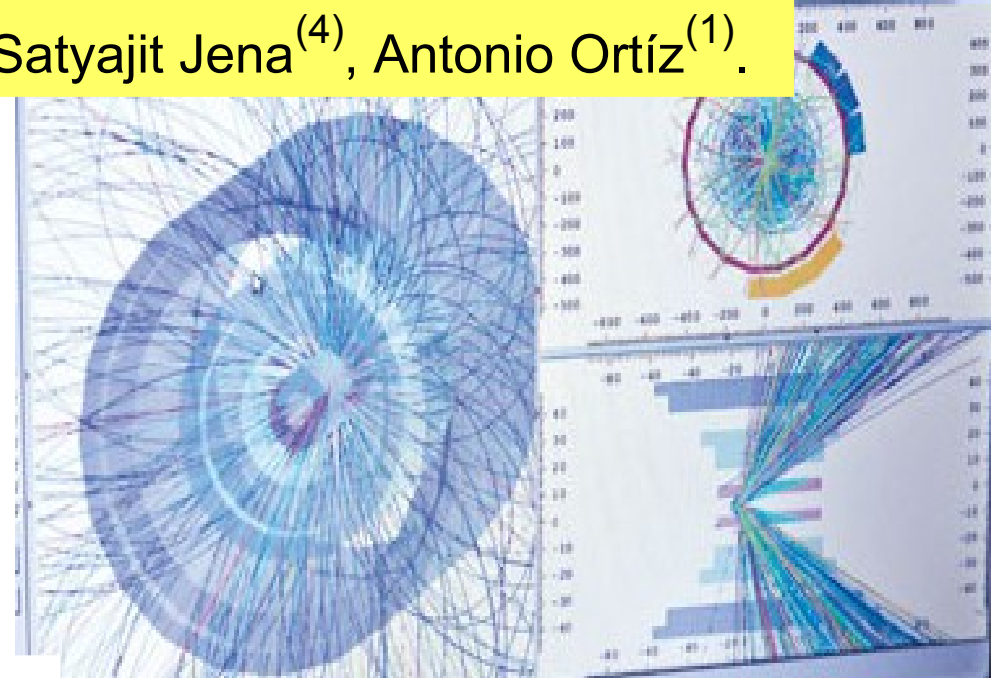
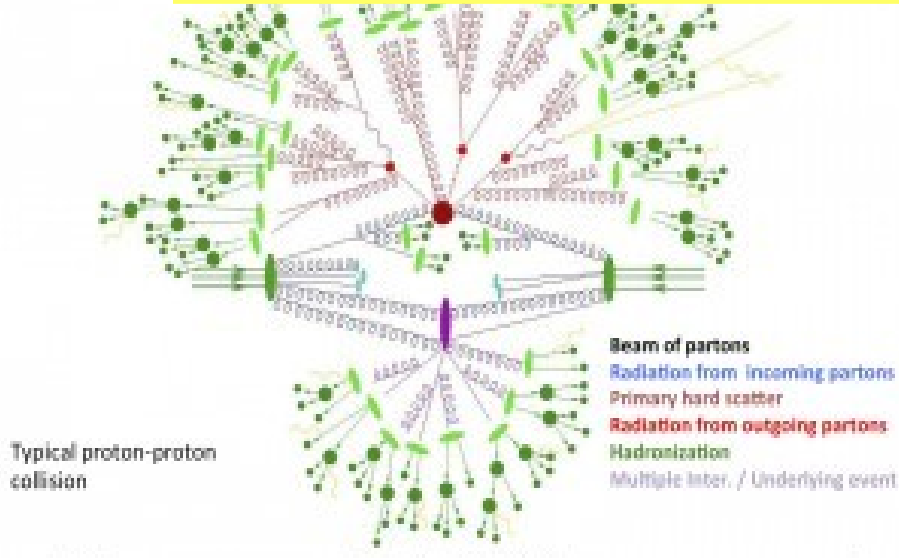


XXX REUNIÓN ANUAL DIVISIÓN DE PARTÍCULAS Y CAMPOS Sociedad Mexicana de Física



Efectos de jets en eventos de alta multiplicidad en colisiones pp

Héctor Bello^(2,1), Gyula Bencédi^(3,1), Satyajit Jena⁽⁴⁾, Antonio Ortíz⁽¹⁾.



- (1) Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM D. F., México.
- (2) Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP, Puebla, México.
- (3) Centro de Investigación Wigner, Budapest, Hungría.
- (4) Universidad de Houston, Houston, USA.

Part of this talk can be find:
Hector Bello et al, arXiv:1603.05213

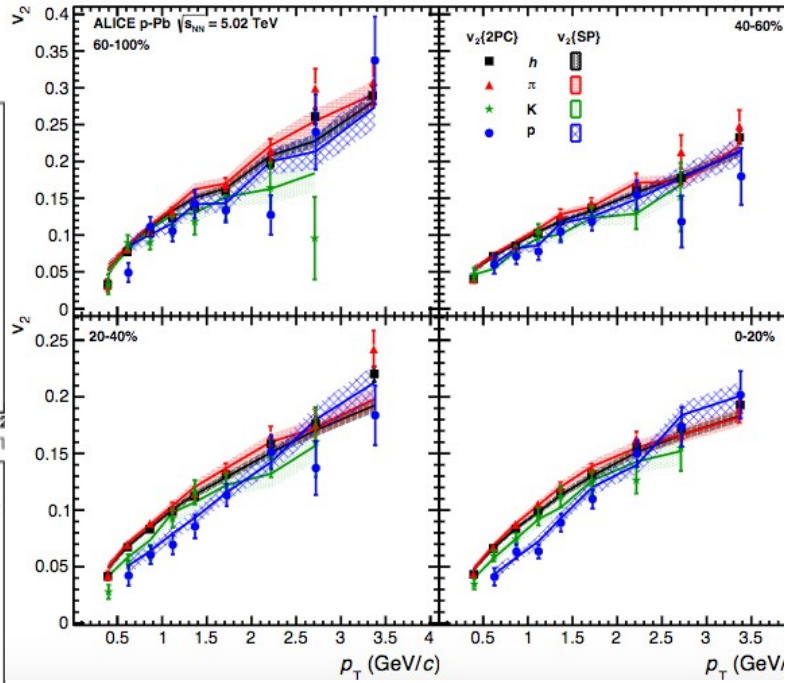
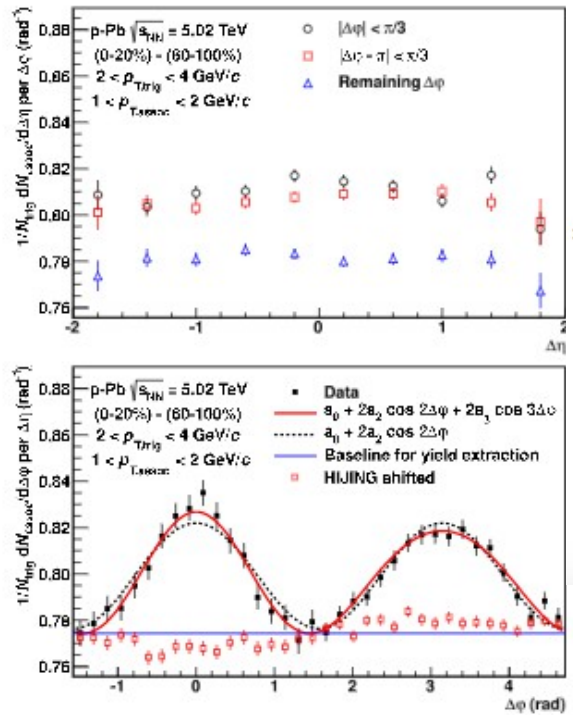
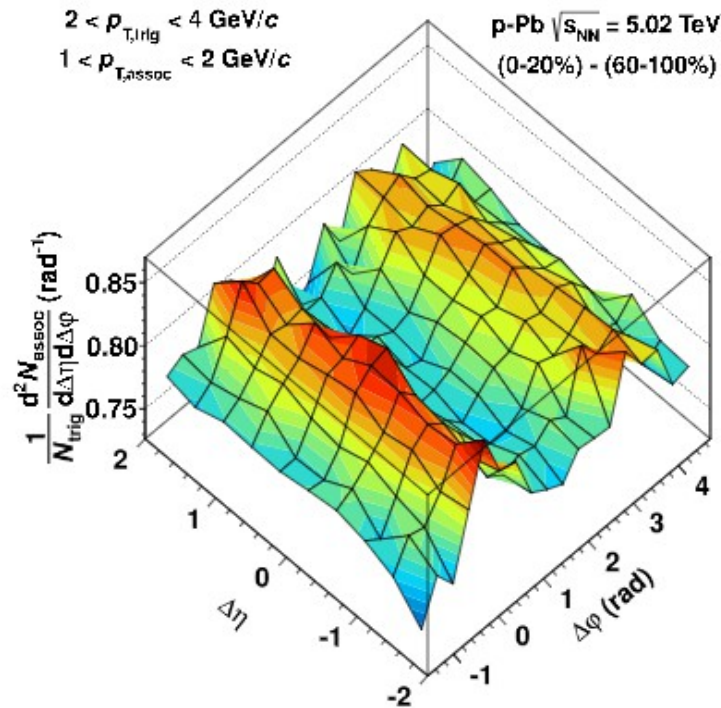
Outline

- **Introduccion**
 - Ajuste Blast Wave
 - Reconexion por color (Pythia8)
 - Hidrodinamica (EPOS 3)
- **Herramientas**
- **Produccion de particulas como funcion de la multiplicidad y dureza del evento**
 - p/π vs. p_T
 - p_T vs Nch para: inclusivo, sin jets y con jets Pythia8 & EPOS3
- **Dependencia en energia**
 - Jets $15 < p_{TJet} < 20$ GeV
 - p/π vs p_T
- **Conclusiones**

Introduccion

Los sistemas pequeños como los formados en colisiones pp y pPb han atraido la atencion de la comunidad de iones pesados porque:

- Evidencias de tipo s-QGP han sido encontradas (flujo y correlaciones azimutales de largo alcance) en eventos de alta multiplicidad,
- El origen de estos efectos permanece bajo discusion.
- Mas estudios diferentes son necesarios.



Phys. Lett. B 726 (2013) 164-177

Introduccion

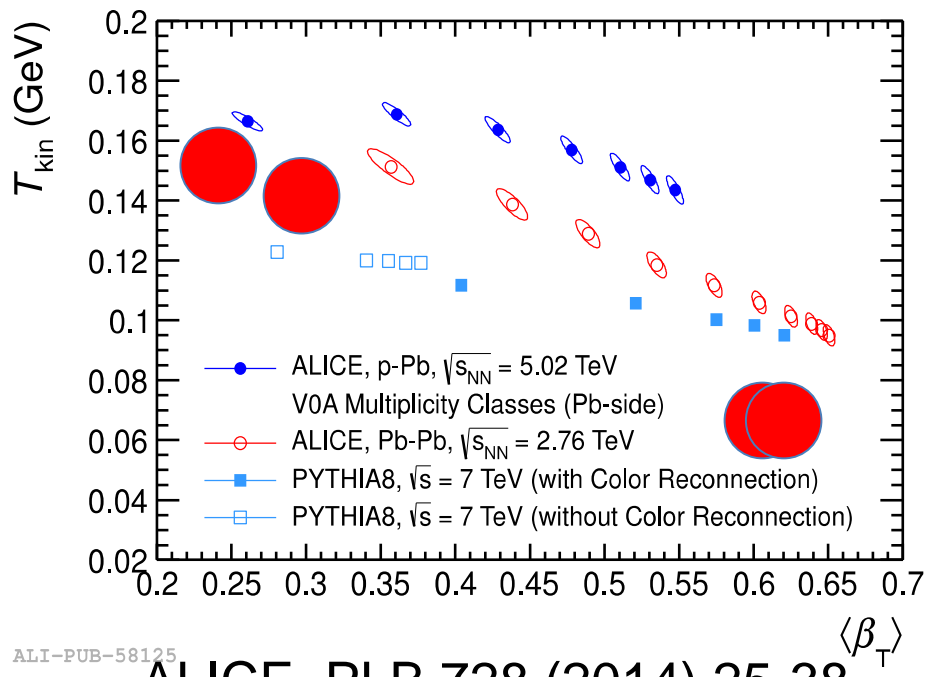
Blast-Wave, inspirado en hidrodinamica

$$\frac{1}{p_T} \frac{dN}{dp_T} \propto \int_0^R r dr m_T I_0 \left(\frac{p_T \sinh \rho}{T_{kin}} \right) K_1 \left(\frac{m_T \cosh \rho}{T_{kin}} \right)$$

$$\rho = \tanh^{-1} \beta_T = \tanh^{-1} \left(\left(\frac{r}{R} \right)^n \beta_s \right)$$

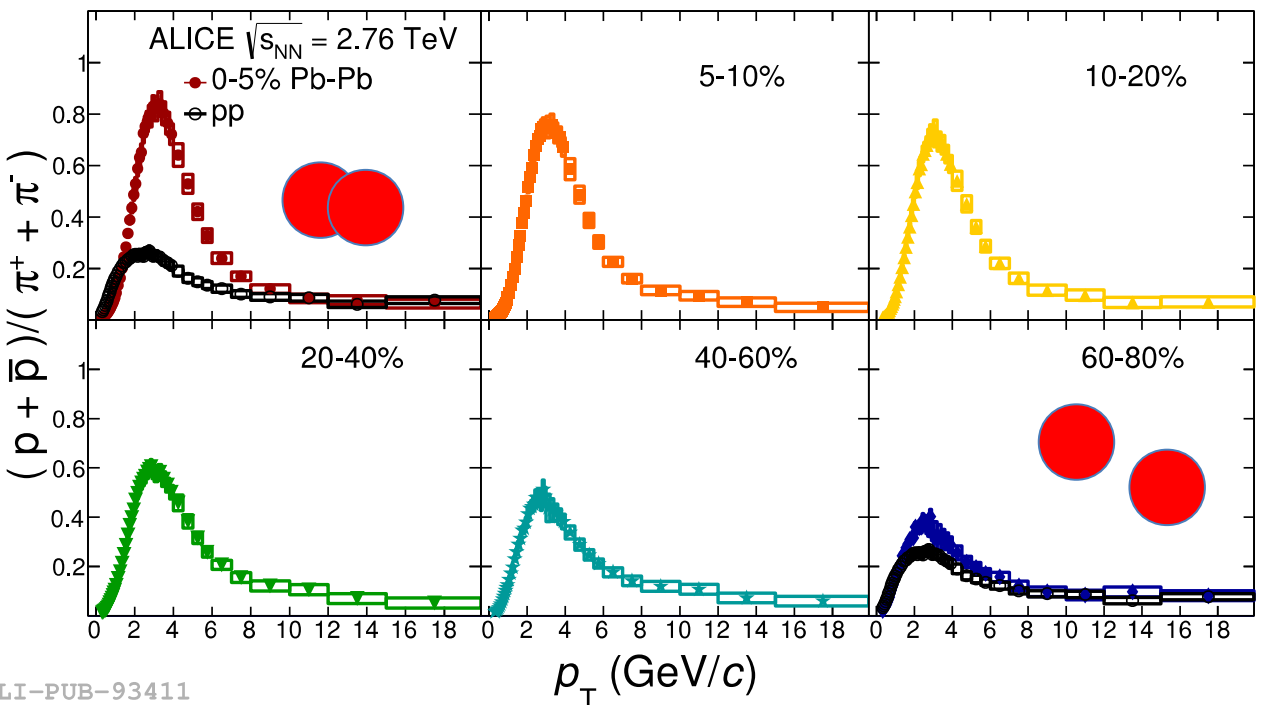
Describe el espectro de p_T para partículas identificadas en

