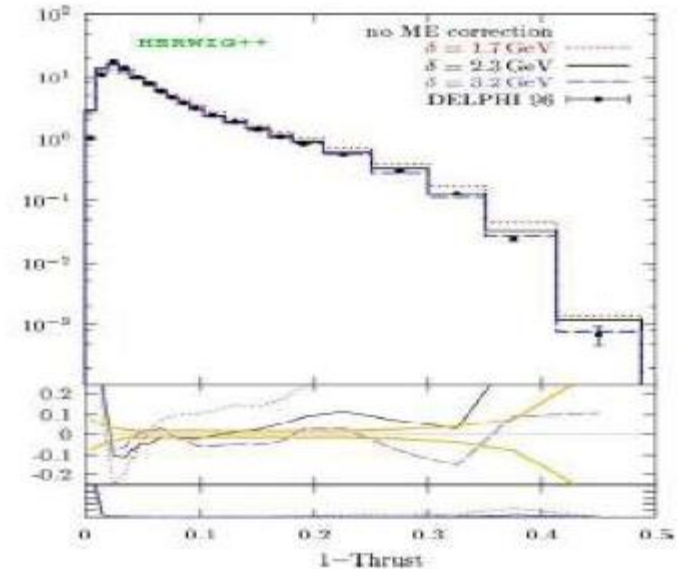
✓ Mediciones de la constante de acoplamiento fuerte

S. Bethke, *Nucl. Phys.* **121** (2003)

✓ Validación detallada de generadores MC

G. Marchesini et al., *Comput. Phys. Commun.* **67**(1992) 465.

T. Sjostrand, *Comput. Phys. Commun.* **82**(1994) 74.



En colisiones $e^+ e^-$ y en DIS, las variables de forma han sido las observables QCD más estudiadas en ambos frentes: teórico y experimental. Estas se calculan teóricamente en términos de los momentos de los quarks y gluones salientes; y se miden en términos del momento de los hadrones. Entre los estudios que se han hecho se encuentran:

✓ Mediciones de la constante de acoplamiento fuerte

S. Bethke, *Nucl. Phys.* **121** (2003)

✓ Validación detallada de generadores MC

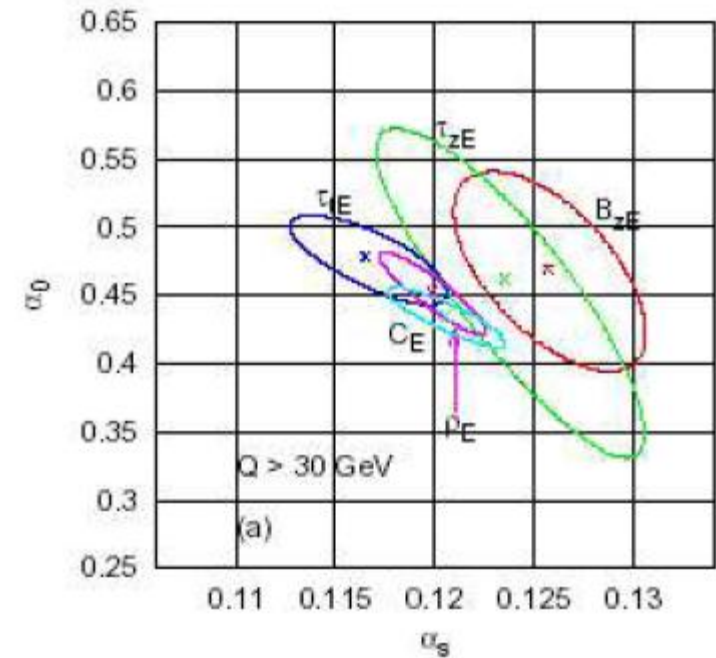
G. Marchesini et al., *Comput. Phys. Commun.* **67**(1992) 465.

T. Sjostrand, *Comput. Phys. Commun.* **82**(1994) 74.

✓ Estudios de correcciones por hadronización

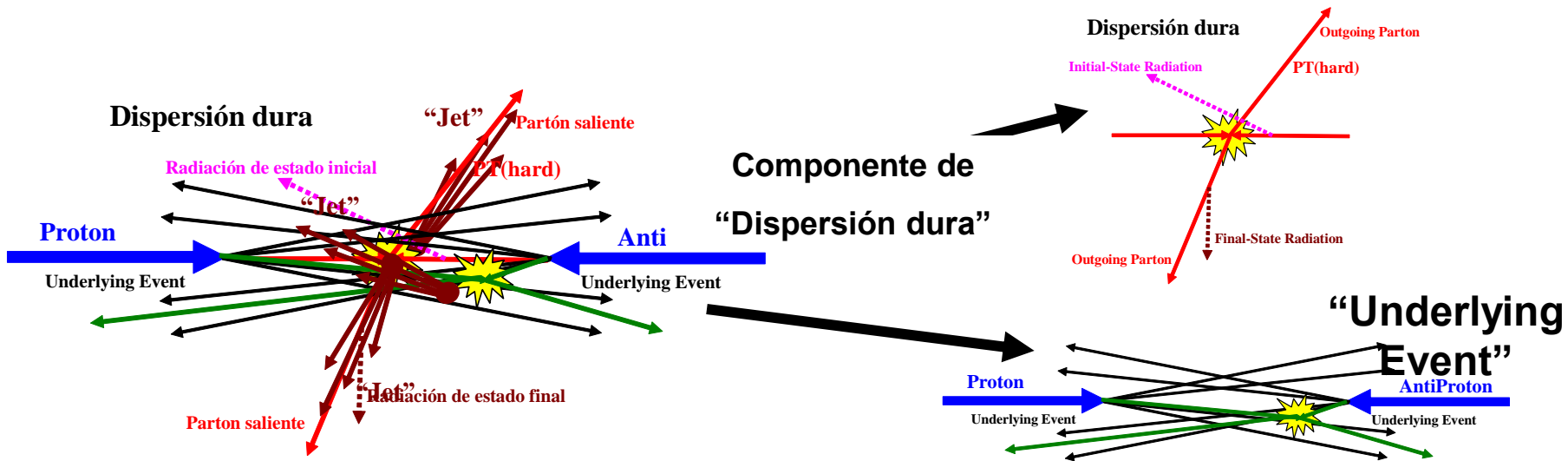
M. Beneke, *Phys. Rept.* **317**(1999) 1.

M. Dasgupta and G. P. Salam, *J. Phys.* **G 30**(2004) R 143.



Variables de forma en colisionadores de hadrones.

En colisionadores de hadrones, las variables de forma no han sido muy explotadas, a pesar de que en este tipo de eventos hay una rica producción de eventos multi-jet, de jets de gluones primarios y de que es una herramienta potencial para el estudio de los eventos underlying.

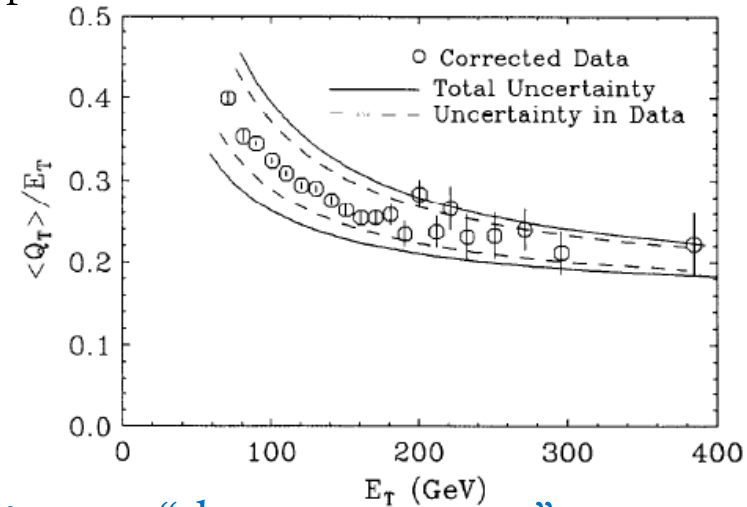


En Tevatron hay sólo algunas mediciones experimentales reportadas.

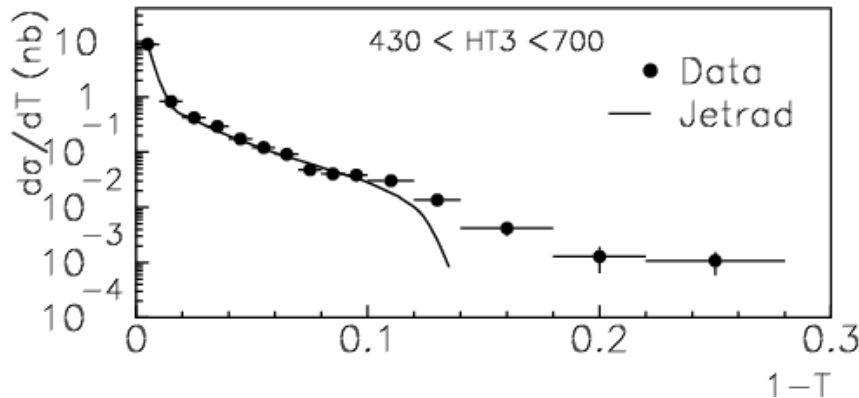
✓ La colaboración CDF reporta la medición del parámetro QCD “Jet broadening”

F. Abe et al. [CDF Collaboration], *Phys. Rev. D* **44** (1991) 601.

$$T_t = \text{MAX} \sum_{i=1}^n \frac{|\vec{E}_T^i \cdot \vec{n}_t|}{E_T} \quad Q_T = \sum_{i=1}^n |\vec{E}_T^i \times \vec{n}_t|$$



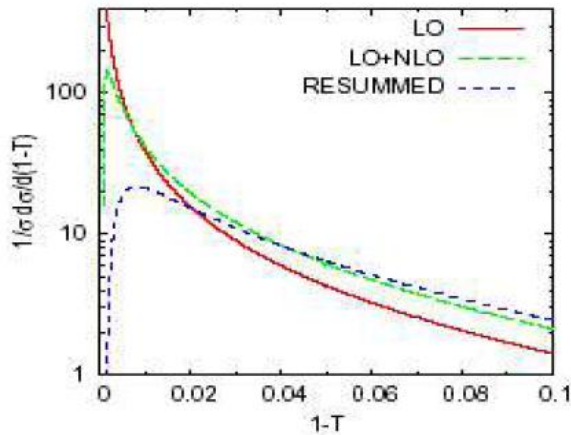
✓ La colaboración D0 reporta la medición del parámetro “thrust transverso”



J. A. Bertram [D0 Collaboration],
Acta Phys. Polon. B **33** (2002) 31 41.

$$T^T = \max_{\hat{n}} \frac{\sum |\vec{p}_{t_i} \cdot \hat{n}|}{\sum |\vec{p}_{t_i}|}$$

- Recientemente se han investigado una serie de variables de forma para colisionadores de hadrones.



