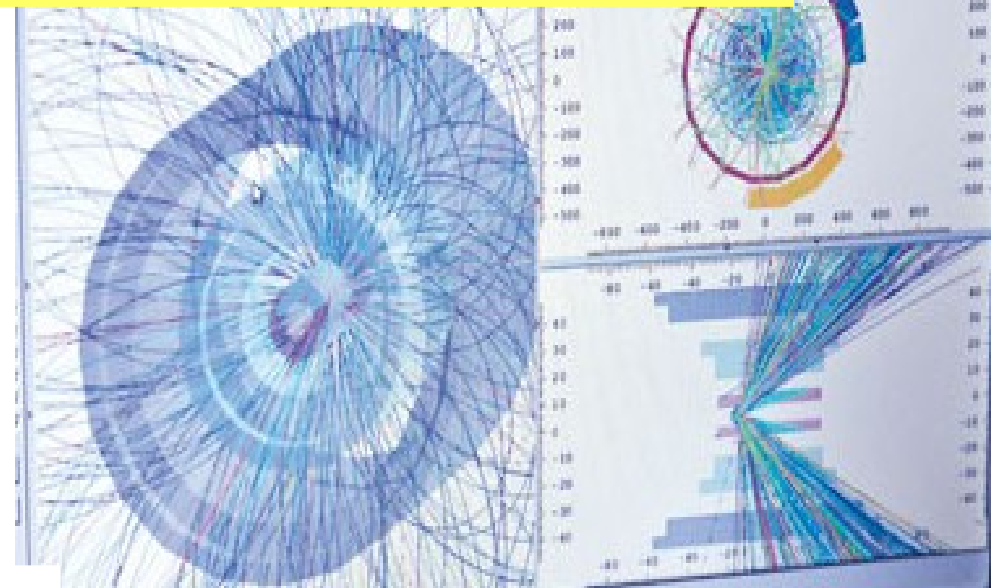
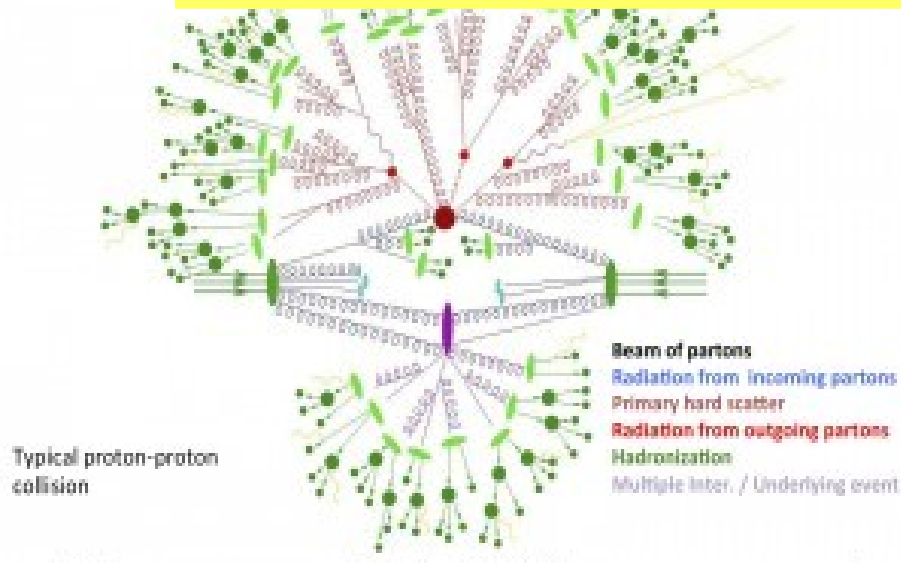


XXX REUNIÓN ANUAL DIVISIÓN DE PARTÍCULAS Y CAMPOS Sociedad Mexicana de Física



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.

Parte de la charla puede encontrarse en:
Héctor Bello et al, arXiv:1603.05213

Outline

- **Introducción**

- Ajuste Blast Wave

- Reconexión por color (Pythia8)

- Hidrodinámica (EPOS 3)

- **Herramientas**

- **Producción de partículas como función de la multiplicidad y dureza del evento**