- Datos p-Pb y Pb-Pb



ALI-PUB-58125

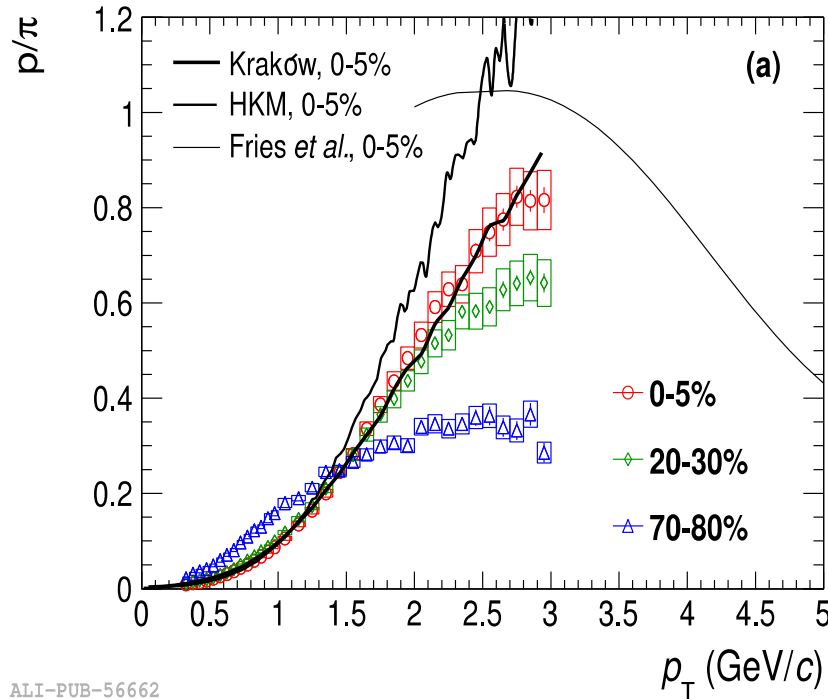
ALICE, PLB 728 (2014) 25-38



ALI-PUB-93411

ALICE, arXiv:1506.07287

Hector Bello



ALI-PUB-56662

ALICE, PRC 88 (2013) 044910

Introduccion

Blast-Wave, inspirado en hidrodinamica

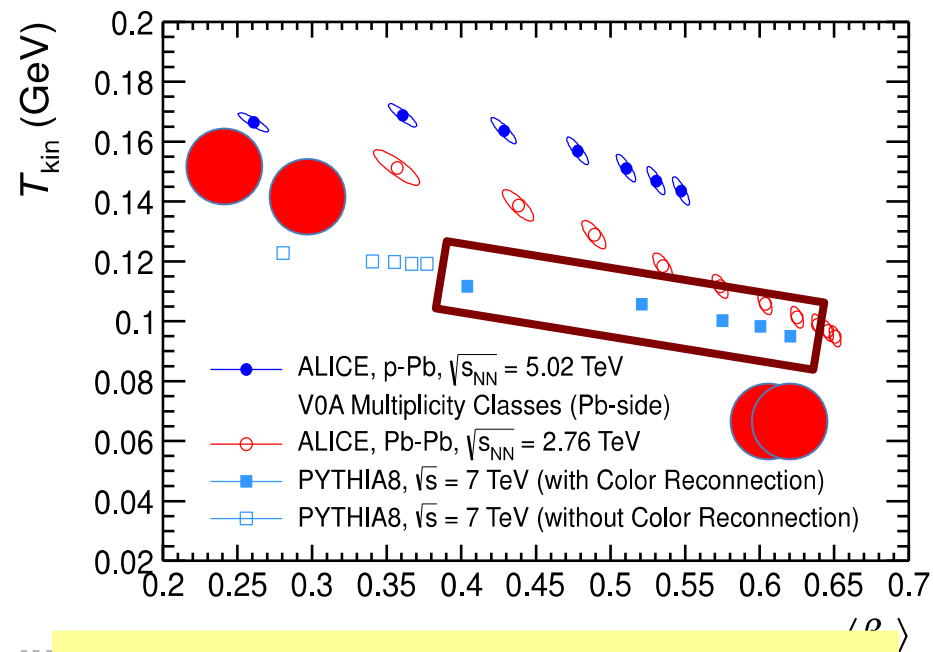
$$\frac{1}{p_T} \frac{dN}{dp_T} \propto \int_0^R r dr m_T I_0 \left(\frac{p_T \sinh \rho}{T_{kin}} \right) K_1 \left(\frac{m_T \cosh \rho}{T_{kin}} \right)$$

$$\rho = \tanh^{-1} \beta_T = \tanh^{-1} \left(\left(\frac{r}{R} \right)^n \beta_s \right)$$

Describe el espectro de p_T para partículas identificadas en:

- Datos p-Pb y Pb-Pb
- Distribuciones generadas con Pythia (no asume evolucion hidrodinamica)
- Se ha discutido como la reconexion por color produce patrones de tipo flujo radial debido a cuerdas con “boost”.

G. Paic, E. Cuautle, P. Christiansen, I. Maldonado and Antonio. Ortiz., PRL 111



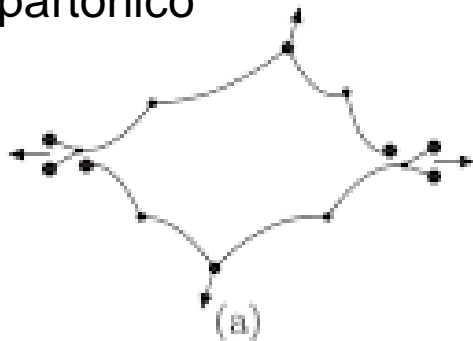
ALICE, PLB 728 (2014) 25-38

Introduccion

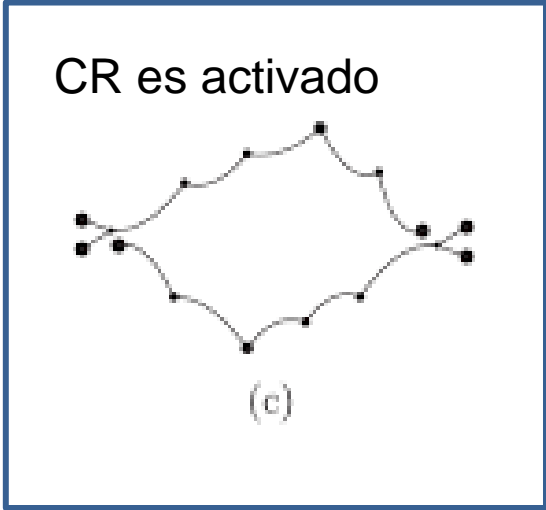
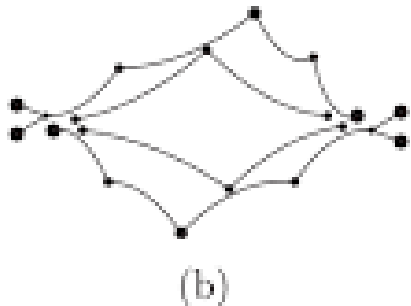
Reconexion por Color (PYTHIA8)

· Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)

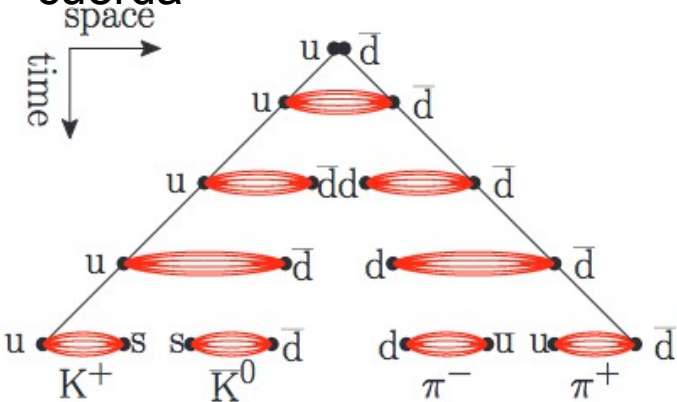
1er sistema partonico



+2º sistema partonico



Modelo de fragmentacion de cuerda



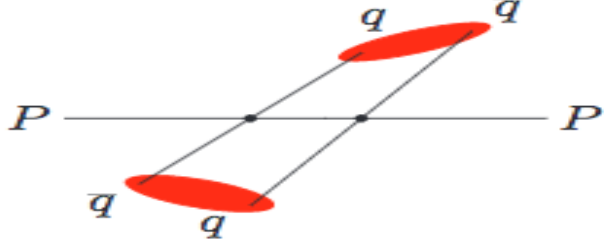
Reglas de QCD nos dicen que reconecciones se permiten (tensor de color epsilon)

La longitud minima de la cuerda nos dice la configuracion .

Hector Bello

$$q^i q^j q^k \epsilon^{ijk} \rightarrow q \begin{matrix} J \\ / \\ q \\ \backslash \\ q \end{matrix}$$

After colour reconnection

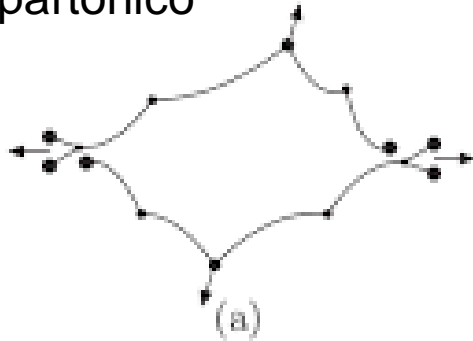


Introduccion

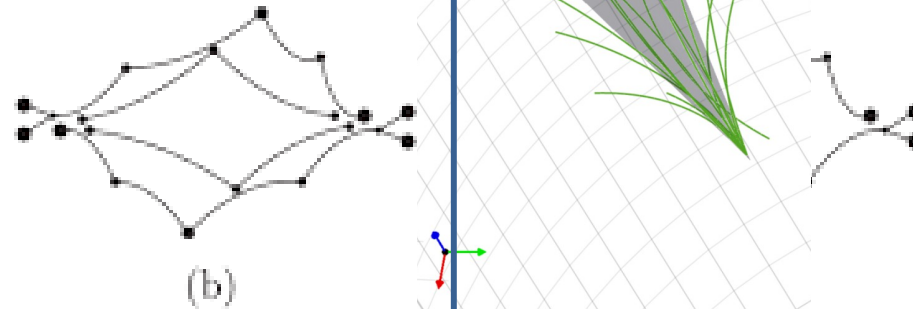
Reconexion por Color (PYTHIA8)

• Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)

1er sistema
partonico



+2º sistema
partonico



Cuando CR es activado

Este fue el enfoque en: PRL 111 (2013) 042001

- Cuanto mas M_{MPI} mayor es el efecto tipo f lujos.

Debido al gran numero de MPI, un jet de alto p_T en el evento es esperado (con alta probabilidad):

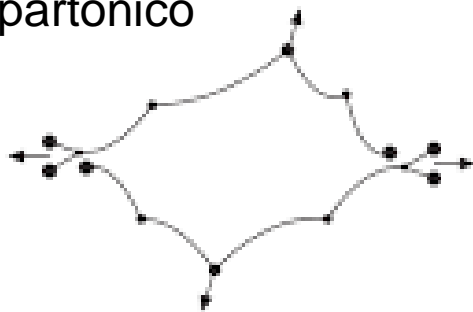
- ¿Podemos cuantificar los efectos de jets a alto p_T ?

Introduccion

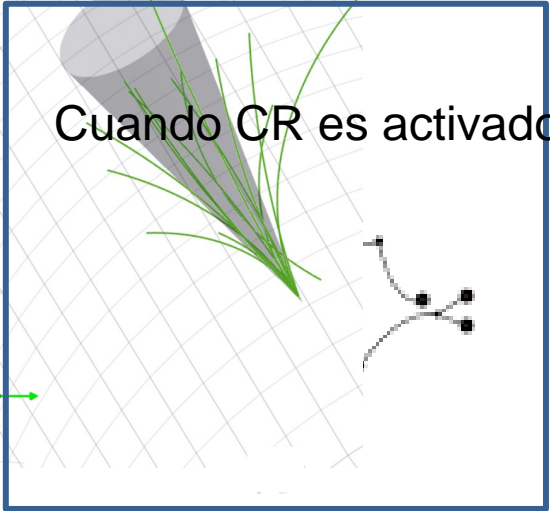
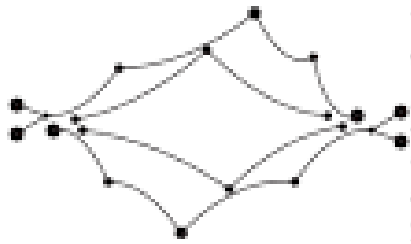
Reconexion por Color (PYTHIA8)

· Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)
 Effects of CR on hadron flavor observables, C. Bierlich and J. R. Christiansen, PRD 92 (2015) 9, 094010

1er sistema partonico



+2º sistema partonico



En el modelo de CR usado en el tune Monash2013 un sistema MPI con una escala de p_T de interaccion dura (normalmente $2 \rightarrow 2$) Puede se juntado con uno de escala mas dura con una probabilidad que es:

$$P(p_T) = \frac{(RR \times p_{T0})^2}{(RR \times p_{T0})^2 + p_T^2}$$

Reconnection Range (RR): 0-10
 Tune Monash 2013: $RR \times p_{T0} = 3$

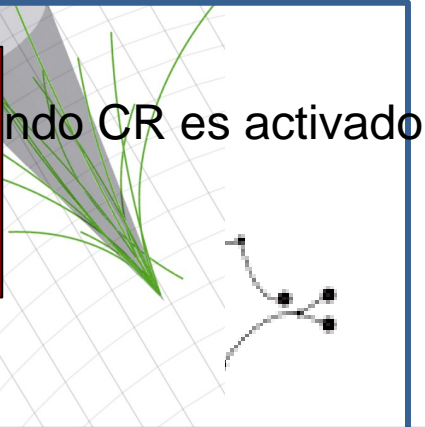
<http://home.thep.lu.se/~torbjorn/pythia82html/Welcome.html>