A. Banfi, G. Salam, G. Zanderighi, *JHEP* **0408** (2004).

- Además se ha desarrollado el programa CAESAR (Computer Automated Expert Semi-Analytical Resummation) que ha permitido un avance en el frente de las resumas. La restricción que se tiene es que las resumas se aplican solo a formas de eventos globales (i. e. sensibles a la radiación en todas direcciones).

A. Banfi, G. P. Salam, G. Zanderighi, *Phys. Lett.* **B584** (2004) 298.

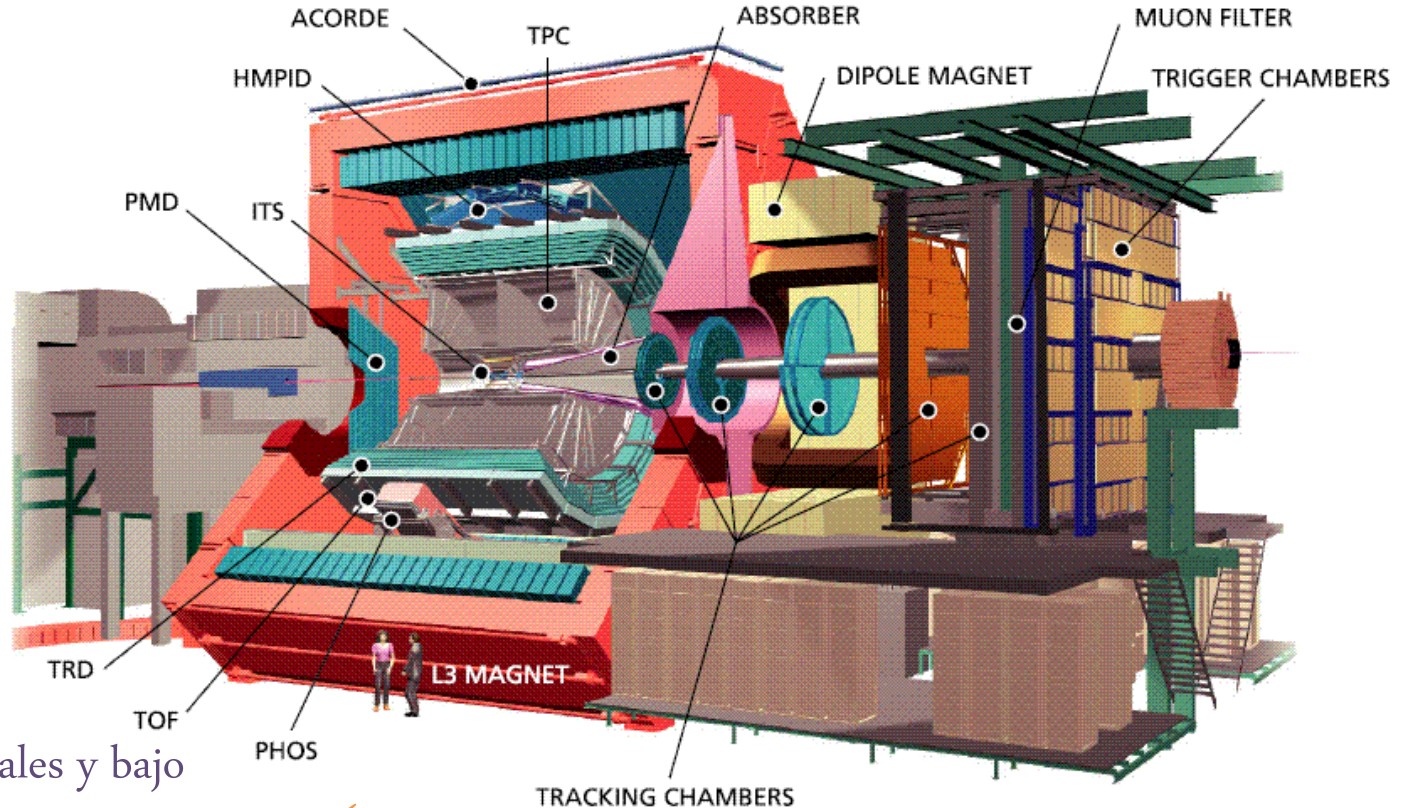
Física de jets en colisiones p-p en ALICE.

ALICE (A Large Hadron Collider Experiment) es un experimento diseñado para hacer física de iones pesados. Diseño: eventos con multiplicidades hasta de 8000 CH por unidad de rapidez.

✓ Resolución de p_t desde 100 MeV/c (1-2%) hasta 100 GeV/c (10%).

✓ PID para un amplio rango de p_t (hasta de 5 GeV/c para p).

✓ Bajo grosor de materiales y bajo campo magnético (0.5 T).



✓ Excelente determinación de vértices secundarios.

Las mediciones de producción de jets en p-p son importantes para entender las colisiones núcleo-núcleo. Pero además el programa plantea caracterizar eventos con varios jets de baja energía en p-p. Entre las observables que se planea medir están:

- ✓ Sección eficaz semi-dura, contando todos los eventos con al menos un jet producido arriba de cierta E_t dada. Esto puede ser relacionado con la probabilidad de no tener alguna interacción dura en todos los eventos inelásticos.
- ✓ Los rates relativos de producción de 1, 2 y 3 jets como función del corte bajo E_t *cutoff*.
- ✓ Medición de colisiones dobles de partones.

También se espera que ALICE sea capaz de estudiar fragmentación de jets en una forma única gracias a su habilidad para identificar partículas y medir sus propiedades en un ambiente de muy alta densidad que es relevante para las topologías de jets.

(ALICE Collaboration) *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 32 (2006)

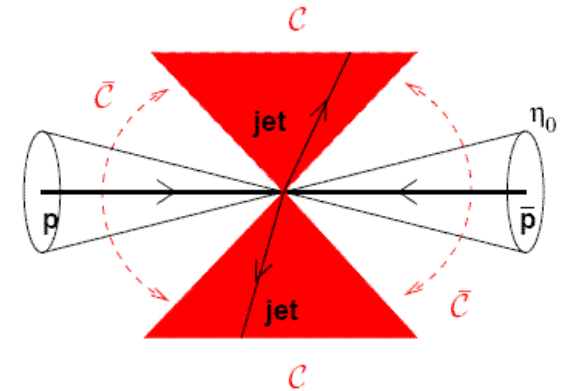
Event Shape Analysis (ESA).

ESA es un método que utiliza las siguientes variables que están definidas en la aceptación C .

- ✓ En colisionadores de hadrones, **thrust** esta definida en el plano transverso de acuerdo a:

$$T \equiv \underbrace{\max}_{\vec{n}_t} \frac{\sum_i |\vec{p}_{t,i} \cdot \vec{n}_t|}{\sum_i |\vec{p}_{t,i}|}$$

$$\tau \equiv 1 - T$$



Para eventos de dos jets colineales en el plano transverso $1-T \rightarrow 0$, mientras que para eventos con una distribución de momento más uniforme: $1-T \rightarrow 0.5$

ESA es un método que utiliza las siguientes variables que están definidas en la aceptación C .

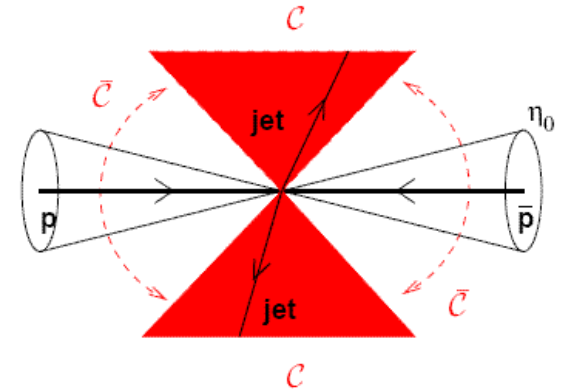
- ✓ En colisionadores de hadrones, **thrust** esta definida en el plano transverso de acuerdo a:

$$T \equiv \underbrace{\max}_{\vec{n}_t} \frac{\sum_i |\vec{p}_{t,i} \cdot \vec{n}_t|}{\sum_i |\vec{p}_{t,i}|} \quad \tau \equiv 1 - T$$

- ✓ **Recoil** es la suma vectorial del momento transverso en la aceptación C .

$$R \equiv \frac{1}{\sum_i |\vec{p}_{t,i}|} \left| \sum_i \vec{p}_{t,i} \right|$$

Por conservación del momento transverso, R es una cantidad sensible al momento transverso indetectable por efectos de aceptación. Valores de R bajos se relacionan con eventos que ocurren completamente en la aceptación.



Para eventos de dos jets colineales en el plano transverso $1-T \rightarrow 0$, mientras que para eventos con una distribución de momento más uniforme: $1-T \rightarrow 0.5$

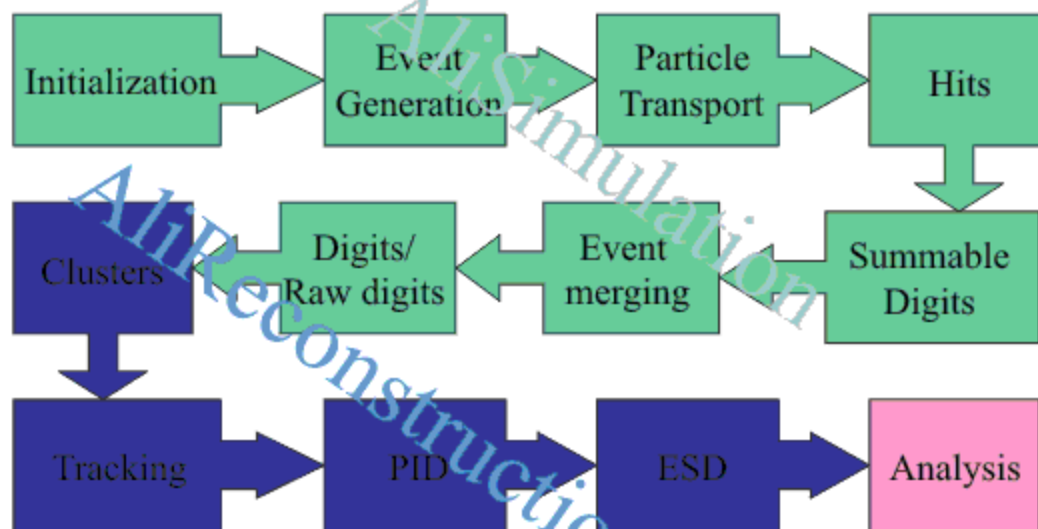
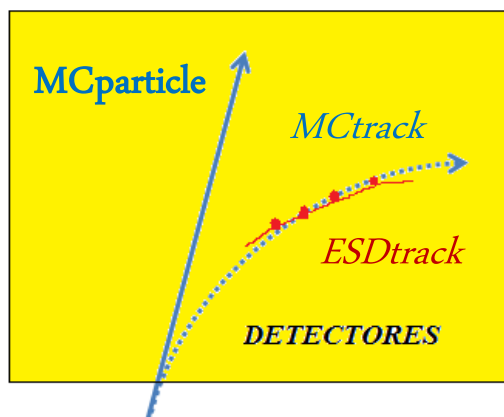
Como discutimos anteriormente, por lo general para identificar y construir un jet se utiliza información del calorímetro del detector. Con ello se reconstruye toda la energía visible y por lo regular se hace el disparo para seleccionar dichos eventos. Dado que ALICE no posee un calorímetro extendido en ϕ , la identificación de jets la basamos en la información del rastreo (partículas cargadas).