- p/π vs. p_T

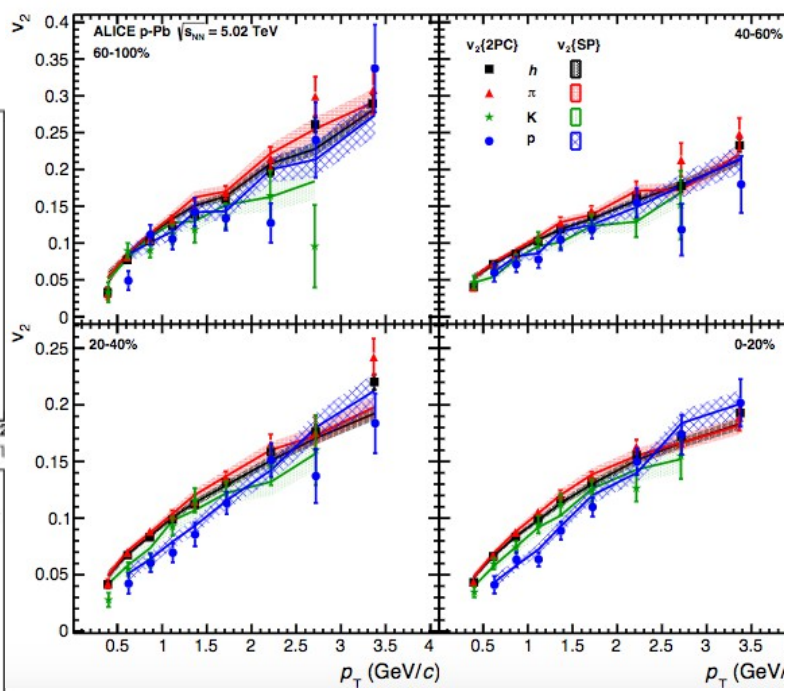
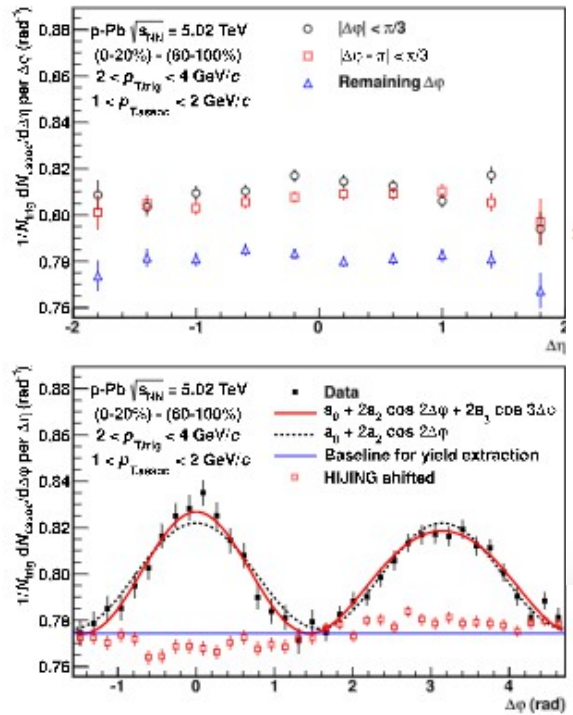
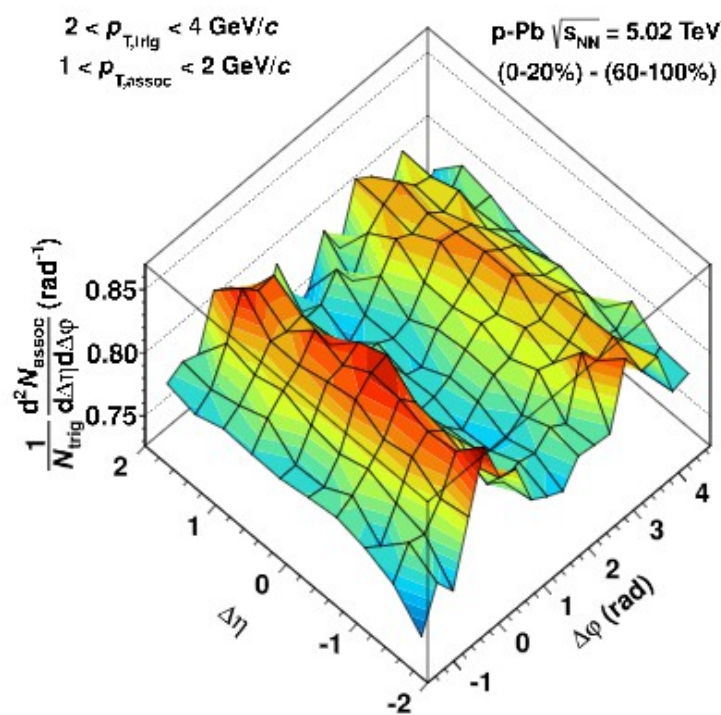
- p_T vs Nch para: inclusivo, sin jets y con jets Pythia8 & EPOS3

- **Conclusiones**

Introducción

Los sistemas pequeños como los formados en colisiones pp y pPb han atraído la atención 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 discusión.
- Más estudios diferentes son necesarios.