Introduccion

Reconexion por Color (PYTHIA8)

· Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)
Effects of CR on hadron flavor observables, C. Bierlich and J. R. Christiansen, PRD 92 (2015) 9, 094010

Estudiaremos las propiedades de los eventos pp generados con Pythia como funcion de:



multiplicidad ($z = dN/d\eta / \langle dN/d\eta \rangle$)

& su contenido de jets

En el modelo de CR usado en el tune Monash2013 un sistema MPI con una escala de p_T de interaccion dura (normalmente 2-3) Puede se juntado con uno de escala mas dura con una probabilidad que es:

$$P(p_T) = \frac{(RR \times p_{T0})^2}{(RR \times p_{T0})^2 + p_T^2}$$

Reconnection Range (RR): 0-10
Tune Monash 2013: $RR \times p_{T0} = 3$

<http://home.thep.lu.se/~torbjorn/pythia82html/Welcome.html>

Introduccion

Hydrodinamica (EPOS 3)

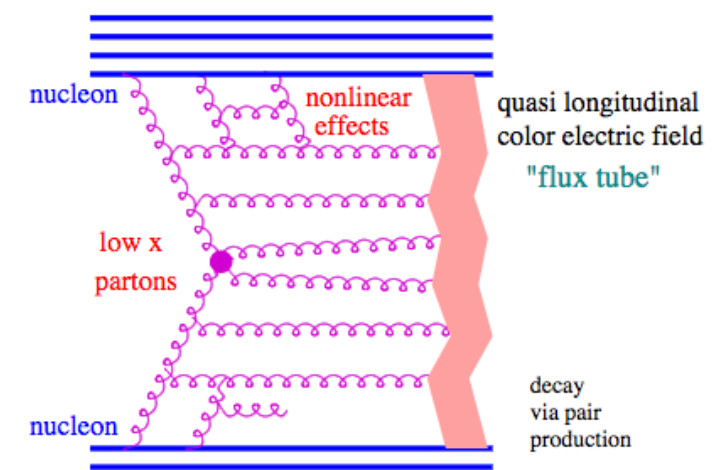
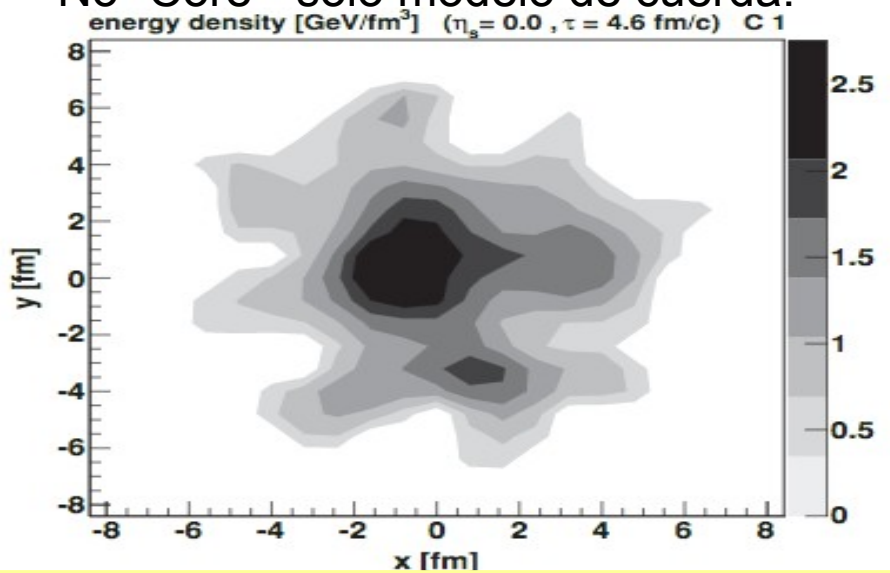
Modelo con:

- E**nergia conservada en dispersion multiple
- P**arton, escaleras partonicas (Gribov–Regge Theory)
- O**ff-shell, remanentes
- S**aturacion

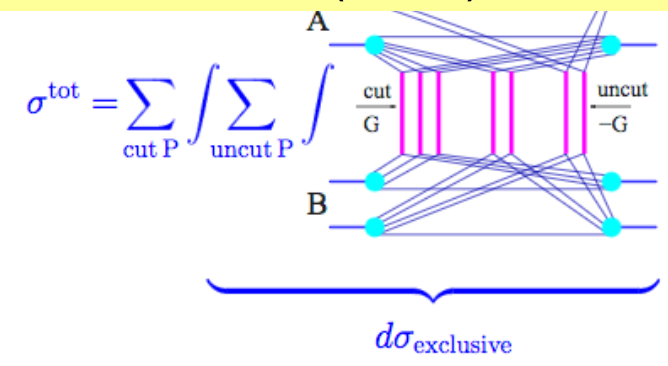
Separacion “Core-corona”

Core->alta densidad de cuerdas
 Corona->baja densidad de cuerdas

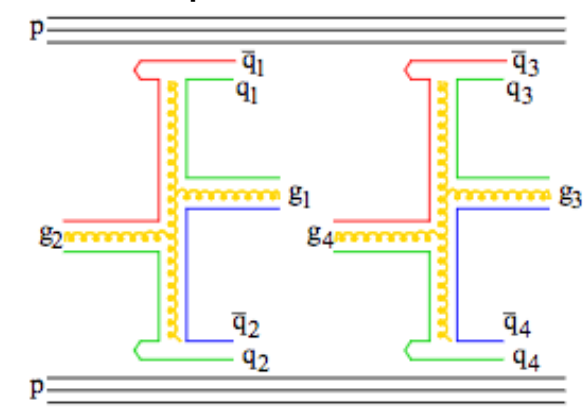
Con “Core”=Hydrodinamica
 No “Core”=solo modelo de cuerda.



K. Werner et al., PRC89 (2014) 6, 064903



Tubos de flujo de color, para intercambio de doble Pomeron



Hector Bello

10

K. Werner et al., PRC 82 (2010) 044904

K.Werner et al, PRC 92 (2015) 034906

Introduccion

Hydrodinamica (EPOS 3)

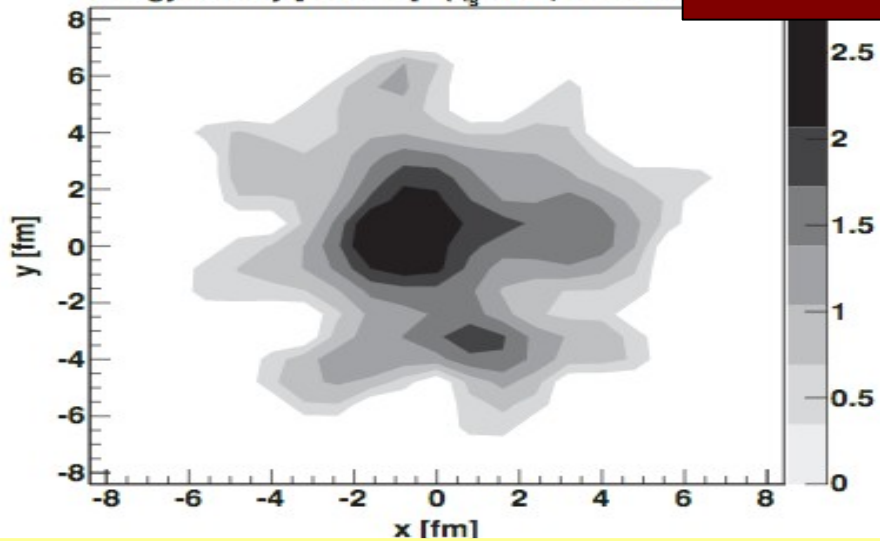
Modelo con:

- E**nergia conservada en dispersion multiple
- P**arton, escaleras partonicas (Gribov–Regge Theory)
- O**ff-shell, remanentes

Estudiaremos las propiedades de los eventos pp generados con EPOS como funcion de:

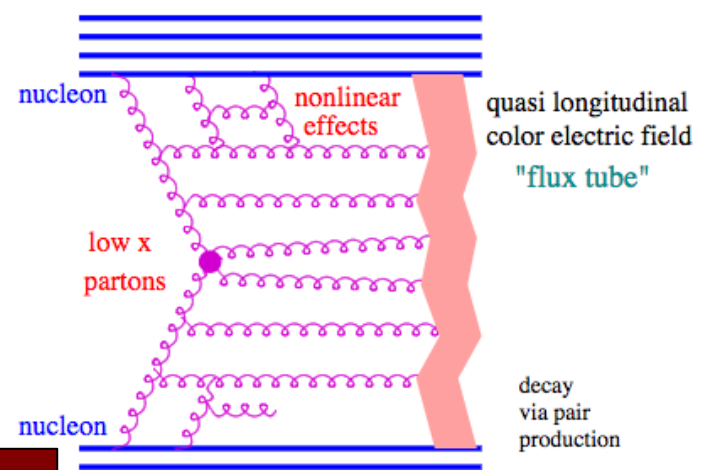
Corona -> alta densidad de cuerdas
 multiplicidad ($z = dN/d\eta / \langle dN/d\eta \rangle$)

Core = Hydrodinamica
 No "Core" = solo modelo de cuerdas
 energy density [GeV/fm³] ($\eta_s = 0.0, \tau = 4.6$ fm)

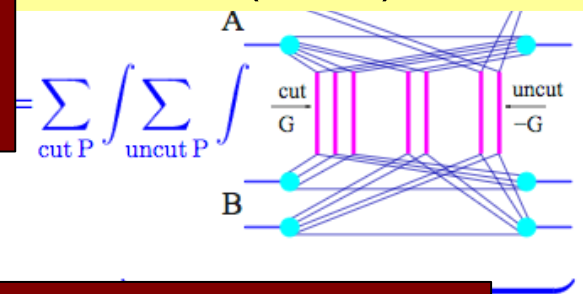


& su contenido de jets

Tubos de flujo de color, para intercambio de doble Pomeron



, PRC89 (2014) 6, 064903



K. Werner et al., PRC 82 (2010) 044904

K.Werner et al, PRC 92 (2015) 034906

Herramientas

Generador Pythia 8.212

- Monash 2013,
- 900M events

P. Skands, EPJC74 (2014) 8, 3024

Generador EPOS 3.117,

- 1000M events

K. Werner et al., PRC89 (2014) 6, 064903
K. Werner et al., PRC 82 (2010) 044904
H.J. Drescher et al., PR 350 (2001) 93-289

Jet Finder: FastJet 3.1.3,

- Algoritmo Anti- k_T
- $R=0.4$
- $p_{Tmin} = 5 \text{ GeV}$

M. Cacciari et al., EPJC72(2012)1896

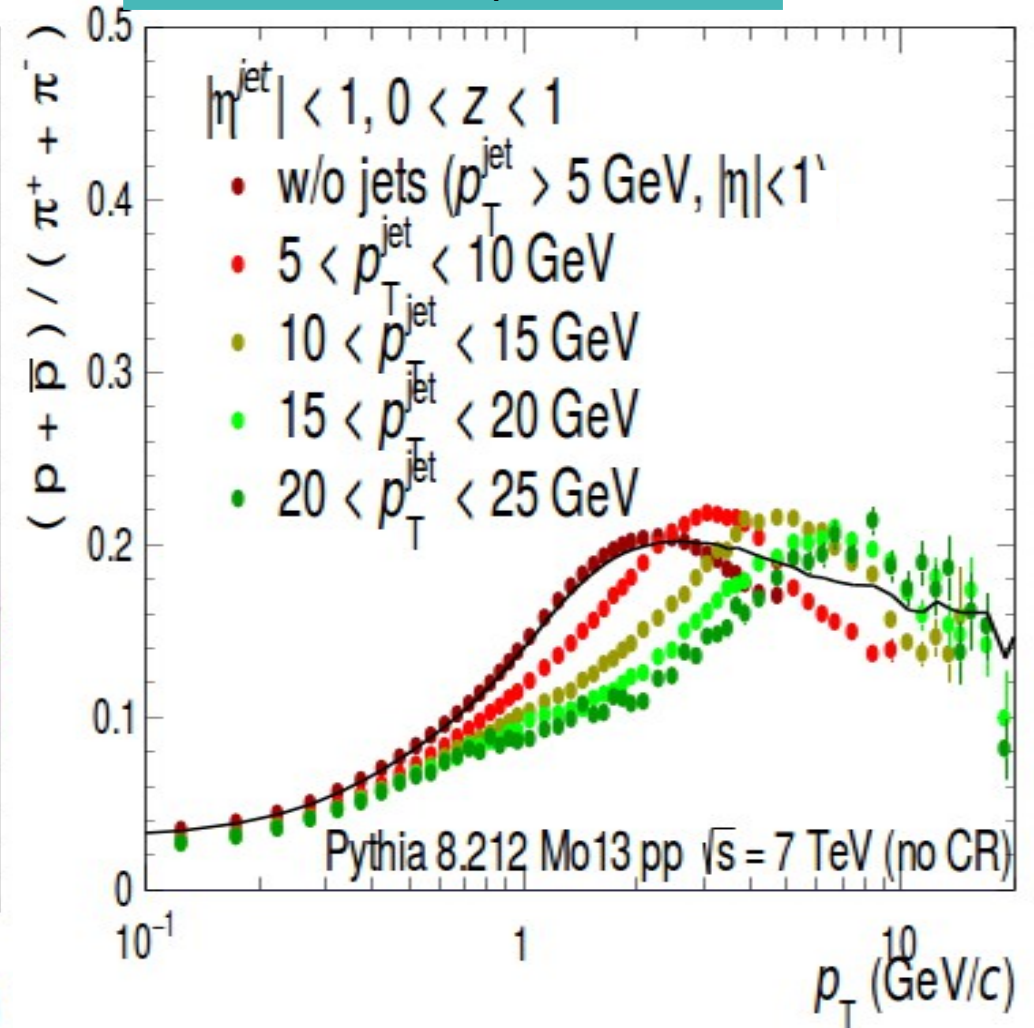
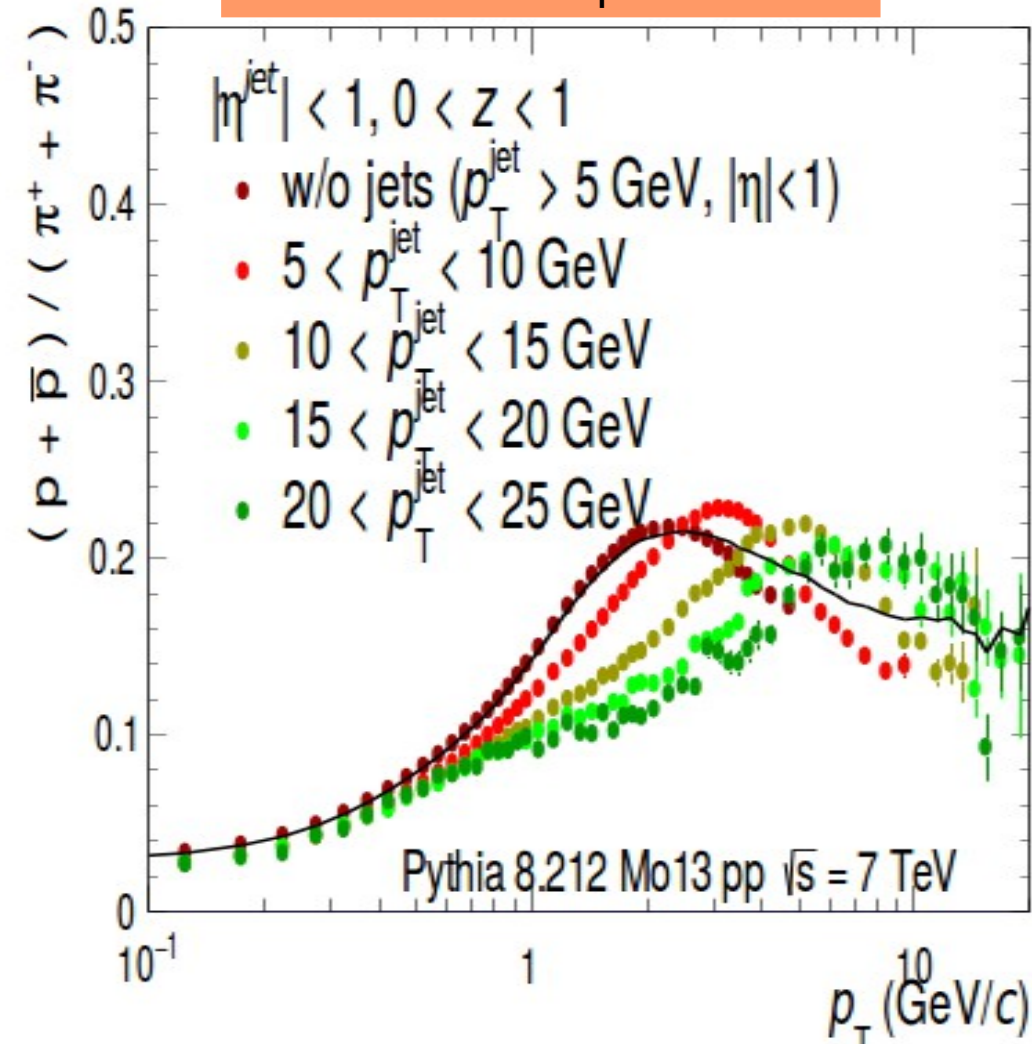
Partículas estables y primarias (bajo la definición de Pythia) son consideradas para la reconstrucción de jets