El análisis de formas de eventos se basa en:

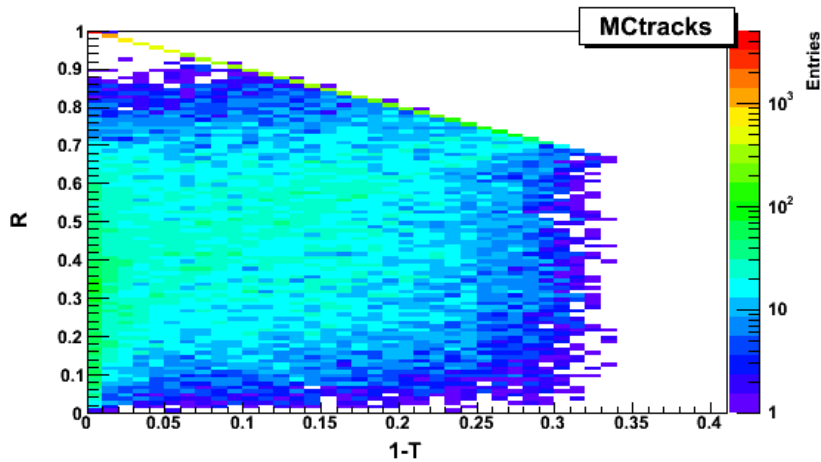
- ✓ Identificamos eventos cuya partícula de más alto momento transversal en el intervalo: $|\eta| \leq 0.5$
- ✓ Se pide que el evento posea al menos una partícula con $p_t \geq 3 \text{ GeV}/c$.
- ✓ Para estos eventos se calculan las variables T y R. Para ello se consideran partículas en la aceptación de ALICE: $|\eta| \leq 1$ y con $p_t \geq 1.5 \text{ GeV}/c$. Esto nos permite reducir el efecto de los underlying events.
- ✓ Se hace la selección de eventos a partir de sus valores T y R.

Implementación de ESA en colisiones p-p a $\sqrt{s}=10$ TeV.

Este análisis fue hecho utilizando simulaciones (oficiales de la colaboración) minimum-bias de colisiones protón-protón con energía en centro de masa de **10 TeV**. Se utilizó el generador de eventos MC **Pythia**. Analizamos **1.2M eventos**. La simulación del detector incluye un campo magnético de 0.5 T.

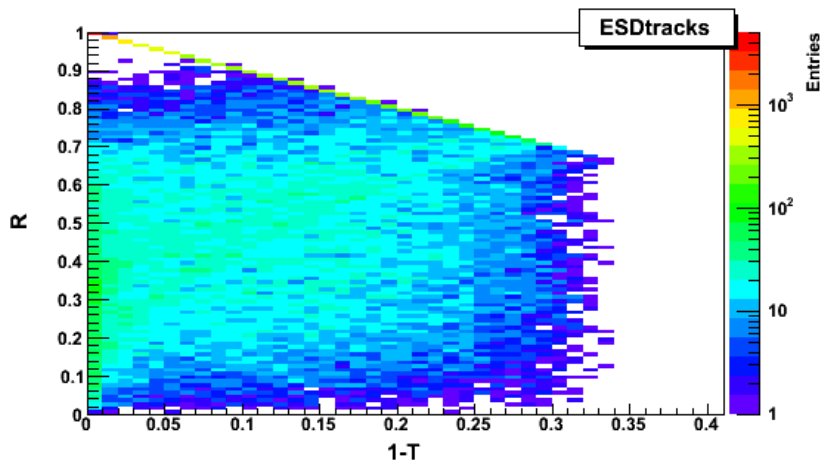


Después de los cortes impuestos a cada evento ...



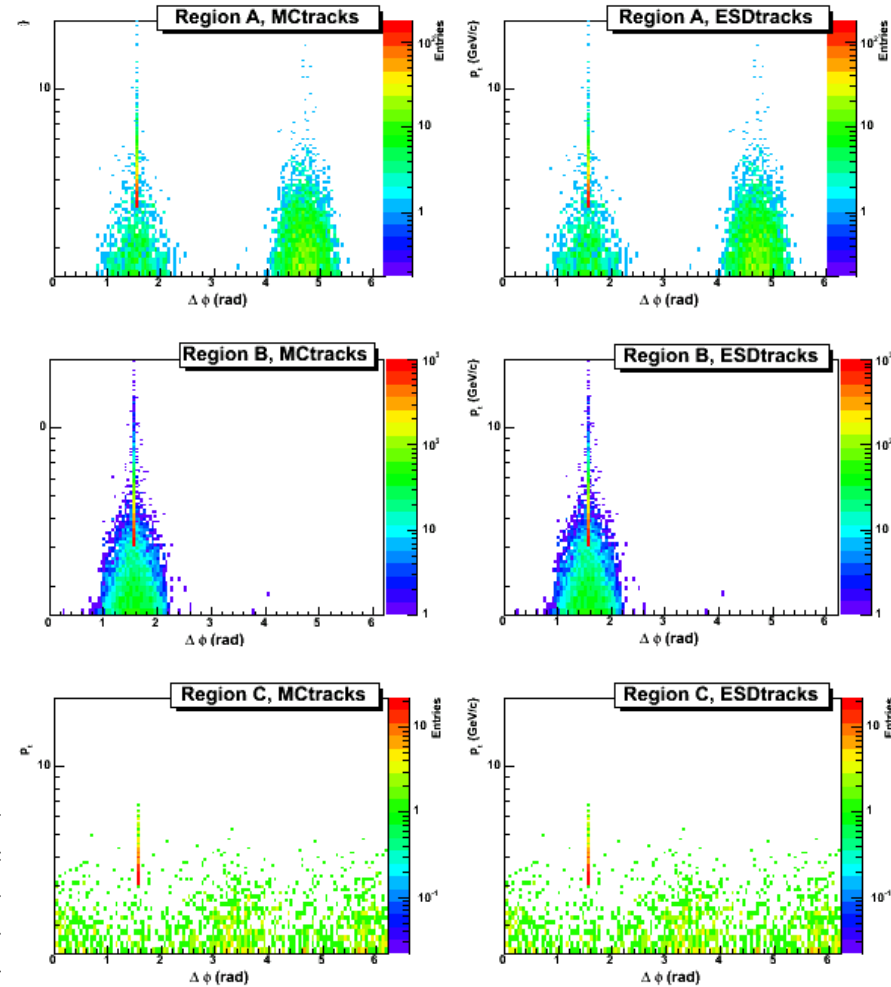
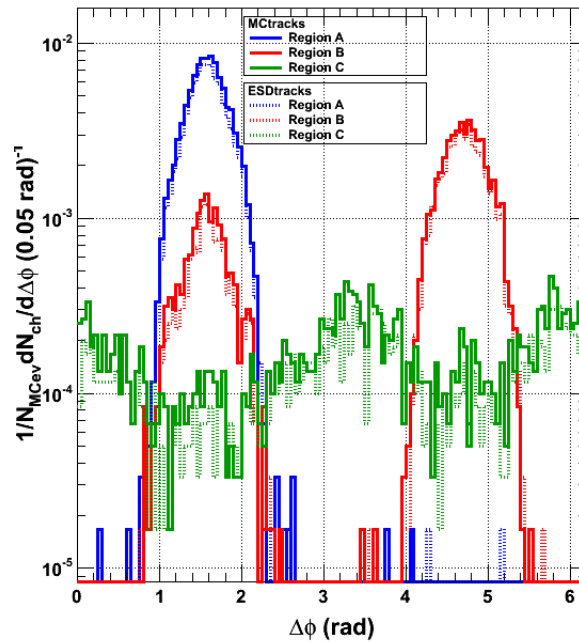
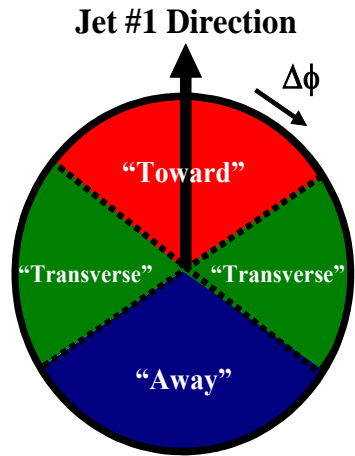
Analizamos eventos localizados en diferentes regiones de esta distribución.

Region	Variables
A	$R \leq 0.35, \tau \leq 0.03$
B	$R \geq 0.9, \tau \leq 0.03$
C	$R \leq 0.4, \tau \geq 0.25$

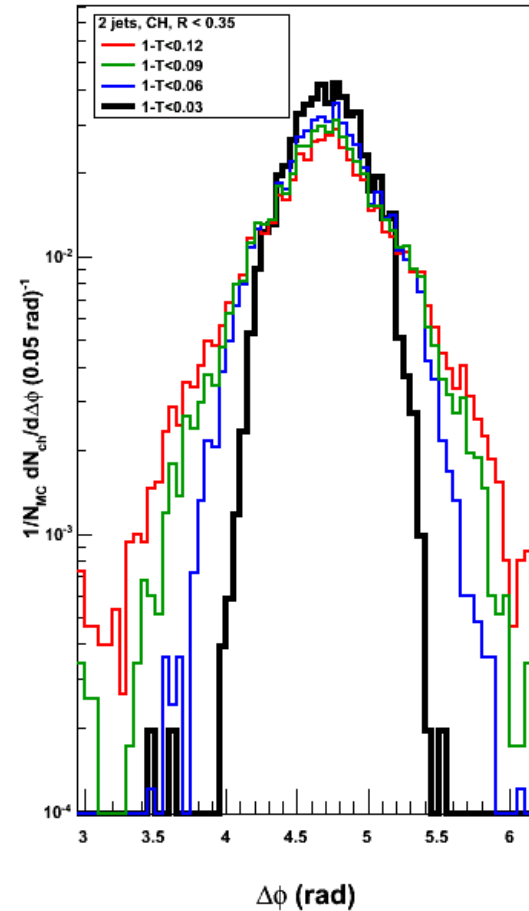
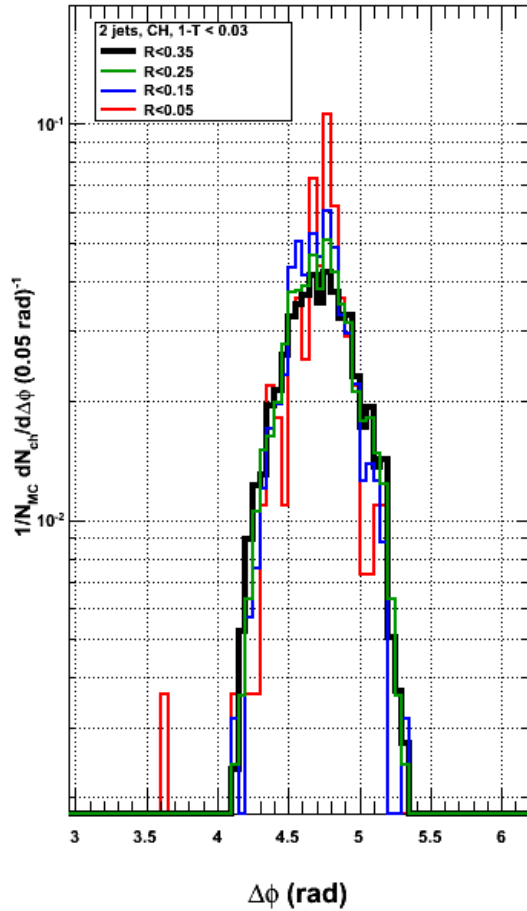


Exploramos la topología de los eventos, para ello realizamos una rotación de tal modo que la partícula de más alto pt quede a 90° en phi refiriéndonos al plano transversal al eje del haz.