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

Introducción

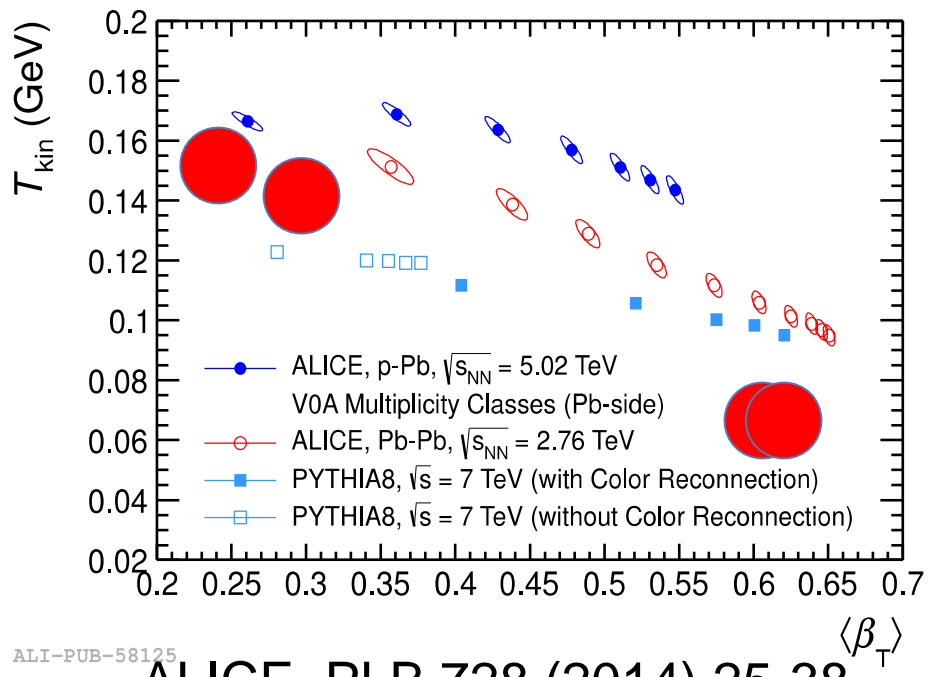
Blast-Wave, inspirado en hidrodinámica

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

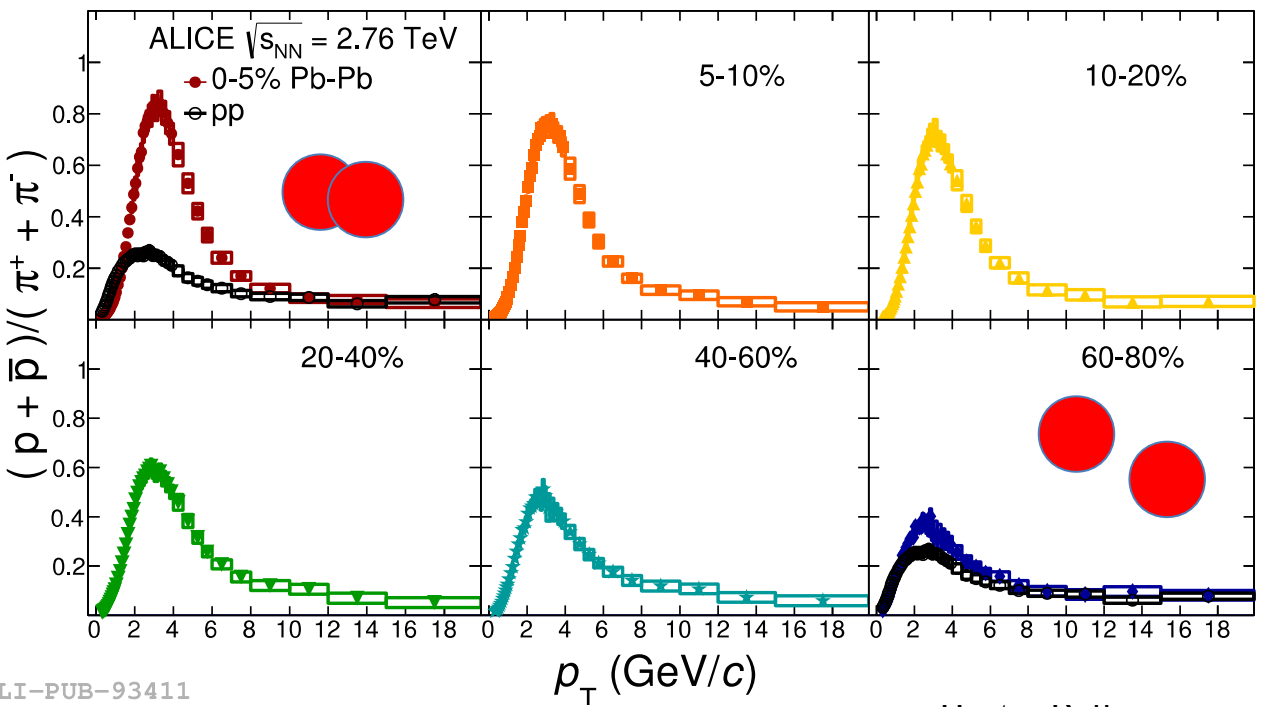
$$\rho = \tanh^{-1} \beta_T = \tanh^{-1} \left(\left(\frac{r}{R} \right)^n \beta_s \right)$$