Produccion de particulas Inclusivas como funcion de la multiplicidad del evento y su dureza

ρ/π vs. ρ_T (baja multiplicidad)

con Reconexión por Color

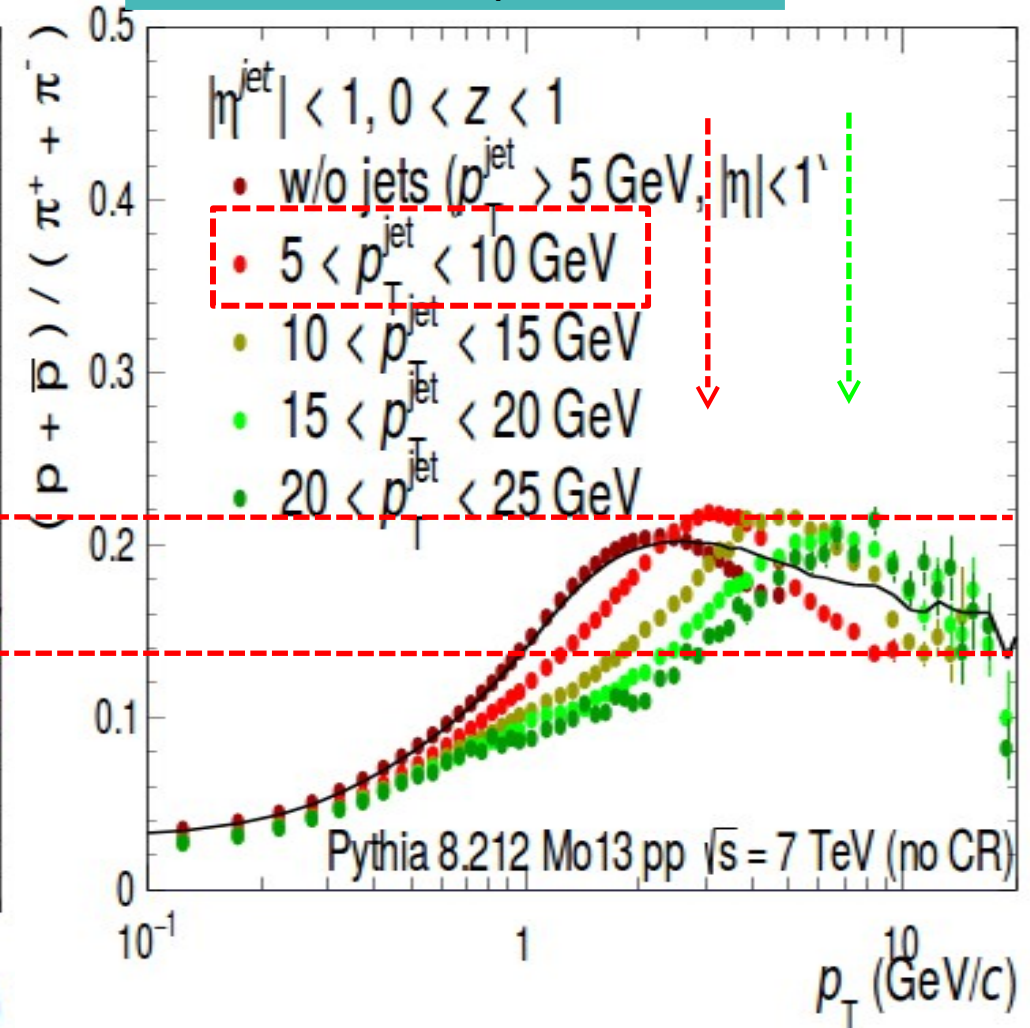
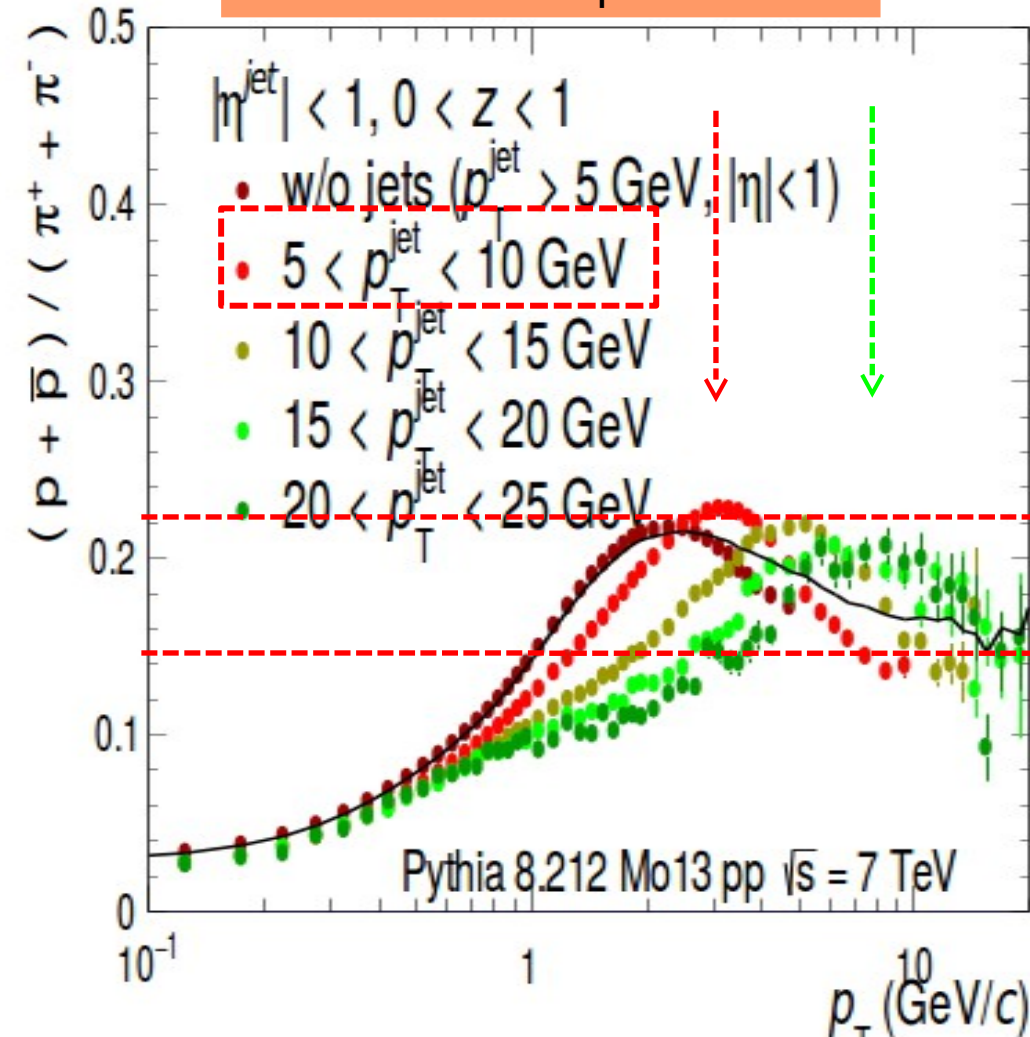
Sin Reconexión por color



ρ/π vs. ρ_T (baja multiplicidad)

con Reconexión por Color

Sin Reconexión por color

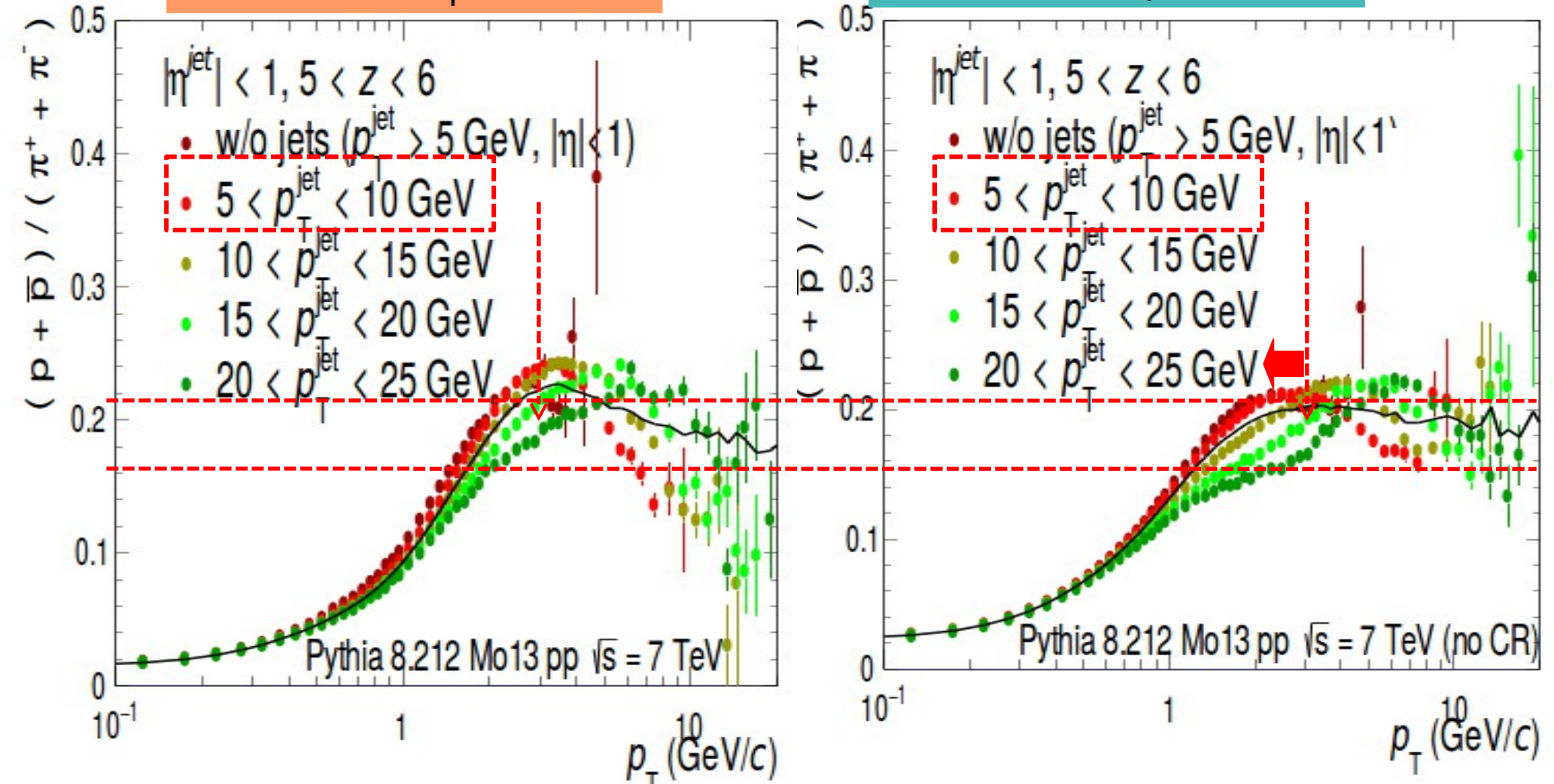


- Efectos de reconexión por color se observan para $p_{T\text{jet}} < 10 \text{ GeV}$.
- La posición del pico es desplazada a alto p_T cuando incrementa $p_{T\text{jet}}$. El desplazamiento es acompañado por un incremento en $\langle \beta_T \rangle$ (En el Blast-Wave).