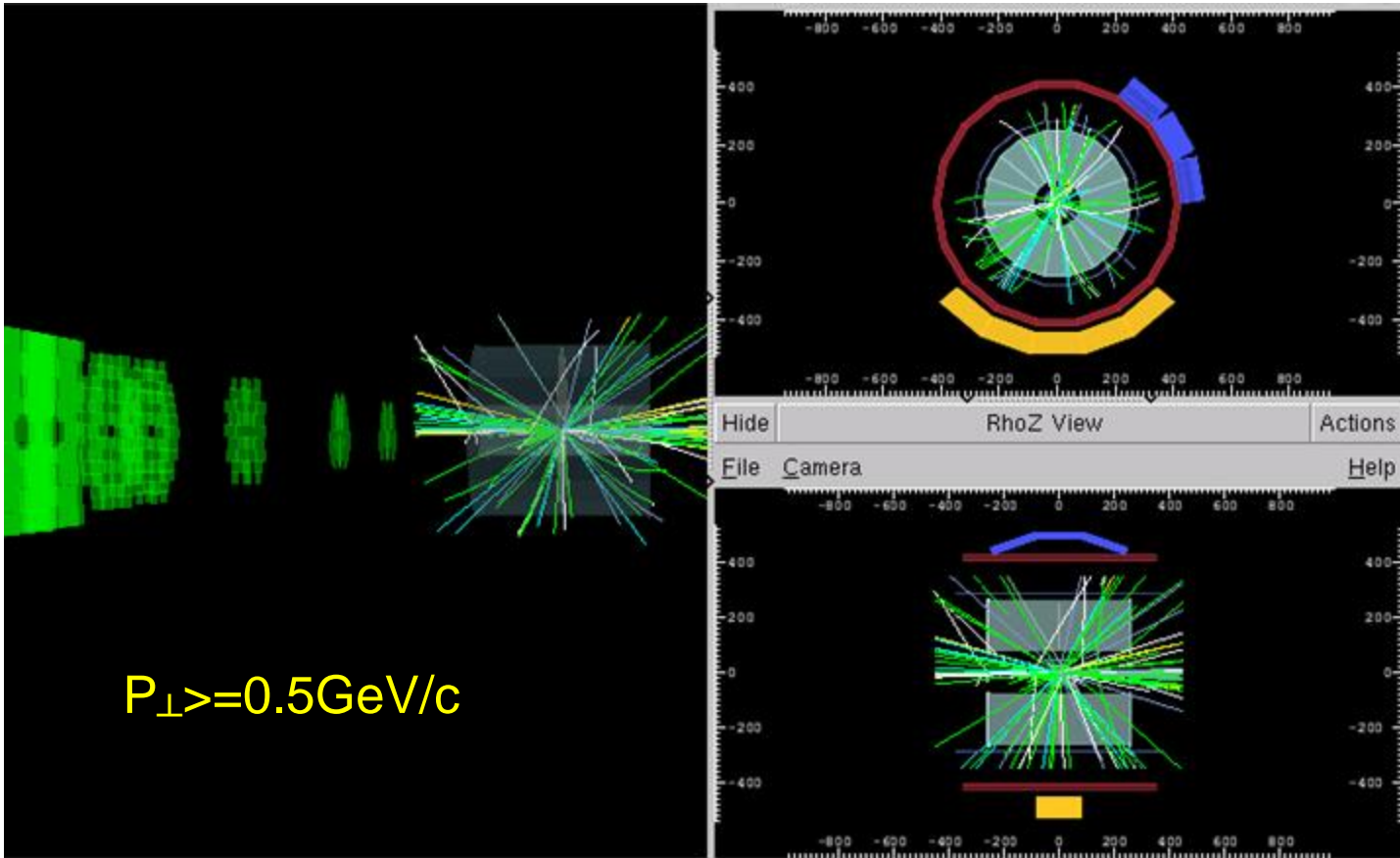
Exploramos la topología de los eventos seleccionados...



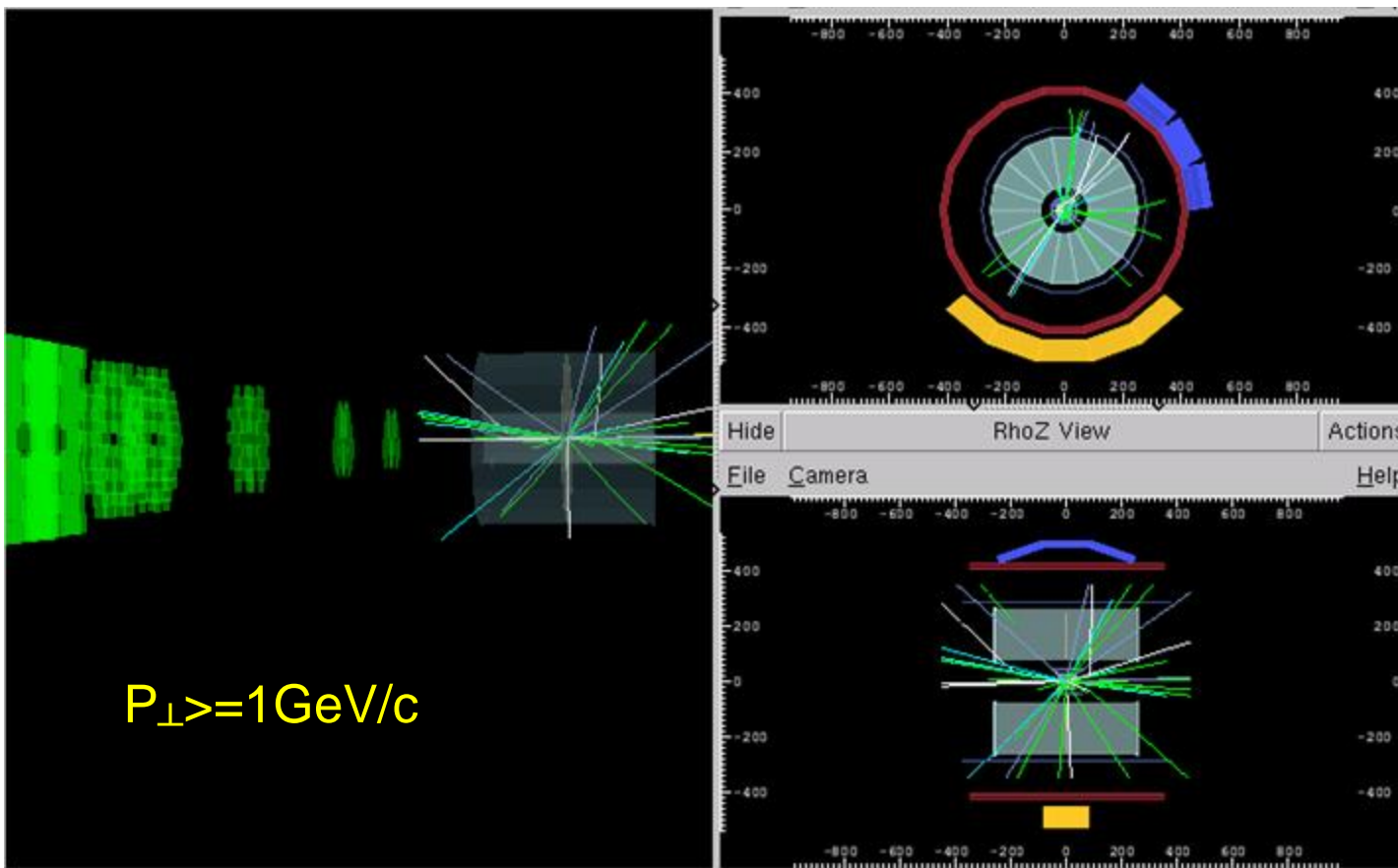
Region	Topología	Variables	$N_{MC\text{events}}$	$N_{ESD\text{events}}$
A	Dijets	$R \leq 0.35, \tau \leq 0.03$	468 (0.12%)	414 (0.1%)
B	Monojets	$R \geq 0.9, \tau \leq 0.03$	2978 (0.74%)	2815 (0.7%)
C	Mercedes	$R \leq 0.4, \tau \geq 0.25$	192 (0.048%)	117 (0.029%)