Describe el espectro de p_T para partículas identificadas en

- Datos p-Pb y Pb-Pb

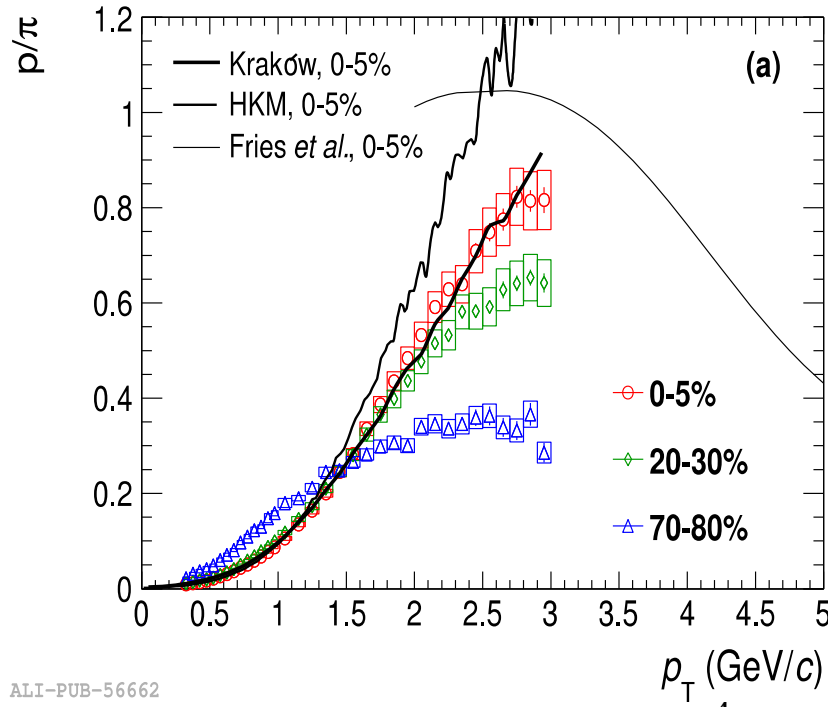


ALICE, PLB 728 (2014) 25-38



ALICE, arXiv:1506.07287

Hector Bello



ALICE, PRC 88 (2013) 044910

Introducción

Blast-Wave, inspirado en hidrodinámica

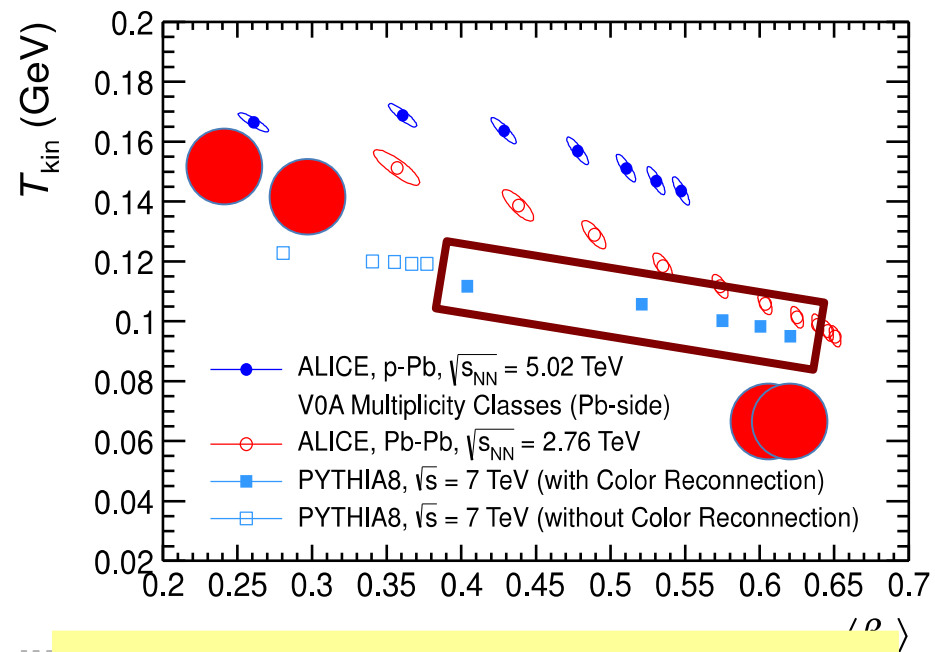
$$\frac{1}{p_T} \frac{dN}{dp_T} \propto \int_0^R r dr m_T I_0 \left(\frac{p_T \sinh \rho}{T_{\text{kin}}} \right) K_1 \left(\frac{m_T \cosh \rho}{T_{\text{kin}}} \right)$$

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

Describe el espectro de p_T para partículas identificadas en:

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

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



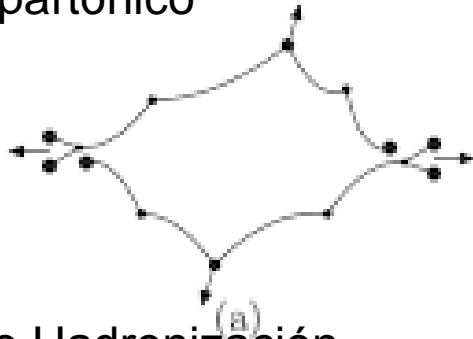
ALICE, PLB 728 (2014) 25-38

Introducción

Reconexión por Color (PYTHIA8)

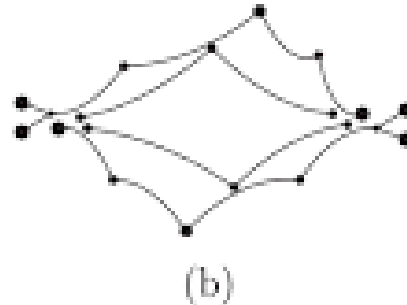
• Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)

1er sistema partónico

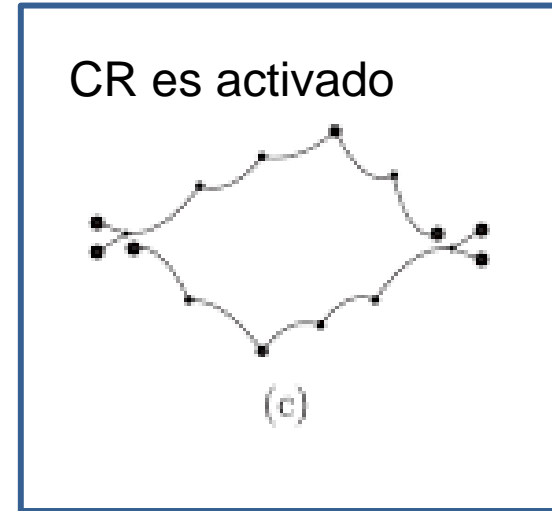


Modelo de Hadronización.