ρ/π vs. ρ_T (alta multiplicidad)

con Reconexión por Color

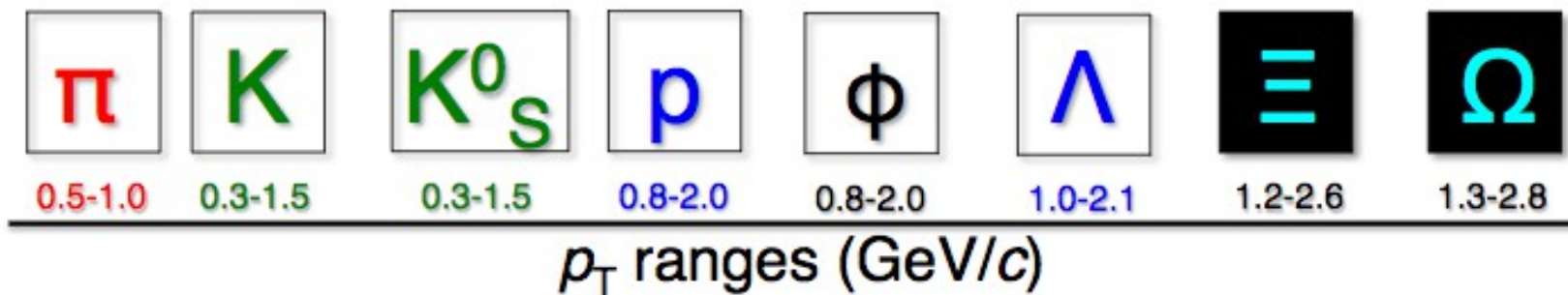
Sin Reconexión por color



- Mayor realze con respecto al caso sin CR
- Con CR, los efectos de jets (posicion del pico) son pequeños que en el caso de baja Nch (Dominados por eventos subyacentes).

Estudio de la producción de hadrones inclusivos de sabores ligeros

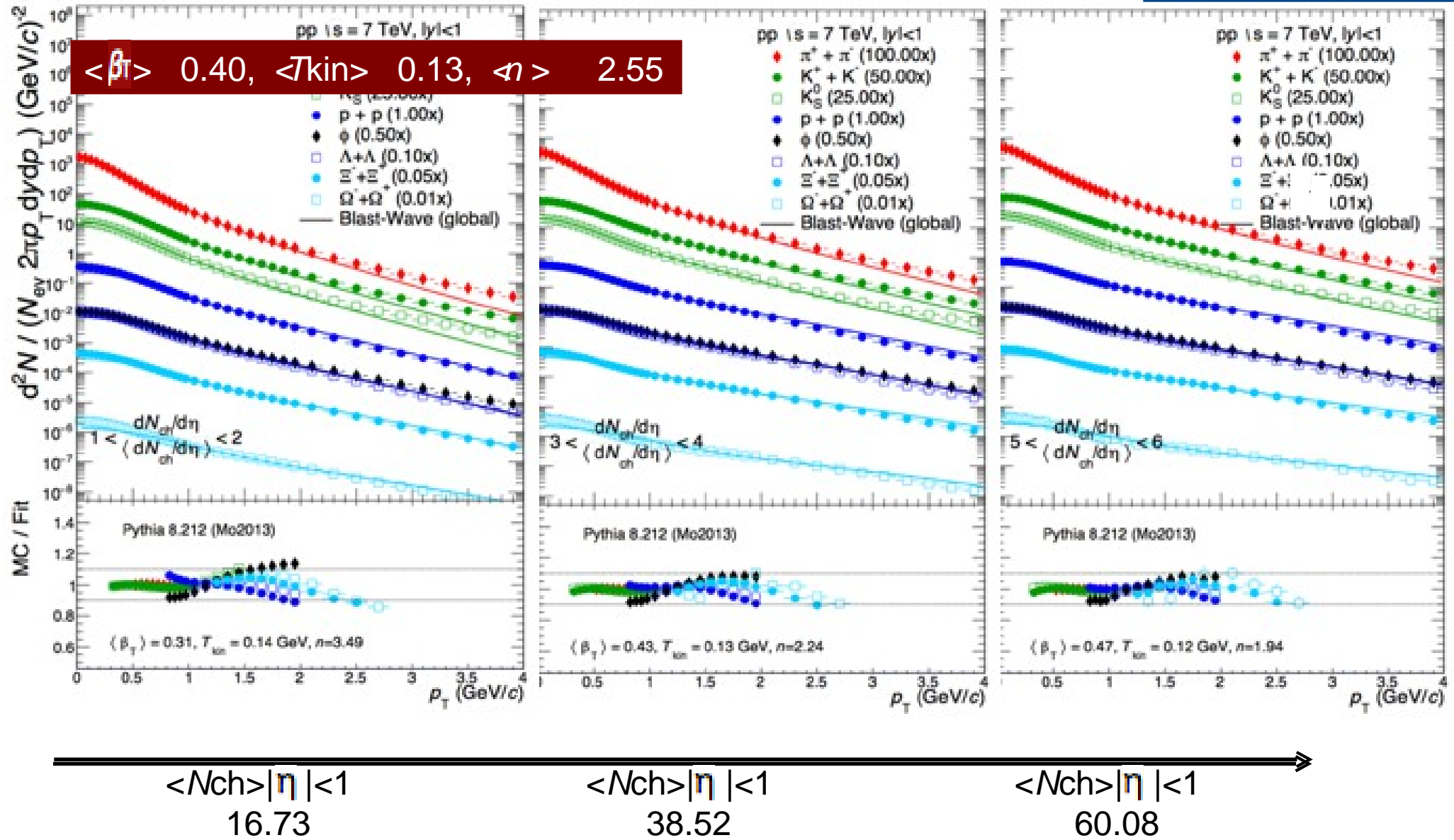
Resultados del análisis de Blast-Wave son presentados, para esto un fit simultáneo de la función BW al espectro de p_T es desarrollado para extraer $\langle \beta_T \rangle$. Los rangos de los ajustes son:



(mismo rango de p_T que en: G. Paic, E. Cuautle and Antonio. Ortiz. NPA 941 (2015) 78-86, donde el espectro de p_T en eventos de alta multiplicidad fueron descritos por el modelo BW en 10%)

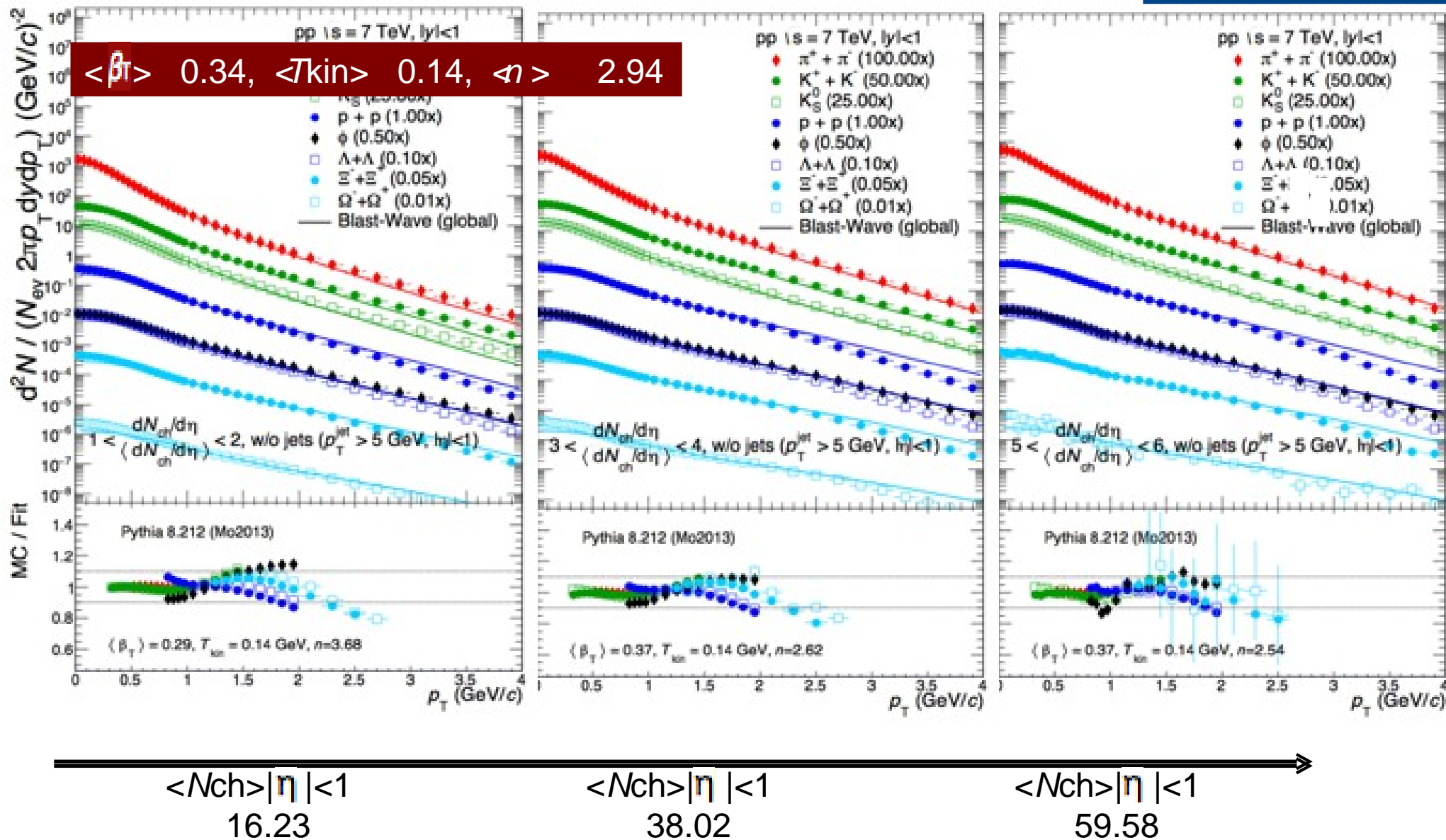
Analysis ρ_T vs N_{ch}

PYTHIA 8



Sin Jets

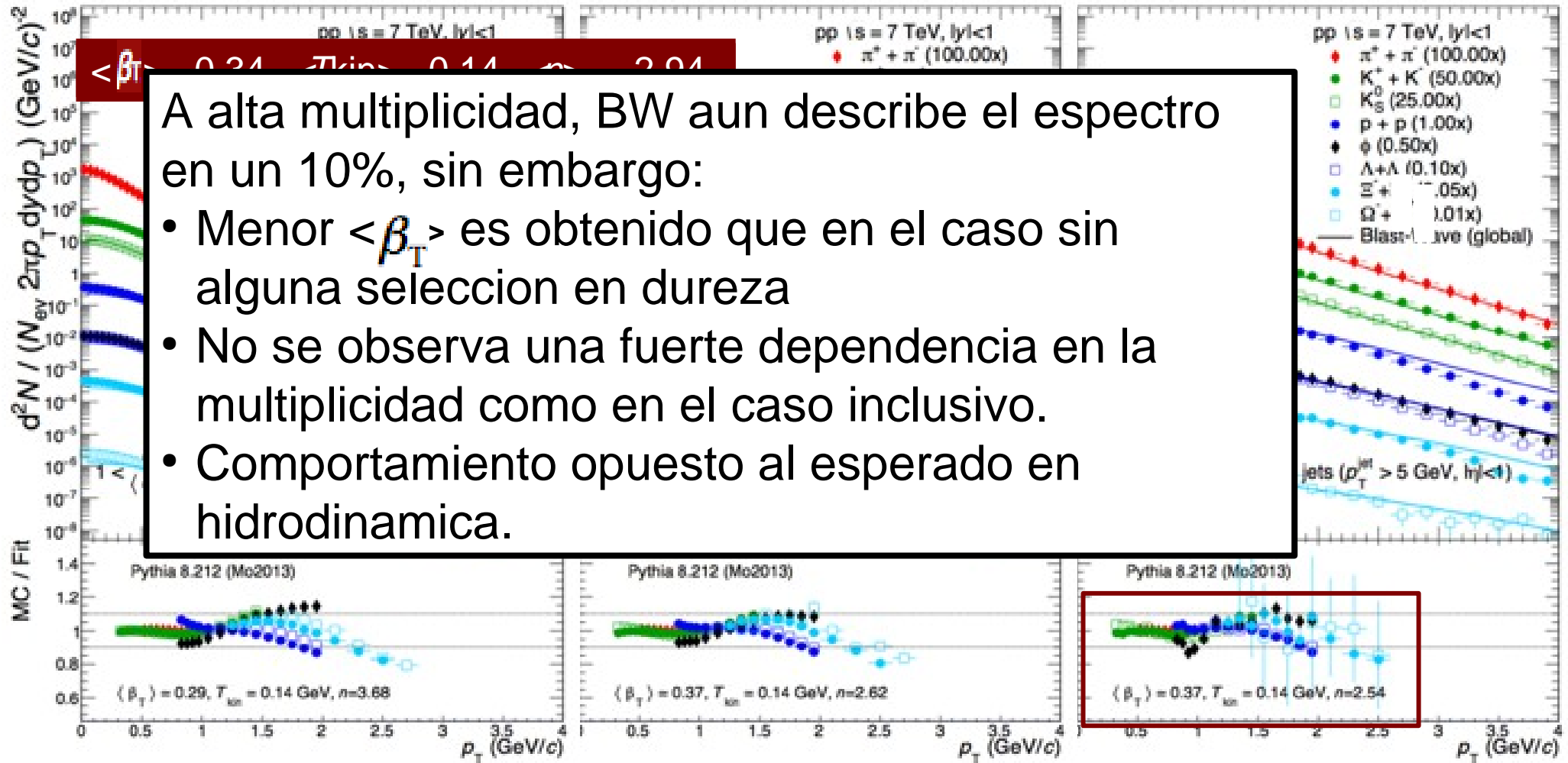
PYTHIA 8



La calidad del ajuste es ligeramente mala & se alcanza un menor $\langle \beta_T \rangle$

A alta multiplicidad, BW aun describe el espectro en un 10%, sin embargo:

- Menor $\langle \beta_T \rangle$ es obtenido que en el caso sin alguna seleccion en dureza
- No se observa una fuerte dependencia en la multiplicidad como en el caso inclusivo.
- Comportamiento opuesto al esperado en hidrodinamica.