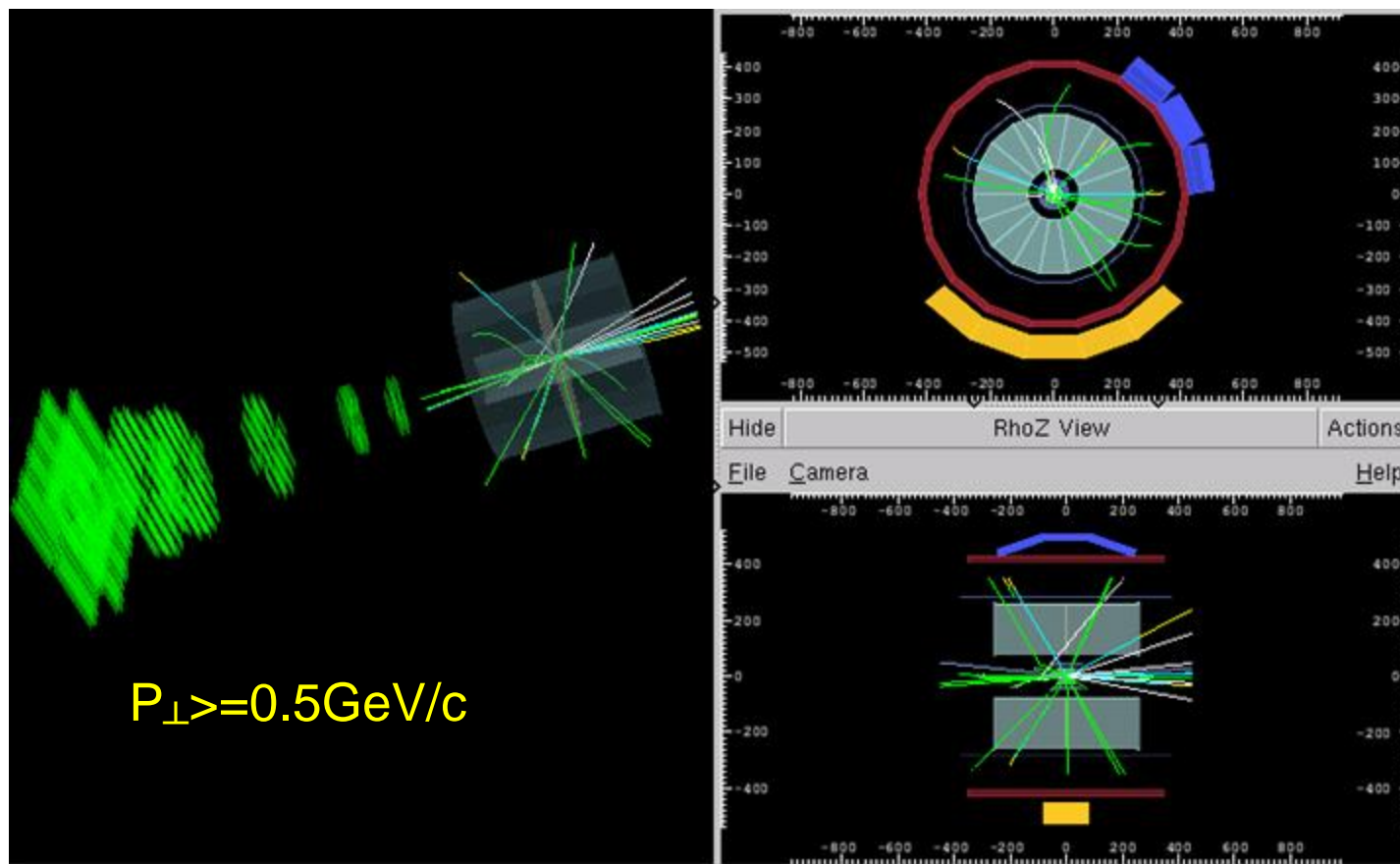
Evento 1, 3 jets



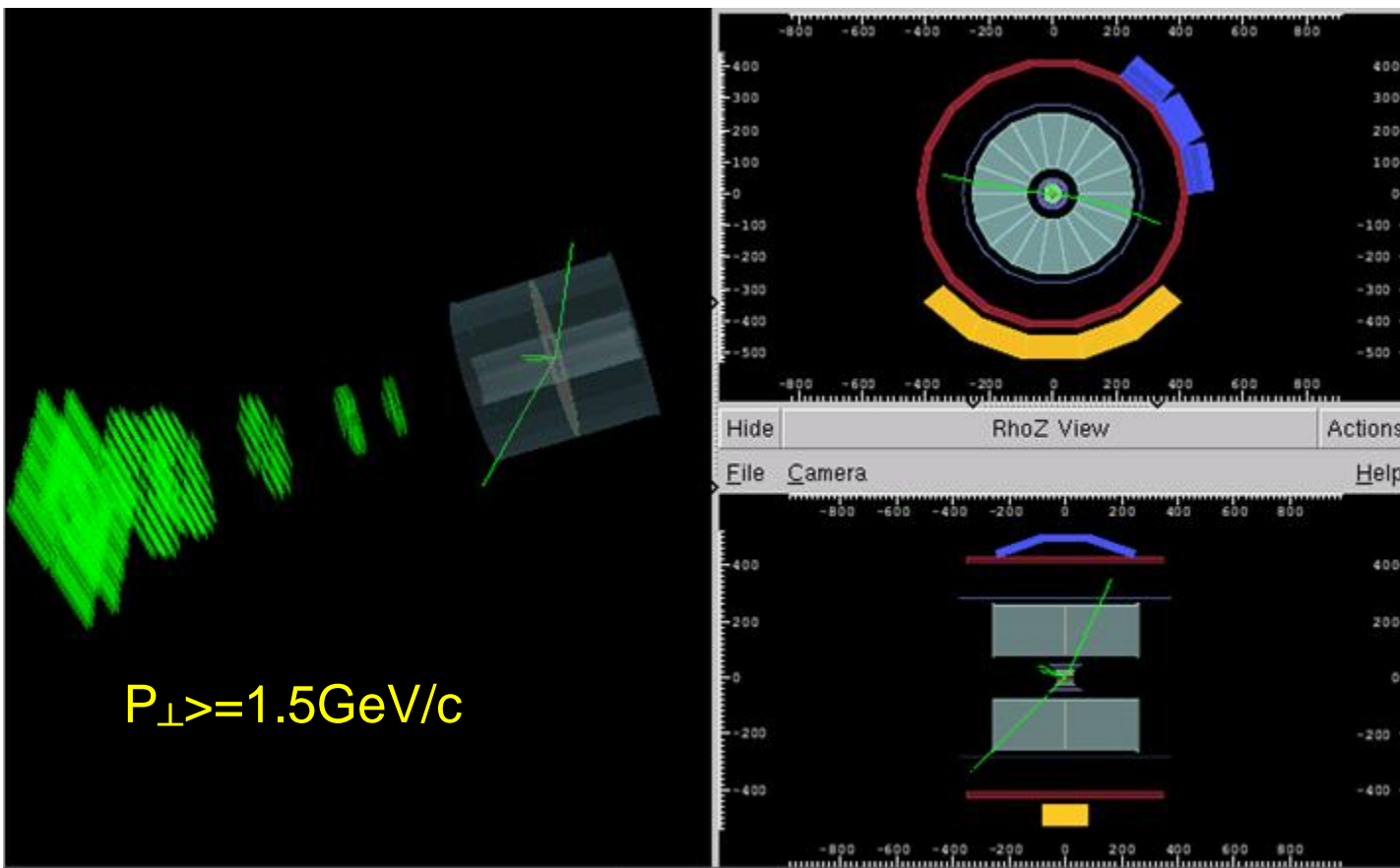
Evento 1, 3 jets



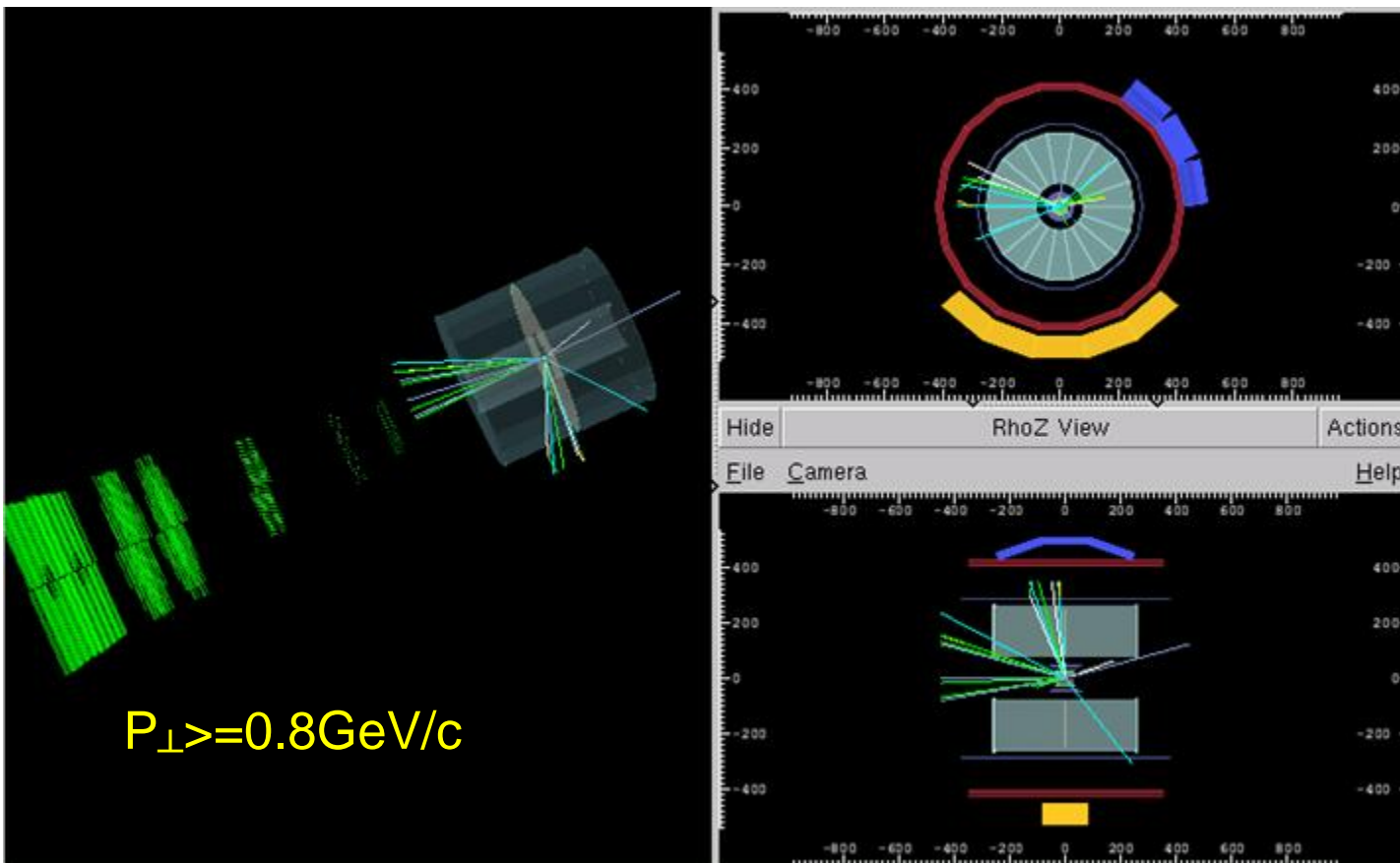
Evento 2, 2 jets



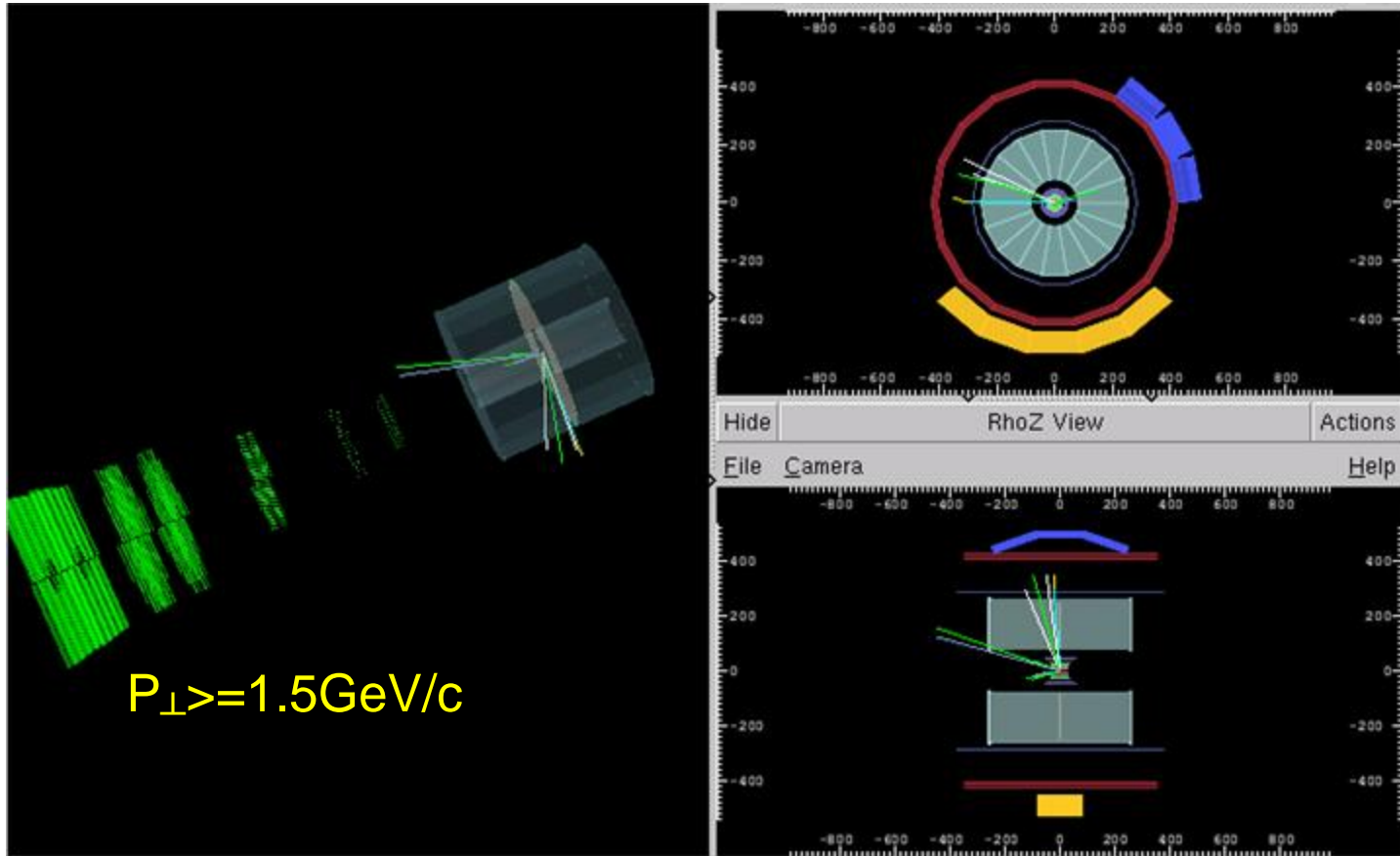