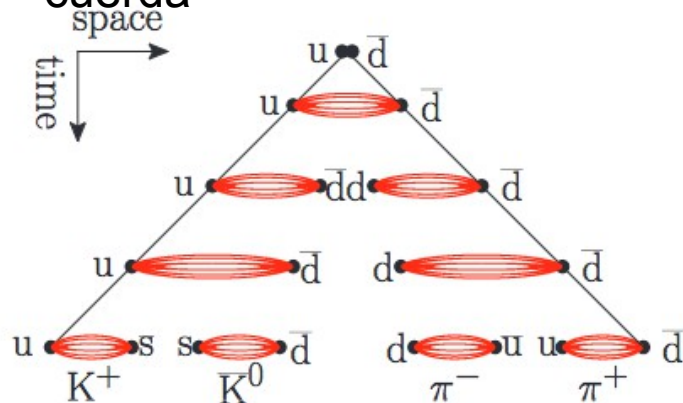
+2º sistema partónico



CR es activado

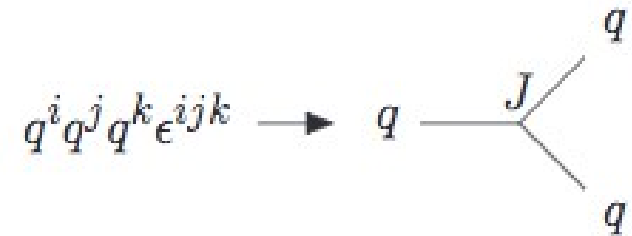


Modelo de fragmentación de cuerda

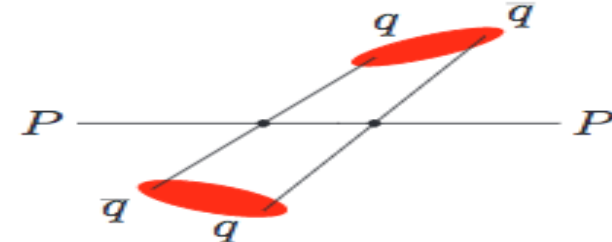


Reglas de QCD nos dicen que reconexiones se permiten (tensor de color épsilon)

La longitud mínima de la cuerda nos dice la configuración .



After colour reconnection



Hector Bello

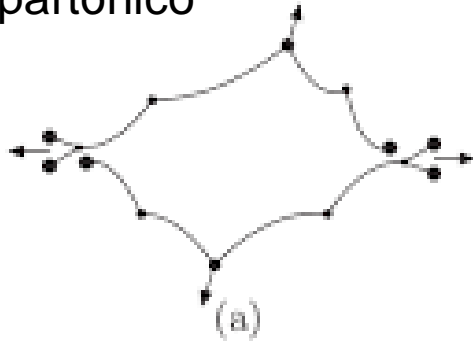
From: Jesper Roy Christiansen MPI@LHC 2014

Introducción

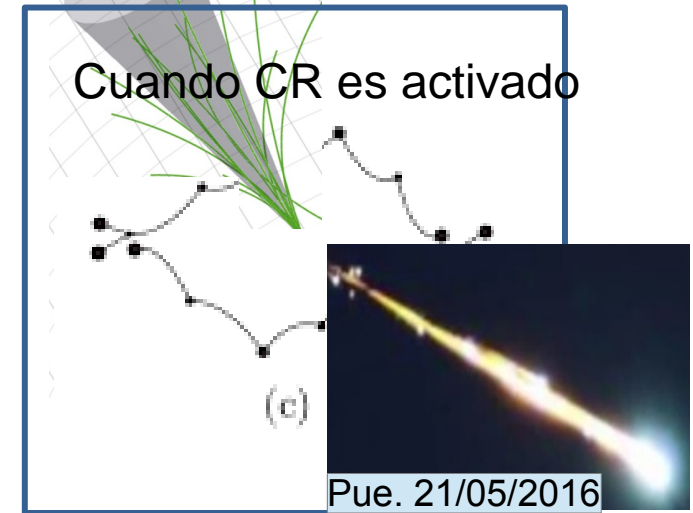
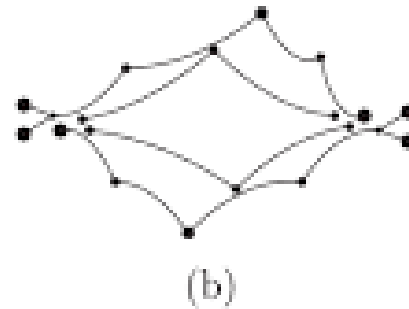
Reconexión por Color (PYTHIA8)

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

1er sistema
partónico



+2º sistema
partónico



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

- Cuanto más N_{MPI} mayor es el efecto tipo flujo.