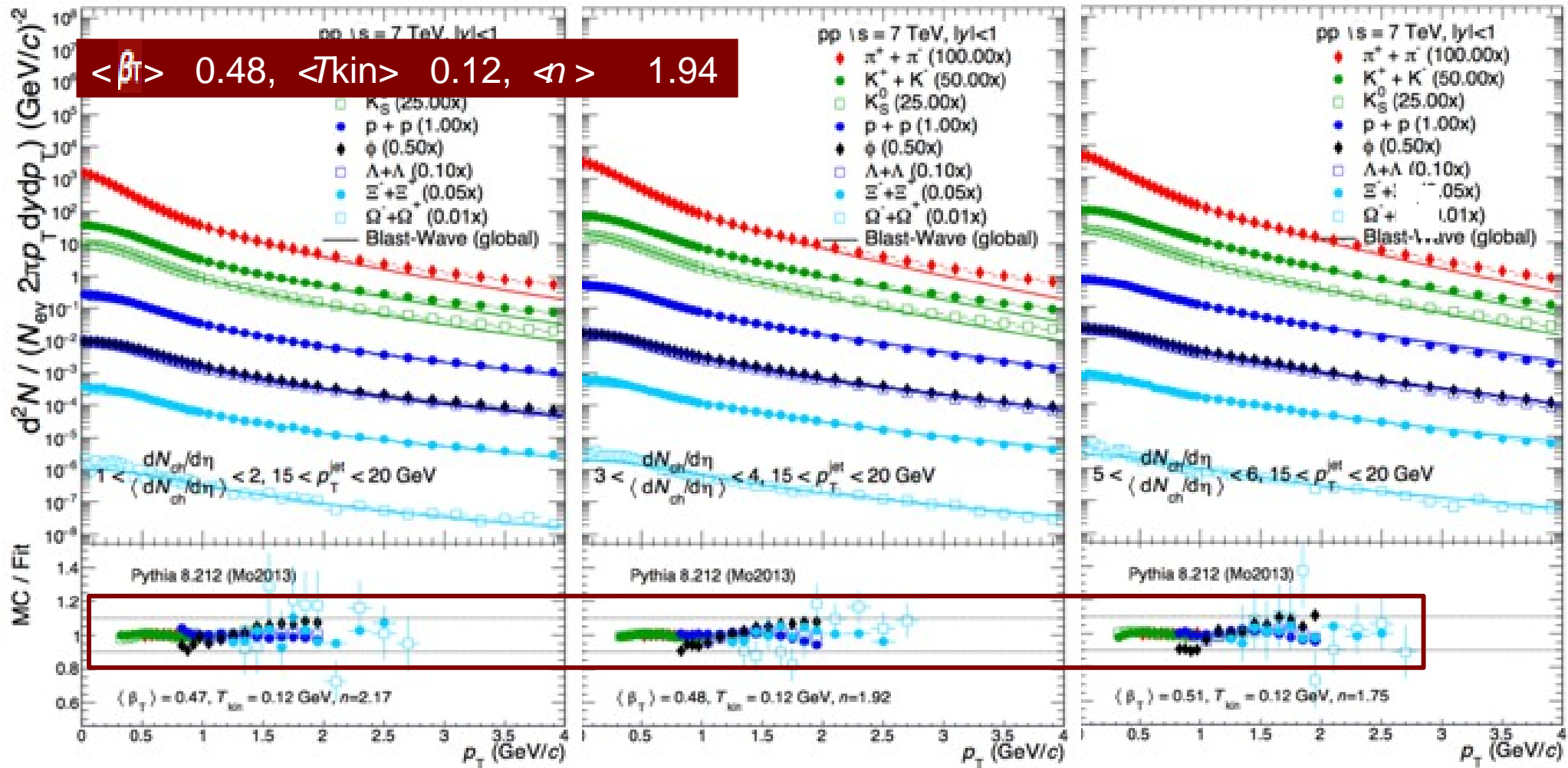
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
16.23

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
38.02

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
59.58

La calidad del ajuste es ligeramente mala & se alcanza un menor $\langle \beta_T \rangle$

15 < pTJet < 20 GeV PYTHIA 8



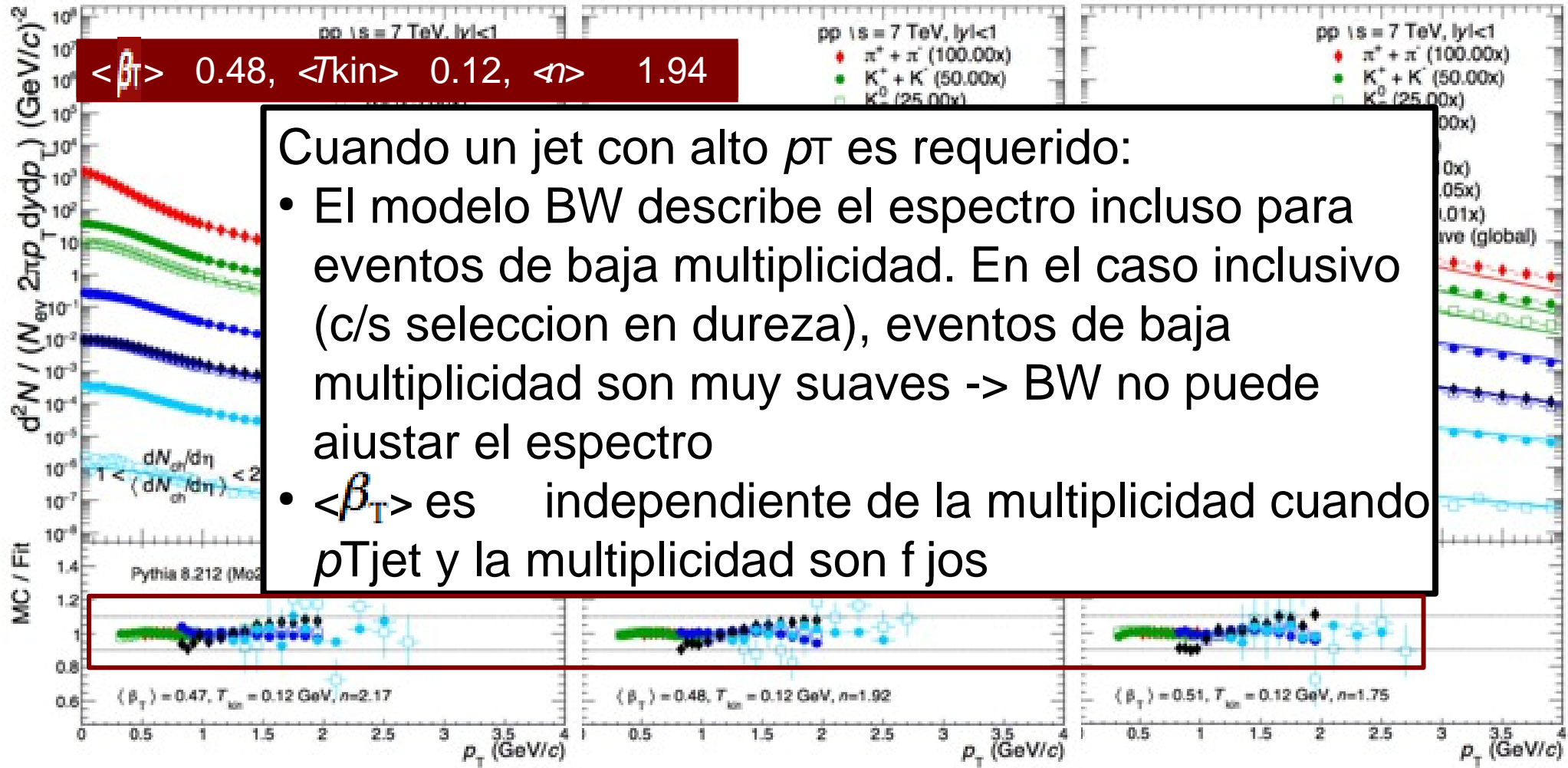
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
18.22

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
39.18

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
60.47

La calidad del ajuste es **mejor** & se alcanza un mayor $\langle \beta_T \rangle$

15 < pTJet < 20 GeV PYTHIA 8



Cuando un jet con alto p_T es requerido:

- El modelo BW describe el espectro incluso para eventos de baja multiplicidad. En el caso inclusivo (c/s seleccion en dureza), eventos de baja multiplicidad son muy suaves -> BW no puede ajustar el espectro
- $\langle \beta_T \rangle$ es independiente de la multiplicidad cuando p_{Tjet} y la multiplicidad son fijos

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
18.22

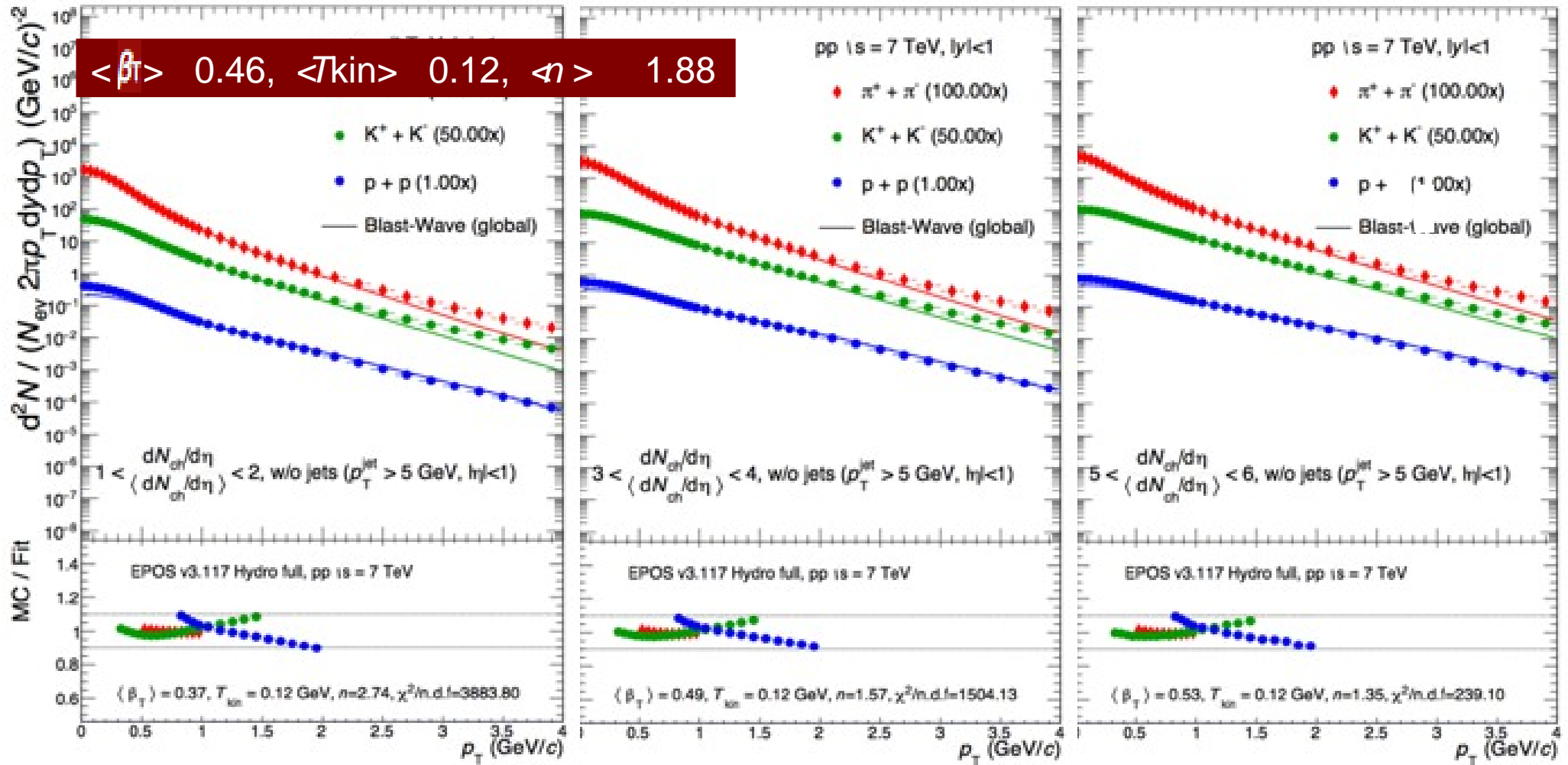
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
38.02

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
59.58

La calidad del ajuste es mejor & se alcanza un mayor $\langle \beta_T \rangle$

Analysis ρ_T vs N_{ch}

EPOS 3



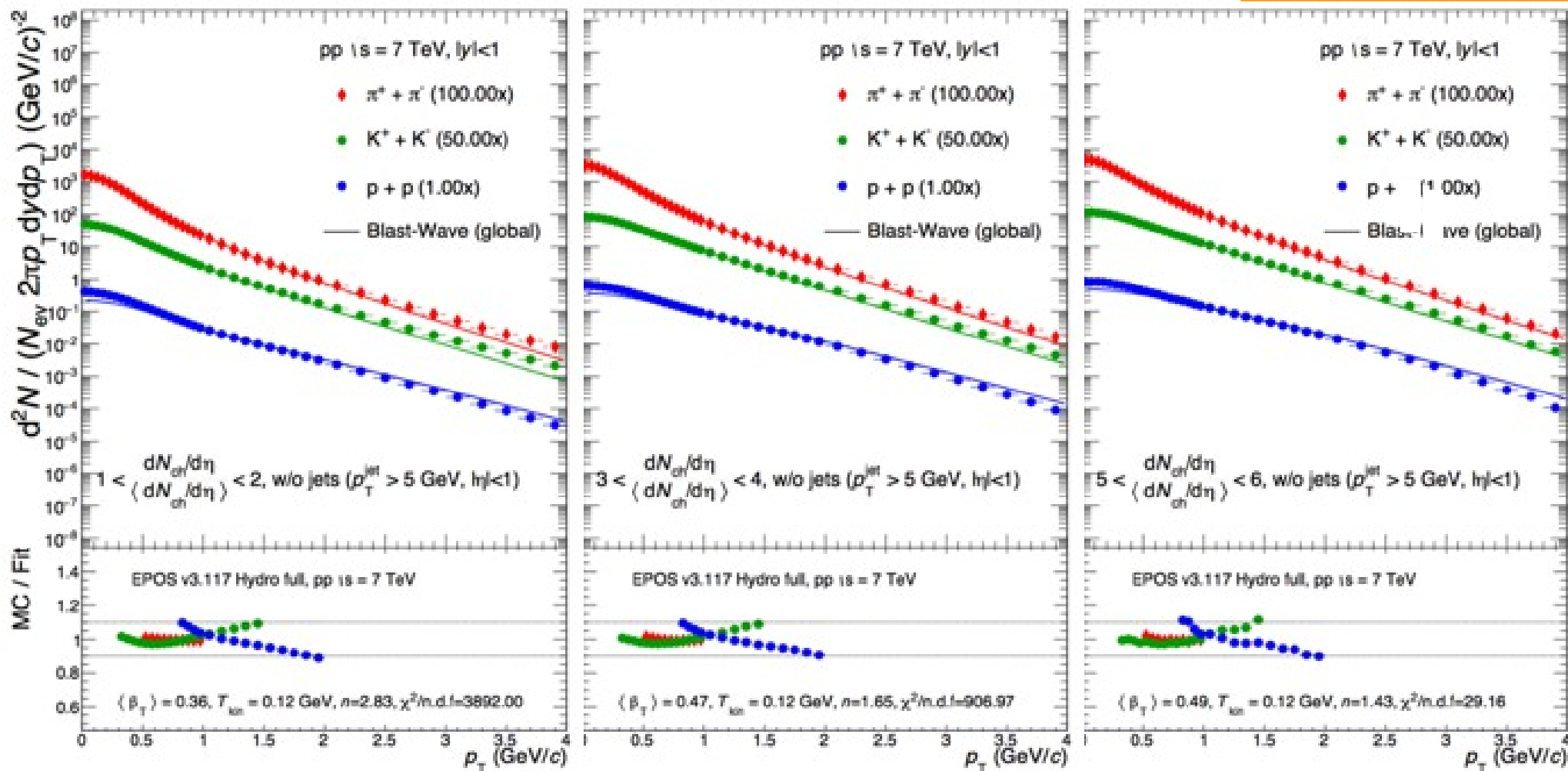
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
15.27