Evento 2, 2 jets



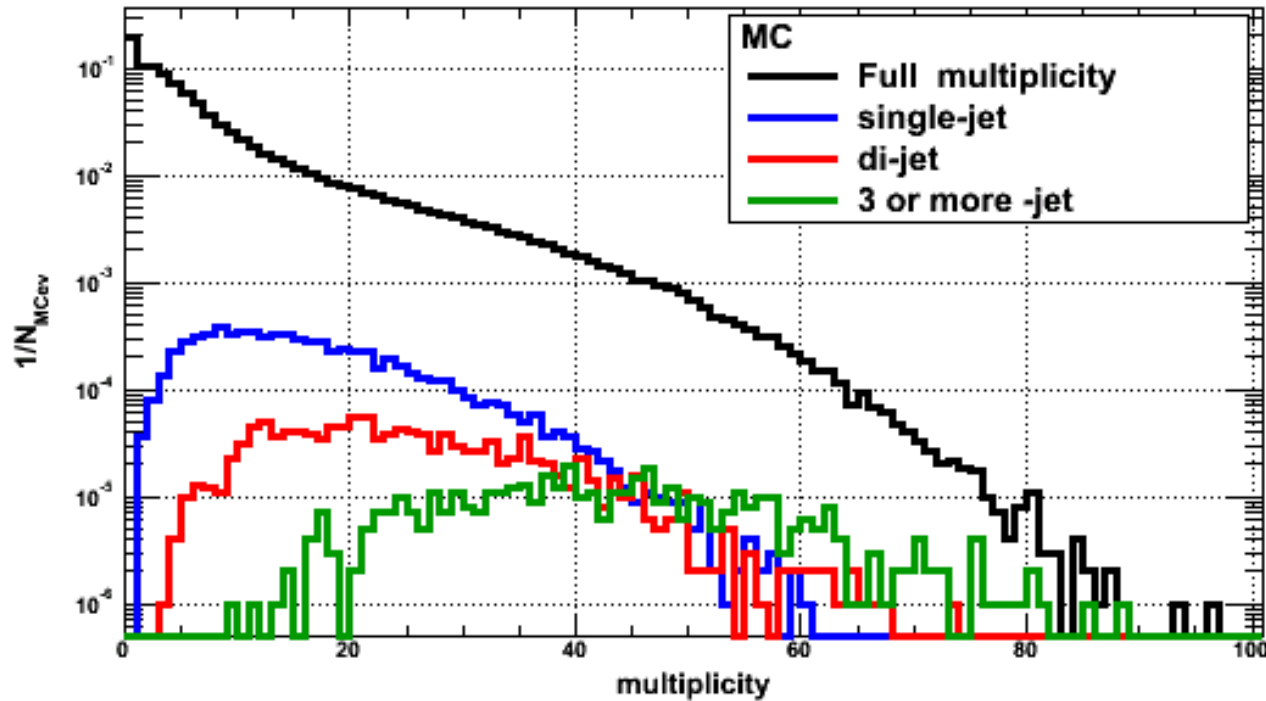
Evento 3, 1 jet



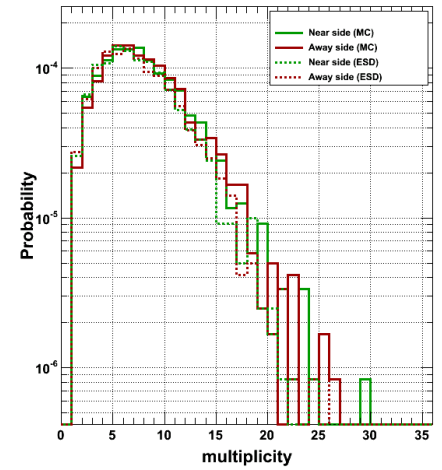
Evento 3, 2 jet



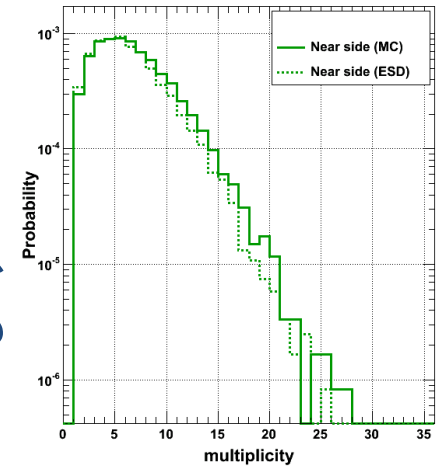
ESA y la selección de eventos de alta multiplicidad