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

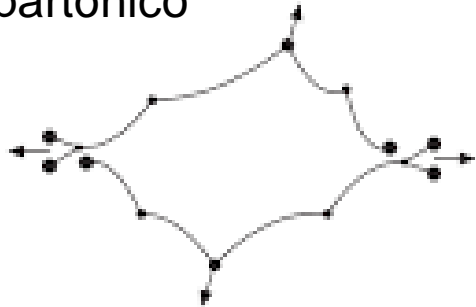
- ¿Podemos cuantificar los efectos de jets a alto p_T ?

Introducción

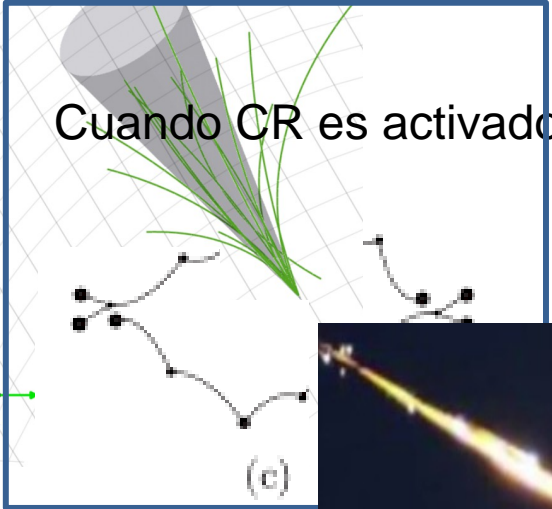
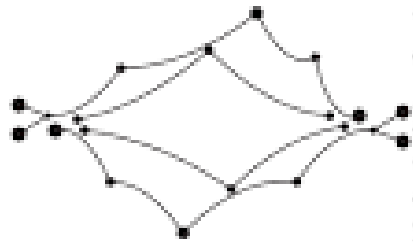
Reconexión por Color (PYTHIA8)

· 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 partónico



+2º sistema partónico



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

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

Rango de Reconexión (RR): 0-10
 Tune Monash 2013: $RR \times p_{T0}$: 3

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

Introducción

Reconexión 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 función 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 interacción dura (normalmente $2 \rightarrow 2$)
Puede juntarse con uno de escala mas dura con una probabilidad que es:

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

Rango de Reconexión (RR): 0-10
Tune Monash 2013: $RR \times p_{T0}$: 3

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

Introducción

Hidrodinámica (EPOS 3)

Modelo con:

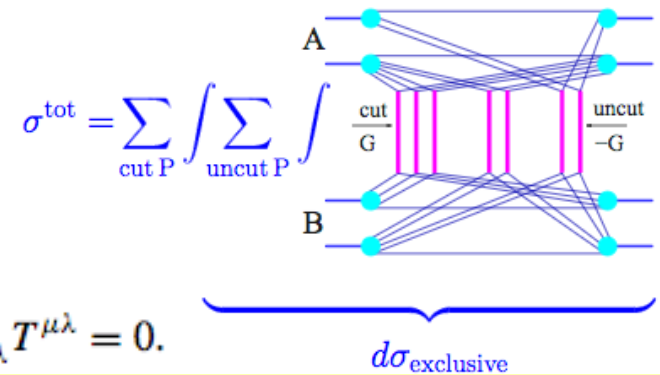
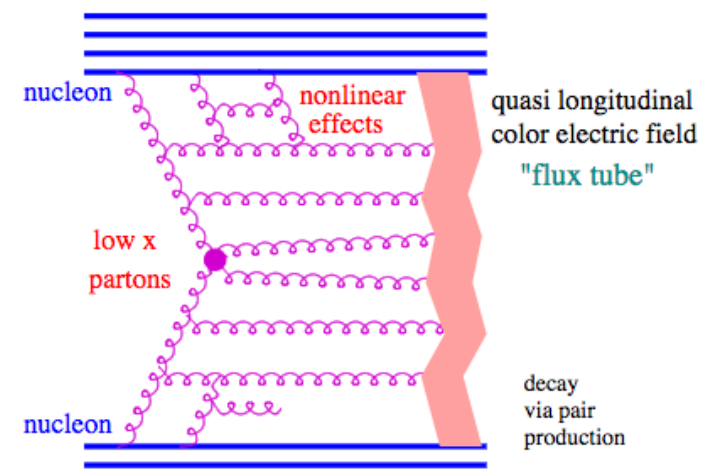
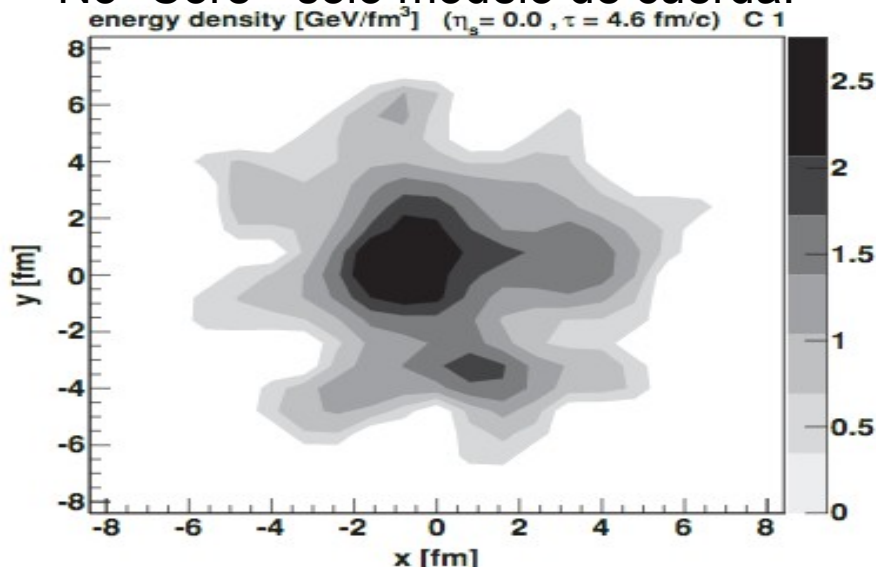
- E**nergía conservada en dispersión múltiple
- P**artón, escaleras partónicas (Gribov–Regge Theory)
- O**ff-shell, remanentes
- S**aturación