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
35.12

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
56.06

Sin Jets

EPOS 3



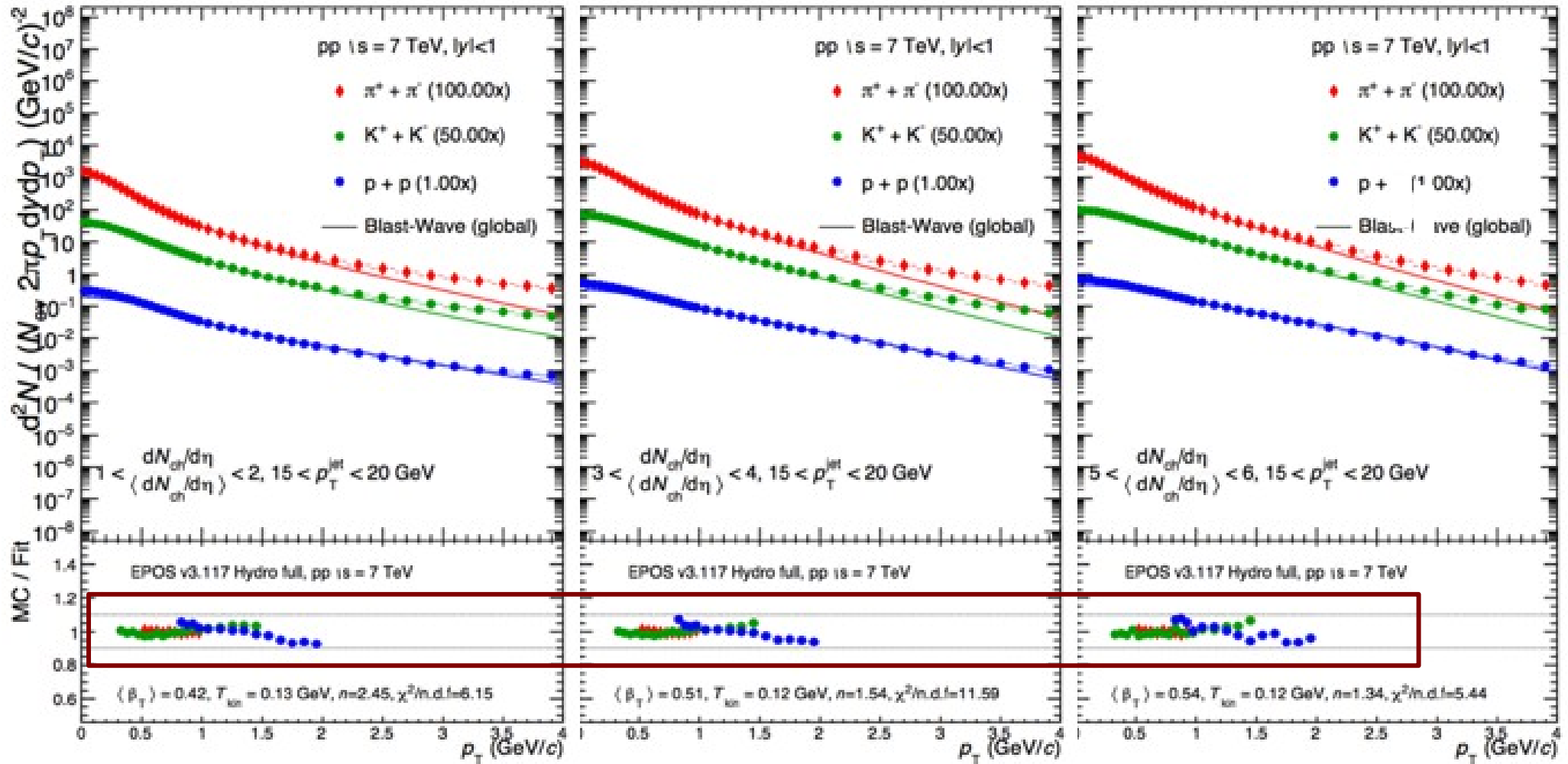
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
15.15

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
34.71

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
55.18

15 < pTJet < 20 GeV

EPOS 3



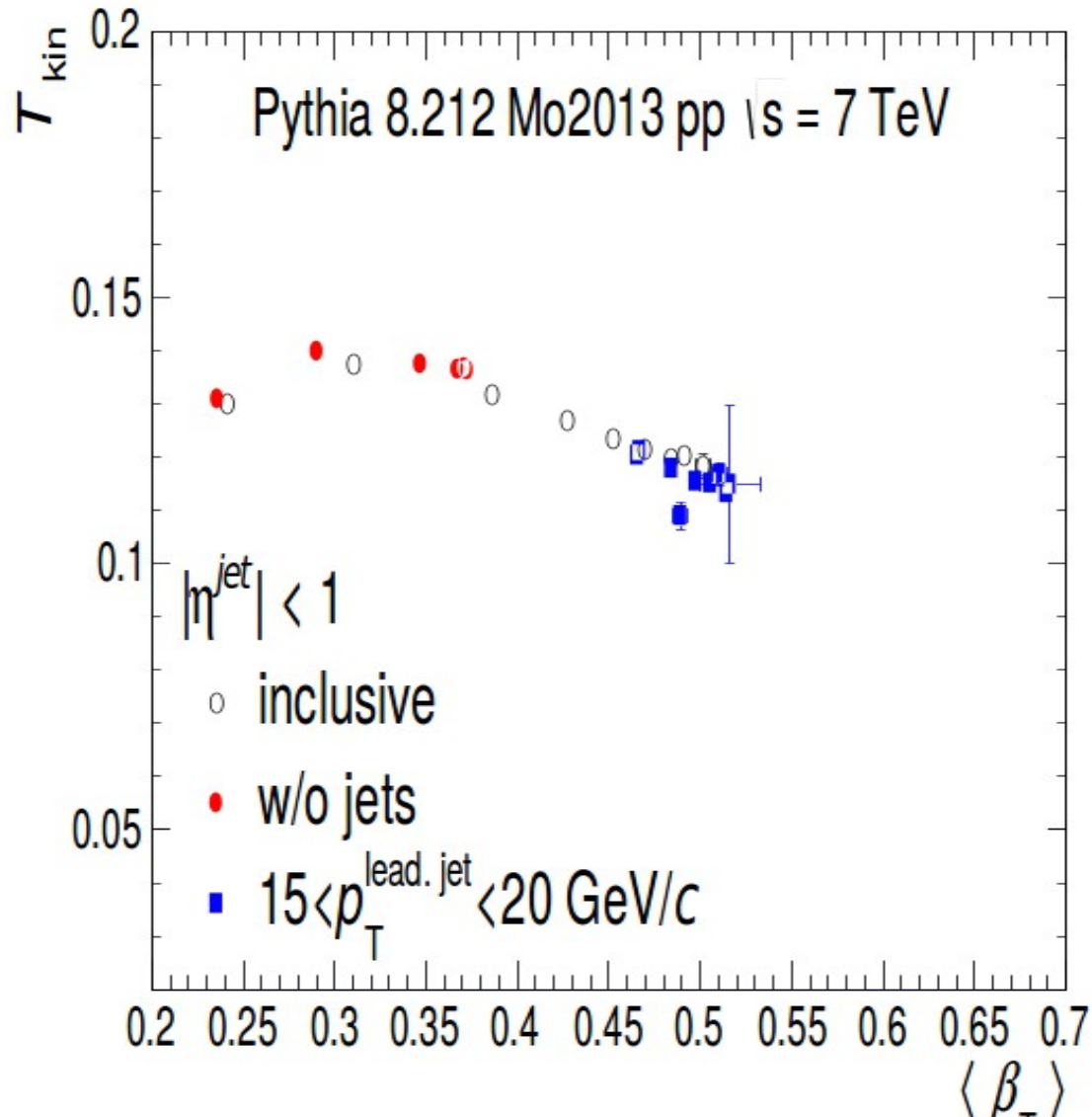
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
16.39

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
35.56

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
56.27

La calidad del ajuste es mejor & se alcanza un mayor $\langle \beta_T \rangle$ (mayor dependencia en multiplicidad que en Pythia)

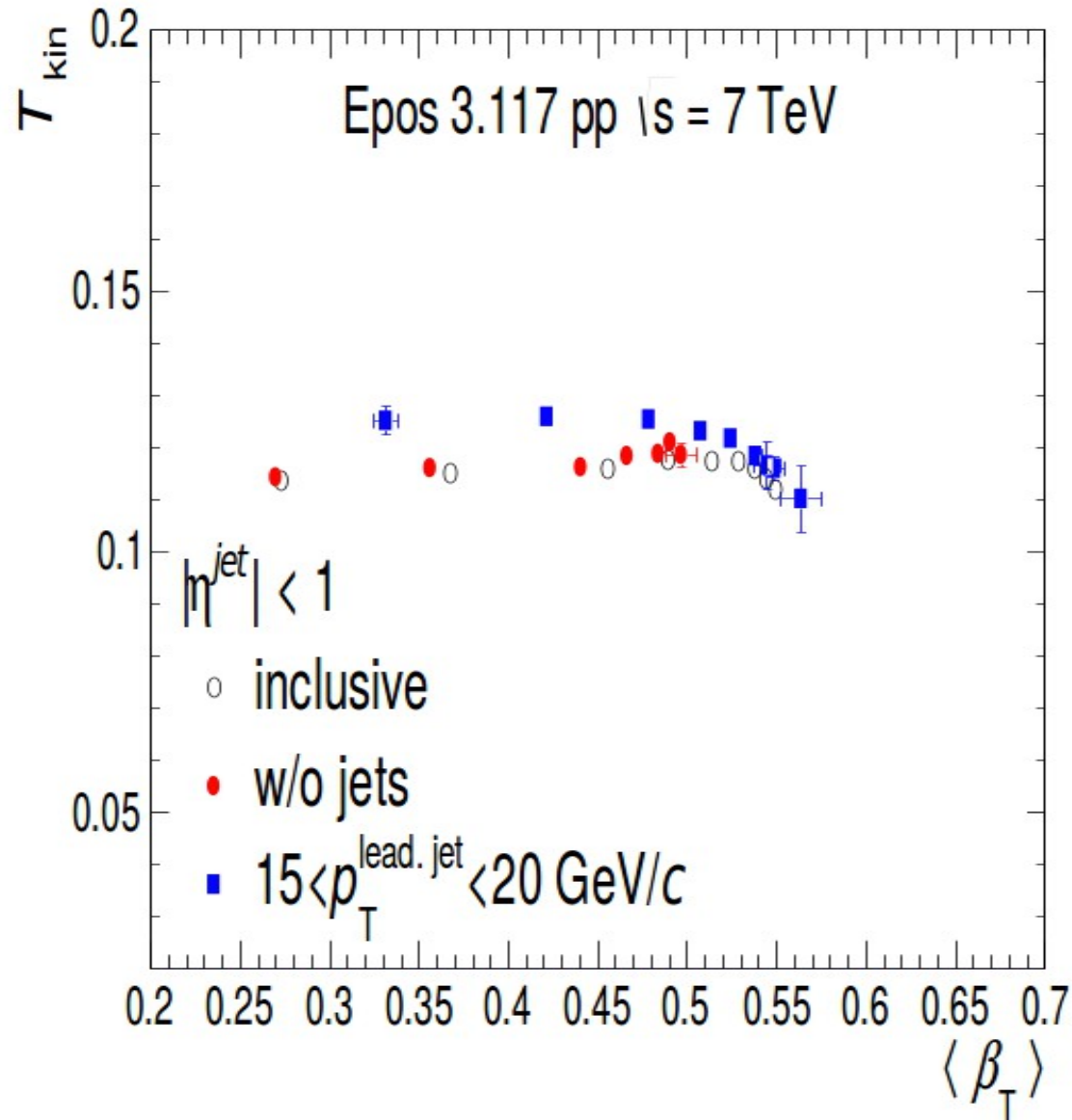
T_{kin} VS $\langle \beta_T \rangle$



Cualitativamente similar al obtenido usando la variable de forma:

esfericidad E. Cuautle, G. Paic and Antonio. Ortiz., NPA 941 (2015) 78-86

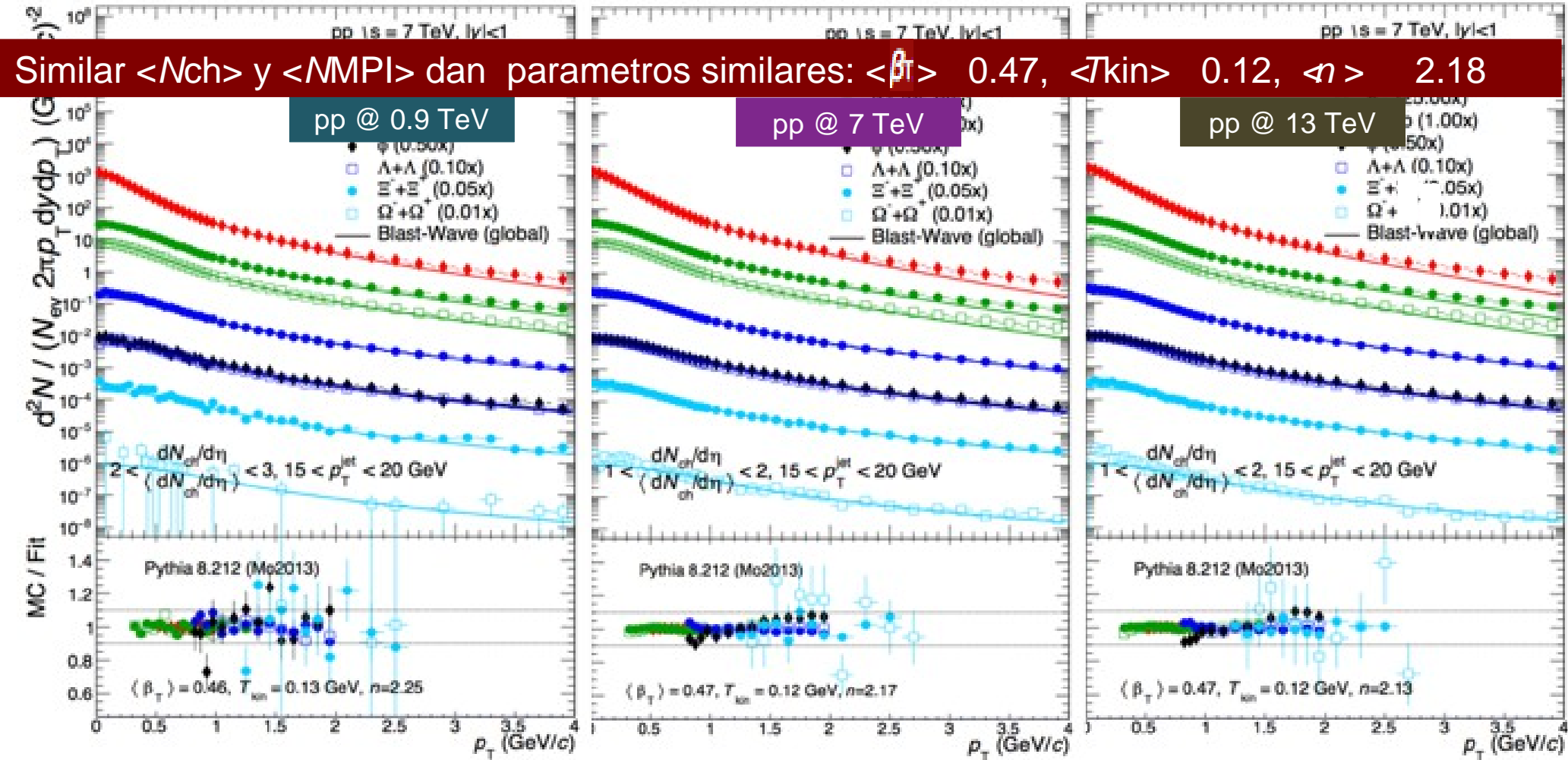
T_{kin} VS $\langle \beta_T \rangle$



- Efectos de los jets parecen ser menores que en Pythia
- Siempre observamos una fuerte dependencia en multiplicidad