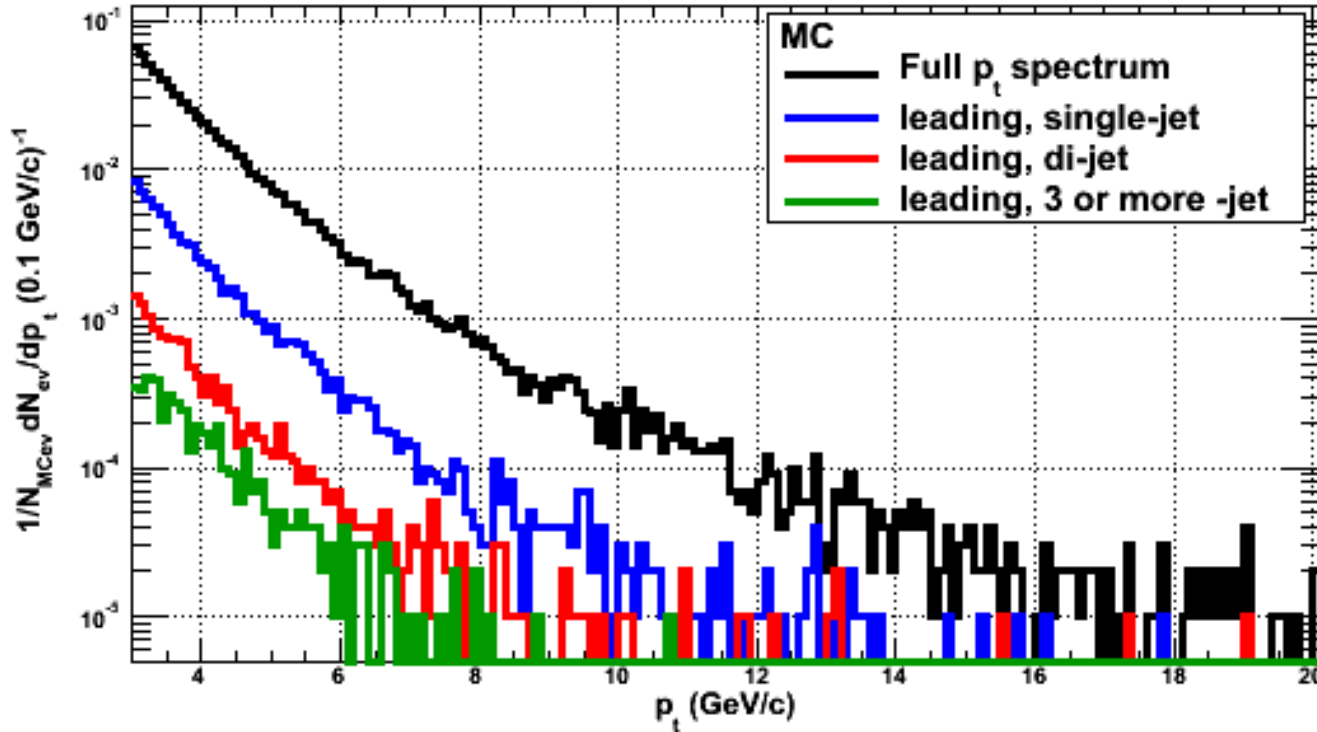
Di jet events



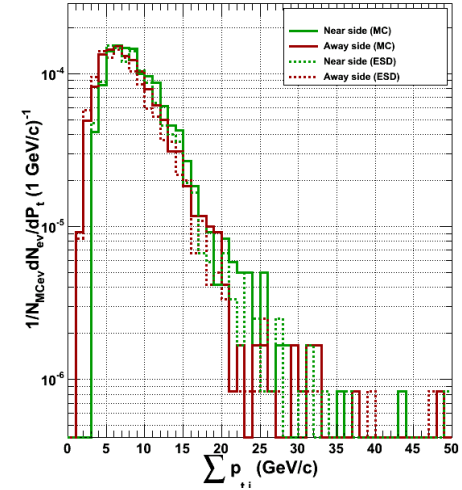
Single jet events



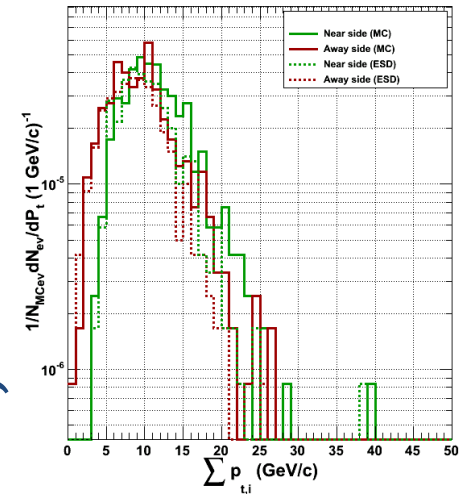
ESA y la selección de eventos de alto pt.



Di jet events



3 jet events



Estudios de correlaciones azimutales a $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$ usando ESA.

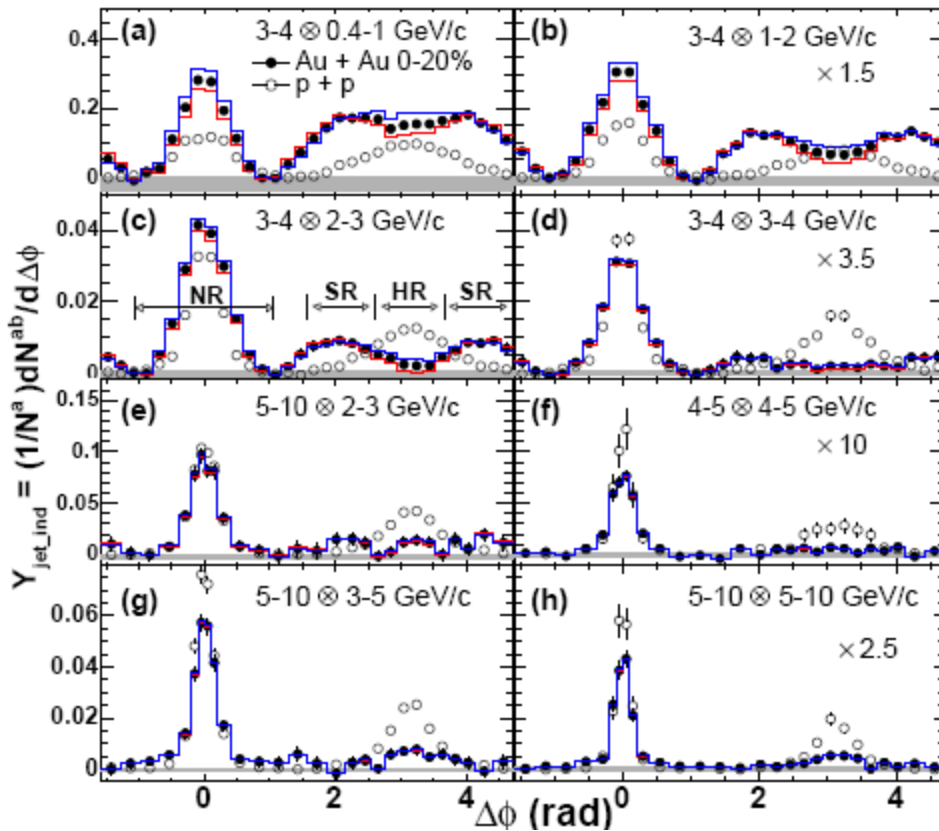
(A. Ayala, E. Cuautle, I. Domínguez, A. Ortiz y G. Paic)

arXiv:hep-ph /0902.0074

Aceptado en Eur. Phys. J. C.

A. Adare *et al.*, (PHENIX Collaboration), Phys. Rev. C **78**, 014901 (2008).

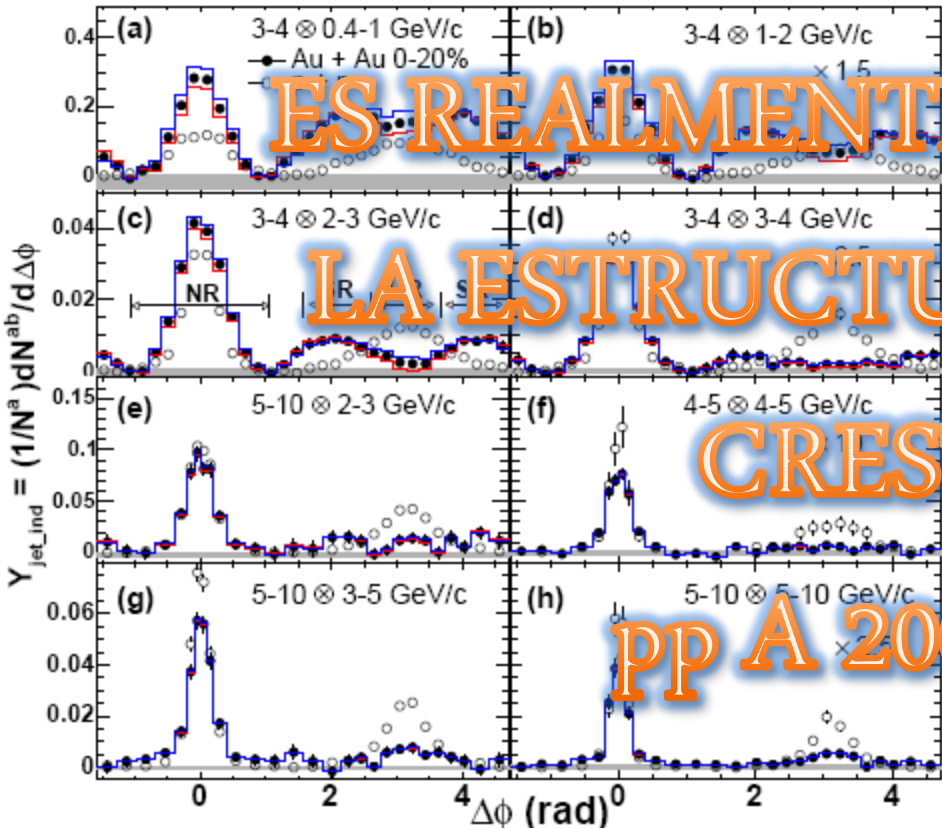
Wang F. *et al.*, (STAR Collaboration), Nucl. Phys. A **774**, 129 (2006).



ESTRUCTURA DE DOBLE
CRESTA EN EL “AWAY SIDE”
OBSERVADA EN RHIC EN
COLISIONES ENTRE IONES
PESADOS.

A. Adare *et al.*, (PHENIX Collaboration), Phys. Rev. C **78**, 014901 (2008).

Wang F. *et al.*, (STAR Collaboration), Nucl. Phys. A **774**, 129 (2006).



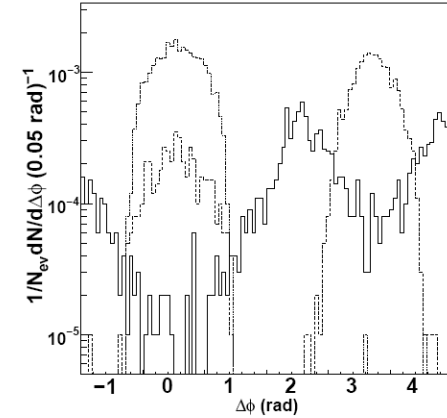
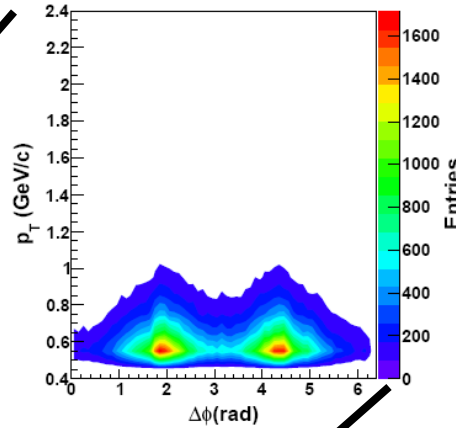
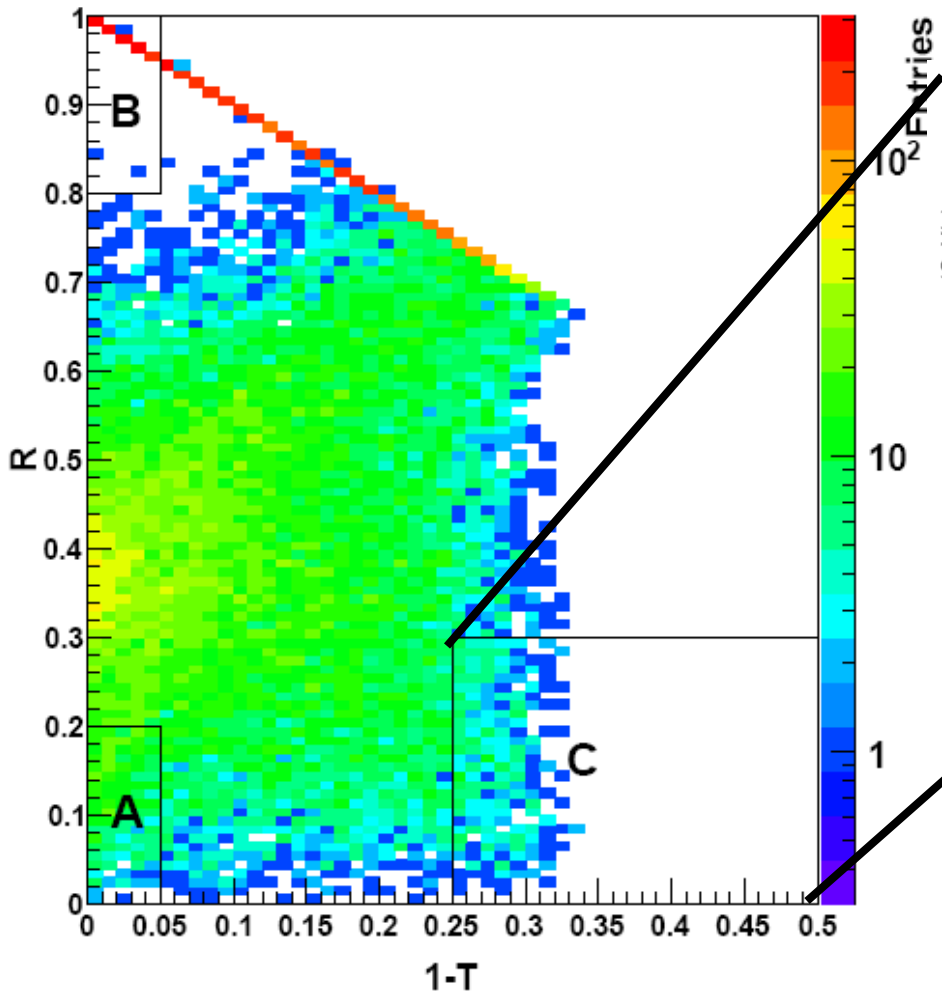
ES REALMENTE INEXISTENTE

LA ESTRUCTURA DE DOBLE

CRESTA EN

pp A 200 GeV???