Dependencia de la Energia

15 < pTJet < 20 GeV PYTHIA 8

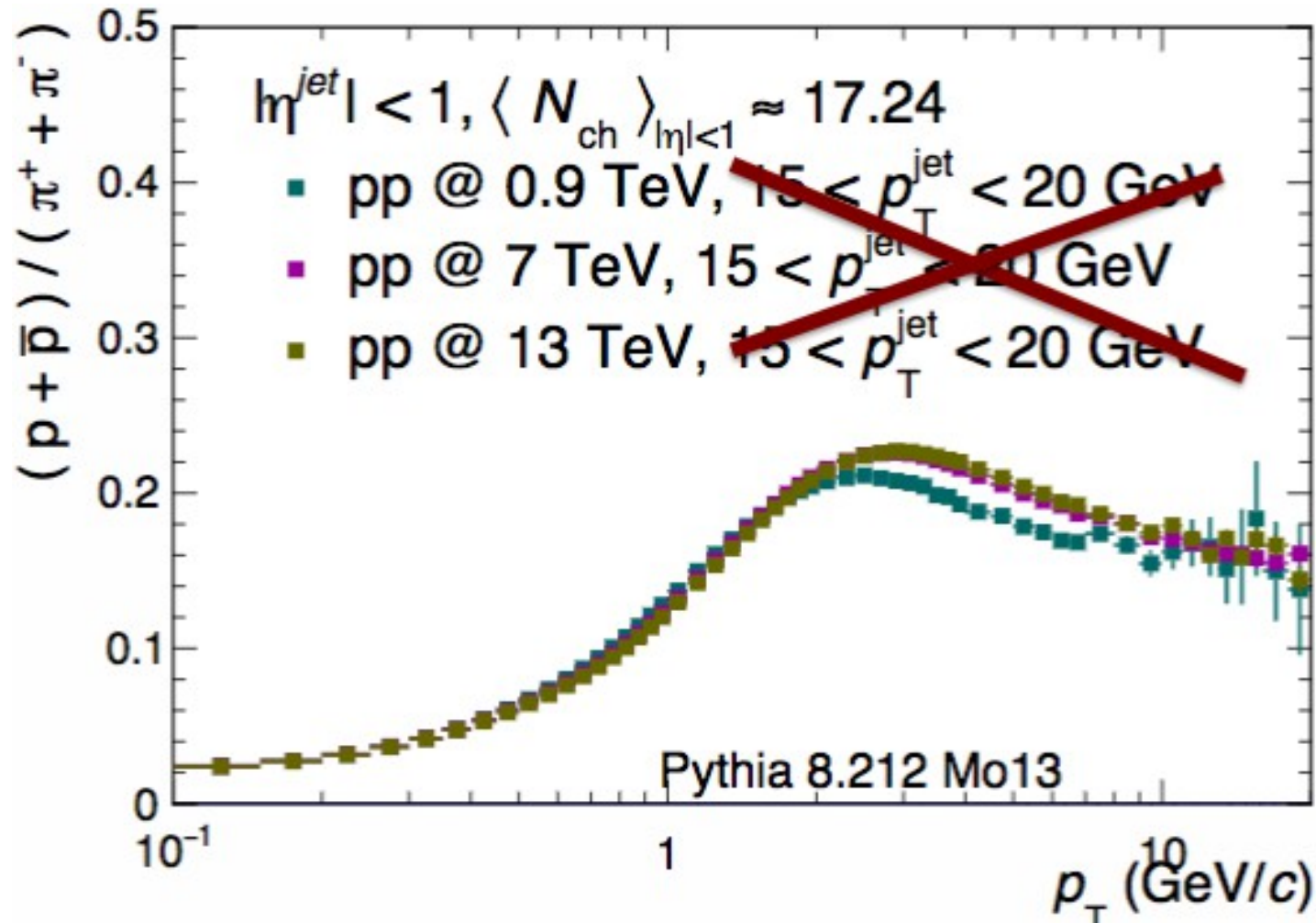


$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
 15.65
 $\langle MMPI \rangle$ 3.53

$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
 17.72
 $\langle MMPI \rangle$ 4.14

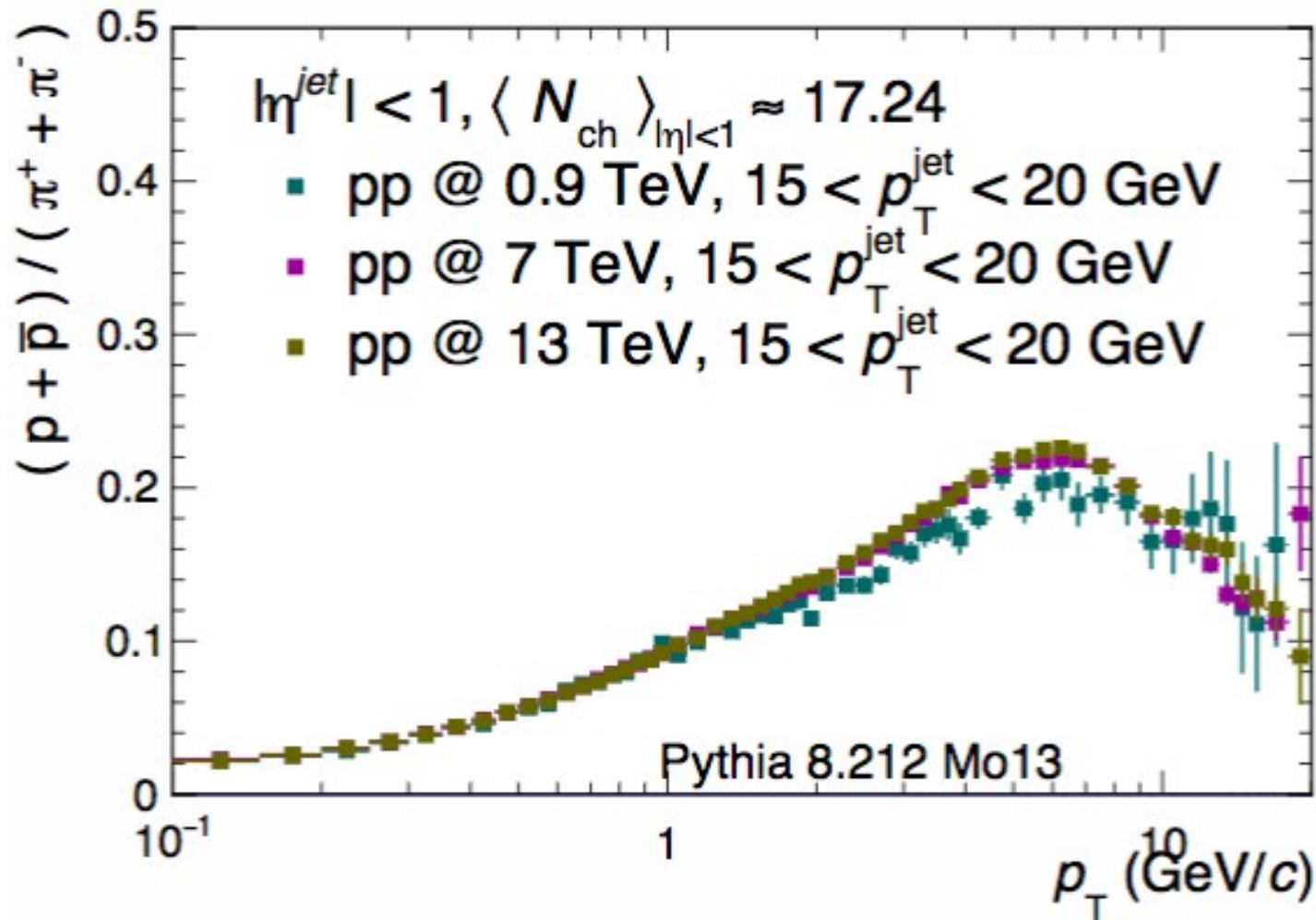
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
 18.35
 $\langle MMPI \rangle$ 4.26

ρ/π vs. ρ_T



Sin la condicion de requerimiento de jets la razon se ve mas diferente debido a los diferentes sesgos.

ρ/π vs. p_T



La razon proton-pion muestra casi nunguna dependencia con p_T (La posicion del pico de p_T es la misma para los 3 sistemas)

Conclusiones

El efecto de CR, incrementa las razones proton-pion (una evidencia relacionada con el flujo) en especial a alta multiplicidad.

Para ambos Monte Carlos:

Se obtiene menor $\langle \beta_T \rangle$ para el caso sin jets, que en el caso inclusivo.
Se obtiene el mayor $\langle \beta_T \rangle$ para el caso con jets.

Para Pythia8 y eventos con/sin jets no se muestra una fuerte dependencia en la multiplicidad como para EPOS3.

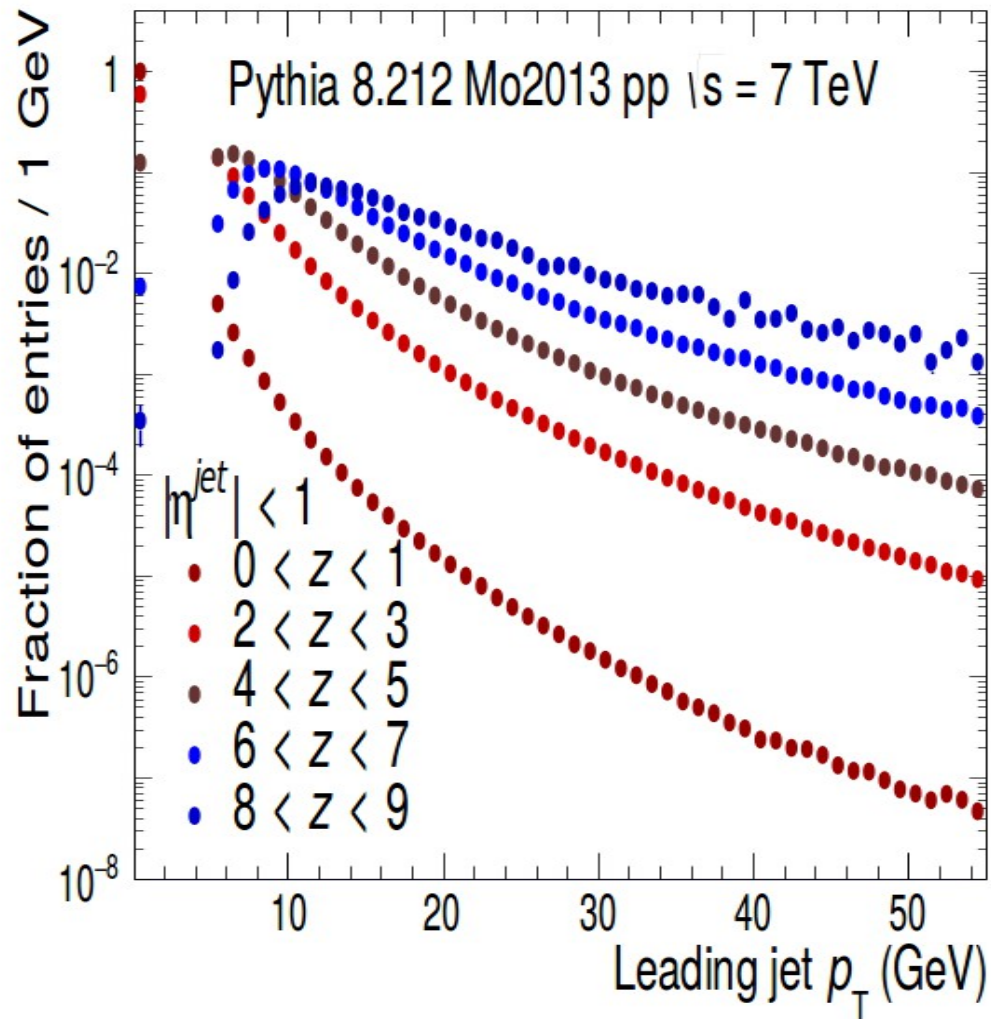
Para el caso de EPOS3 no hay una separación clara como en el caso de Pythia8 en los eventos con jets que los eventos sin jets en la correlación T_{kin} vs $\langle \beta_T \rangle$
Quizá debido a que la evolución hidrodinámica trata por igual a jets que a eventos sin estos, por el contrario CR que produce un efecto tipo flujo está presente y realza el efecto de los jets

Muchas gracias!

Se agradece los utiles comentarios con:
Arturo Fernandez, Irais Bautista, Eleazar Cuautle & Guy Paic.

backup

p_{Tjet} vs multiplicidad



$\langle z \rangle$	$\langle p_{Tjet} \rangle$ (GeV/c)
0.5	7.09
1.5	7.49
2.5	7.83
3.5	8.48
4.5	9.55
5.5	11.1
6.5	13.2
7.5	15.85

Entre mayor multiplicidad del evento, mayor es el promedio del p_{Tjet}