ESTRUCTURA DE DOBLE
 CRESTA EN EL "AWAY SIDE"
 OBSERVADA EN RHIC EN
 COLISIONES ENTRE IONES
 PESADOS.



Generador Pythia, pp, 200 GeV, MB. 1 millón de eventos.

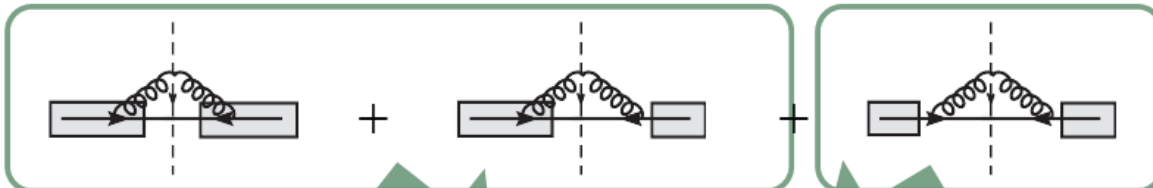
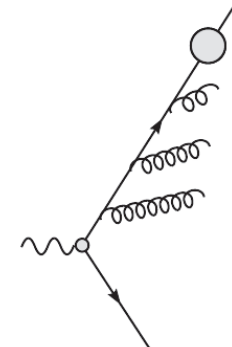
Para entender más sobre el origen de los eventos de tres jets utilizamos Q-Pythia.

Q-Pythia. A. D. Polosa and C. A. Salgado, Phys. Rev. C **75**, (2007) 041901

✓ Ecuaciones de evolución DGLAP para FF en el vacío. $t \frac{\partial}{\partial t} D(x, t) = \int_x^1 \frac{dz}{z} \frac{\alpha_s}{2\pi} P(z) D\left(\frac{x}{z}, t\right)$

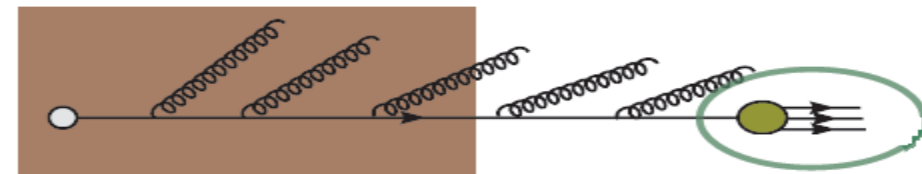
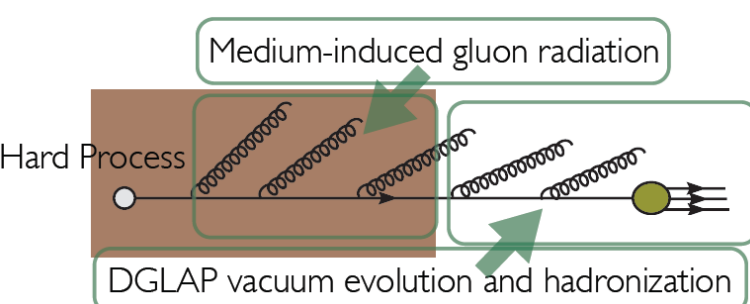
✓ Se redefine la función de división: $P^{\text{tot}}(z) = P^{\text{vac}}(z) + \Delta P(z, t)$

✓ Recordemos que la radiación total de gluones tiene componentes:

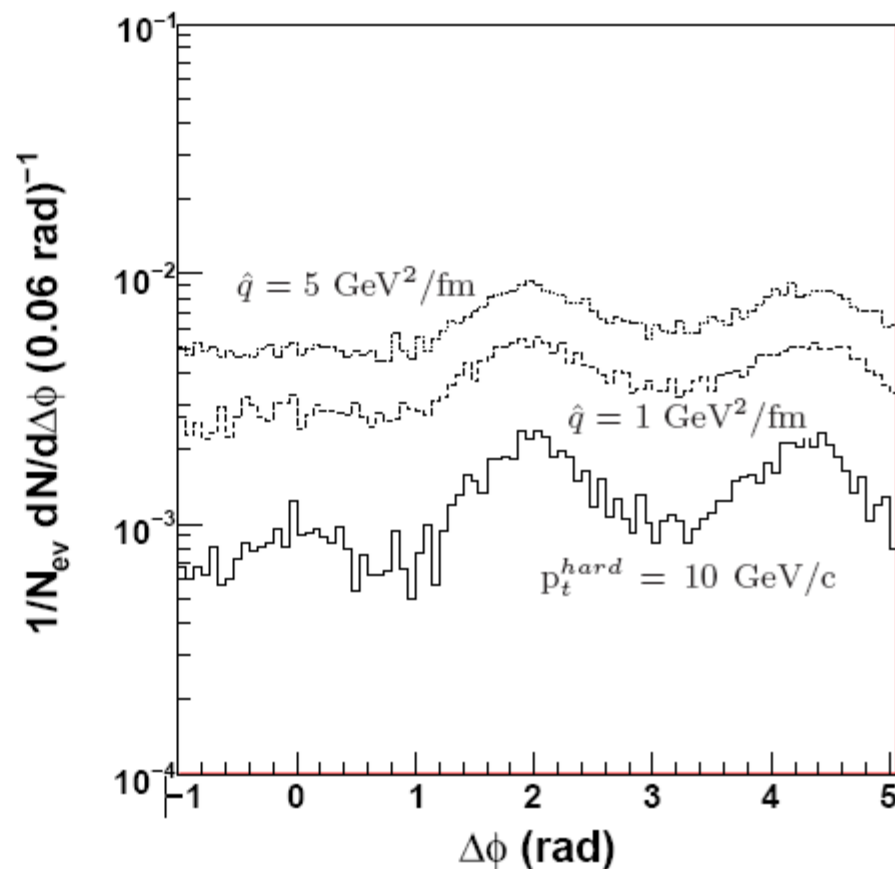
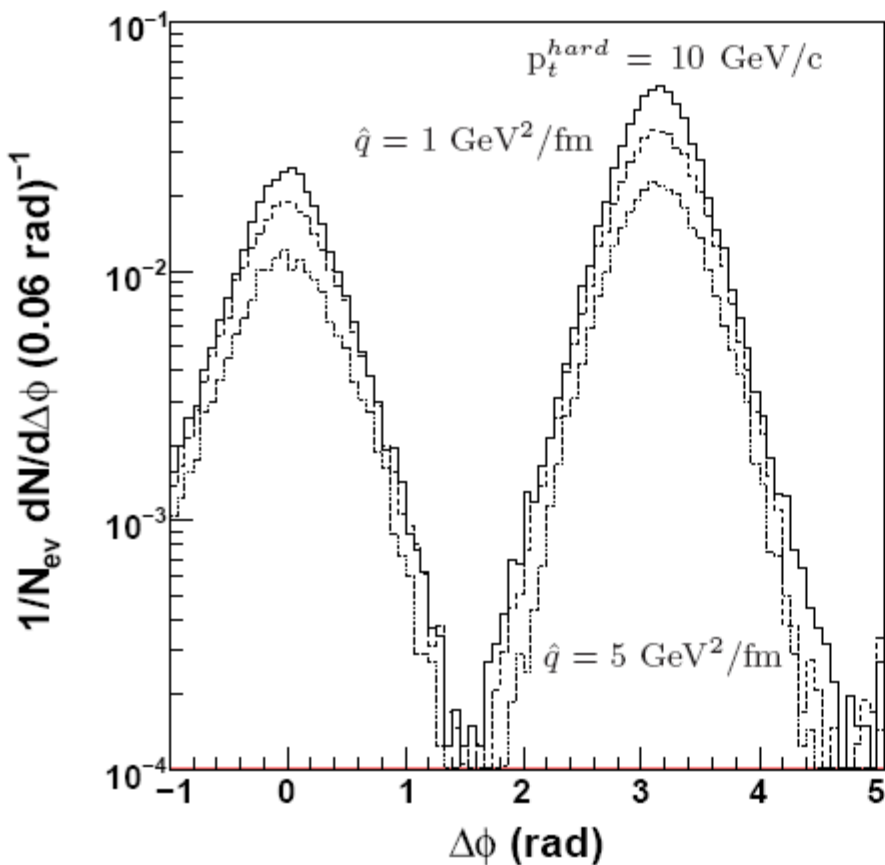


$$\frac{dI}{dz dk_{\perp}^2} = \frac{dI^{\text{med}}}{dz dk_{\perp}^2} + \frac{\alpha_s}{2\pi} \frac{1}{k_{\perp}^2} P(z)$$

$$\frac{dI}{dz dk_{\perp}^2} = \frac{\alpha_s}{2\pi} \frac{1}{k_{\perp}^2} \Delta P^{\text{med}}(z) + \frac{\alpha_s}{2\pi} \frac{1}{k_{\perp}^2} P(z) \implies \Delta P(z) \equiv \frac{2\pi k_{\perp}^2}{\alpha_s} \frac{dI^{\text{med}}}{dz dk_{\perp}^2}$$



Investigando la posible influencia del medio...



Conclusiones

- ✓ Hemos desarrollado un método (ESA) que nos permite hacer discriminación de eventos con diferentes topologías de jets: di-jet, mono-jet, mercedes.
- ✓ De acuerdo con estos resultados, ESA podría ser utilizado para hacer los primeros estudios p-p (10 TeV) en ALICE, pues este análisis fue hecho con 400 000 eventos MB.
- ✓ La sensibilidad de ESA respecto a la estructura de los eventos en el plano transversal nos ha permitido hacer estudios a 200 GeV (RHIC) y demostrar que la estructura de tres de doble cresta en la región “away” se preserva en p-p y esta asociada con la emisión de dos jets en la dirección “backward”.