Separación “Core-corona”

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

Con “Core”=Hidrodinámica

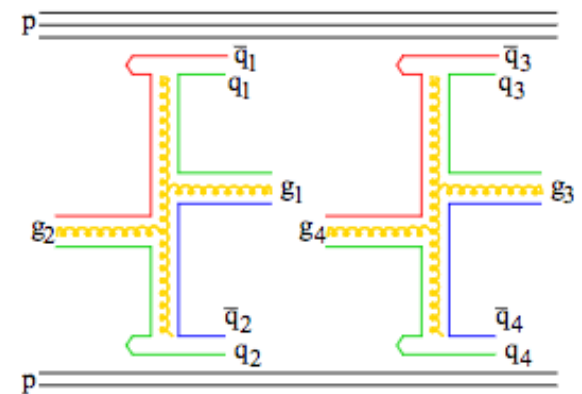
No “Core”=solo modelo de cuerda.



$$\partial_{;\nu} T^{\mu\nu} = \partial_\nu T^{\mu\nu} + \Gamma_{\nu\lambda}^\mu T^{\nu\lambda} + \Gamma_{\nu\lambda}^\nu T^{\mu\lambda} = 0.$$

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

Tubos de flujo de color, para intercambio de doble Pomeron



Introducción

Hidrodinámica (EPOS 3)

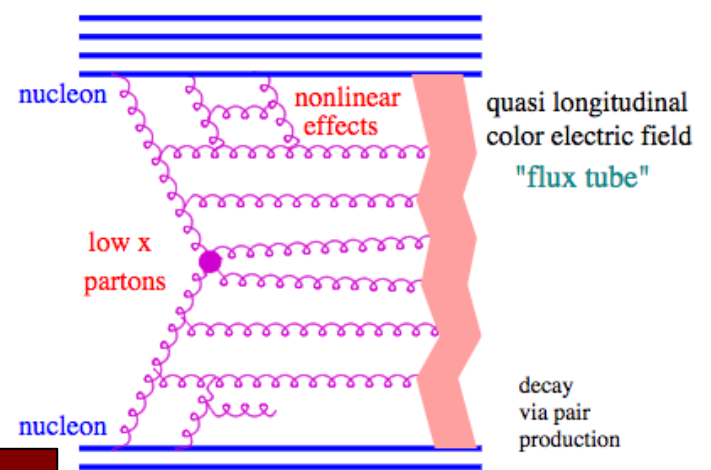
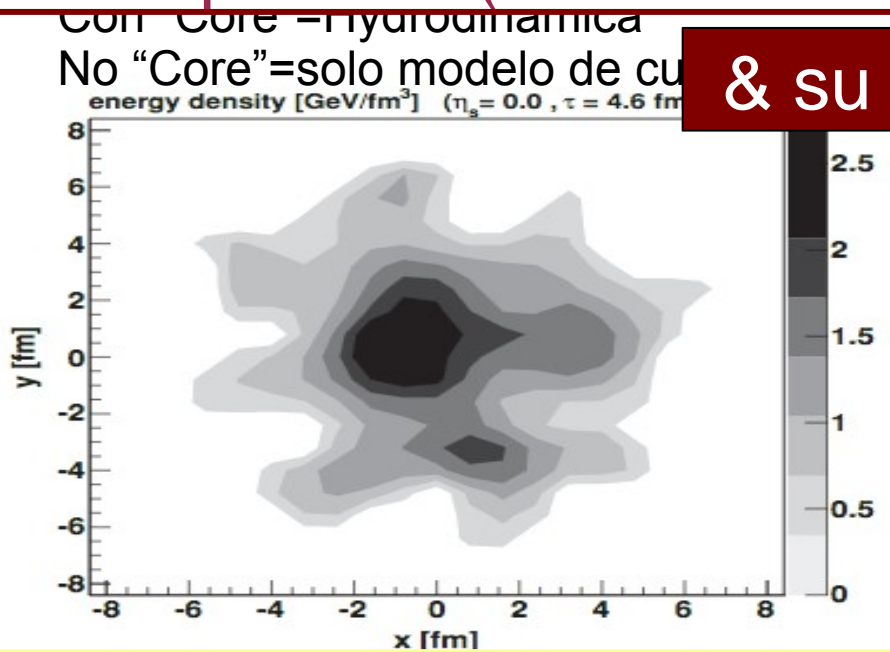
Modelo con:

- E**nergía conservada en dispersión múltiple
- P**artón, escaleras partónicas (Gribov–Regge Theory)
- O**ff-shell, remanentes

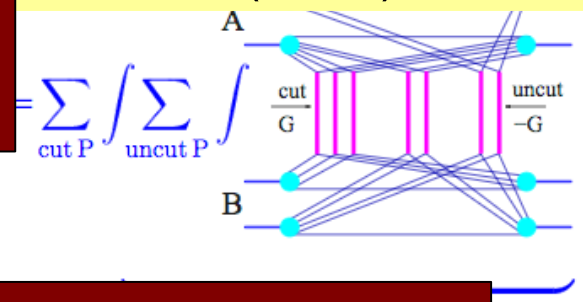
Estudiaremos las propiedades de los eventos pp generados con EPOS como función de:

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

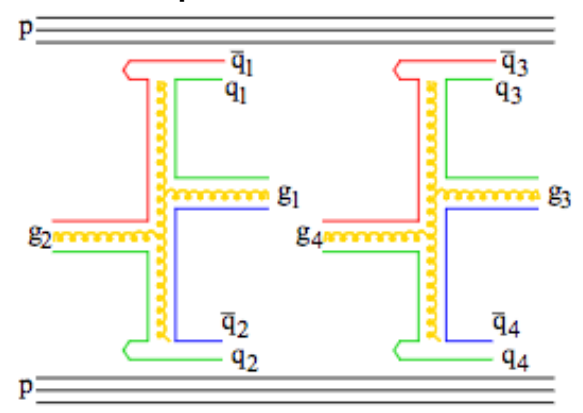
& su contenido de jets



, PRC89 (2014) 6, 064903



Tubos de flujo de color, para intercambio de doble Pomerón



Hector Bello

11

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

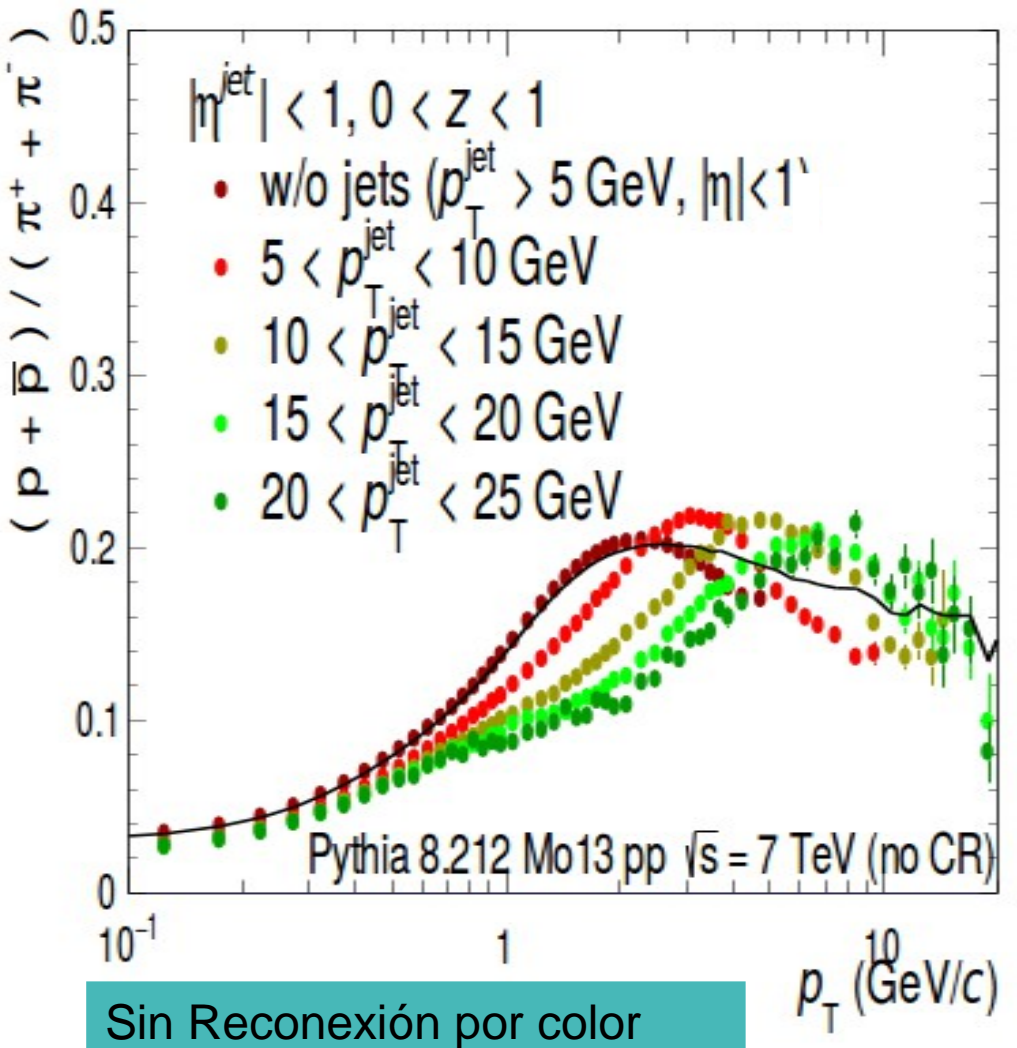
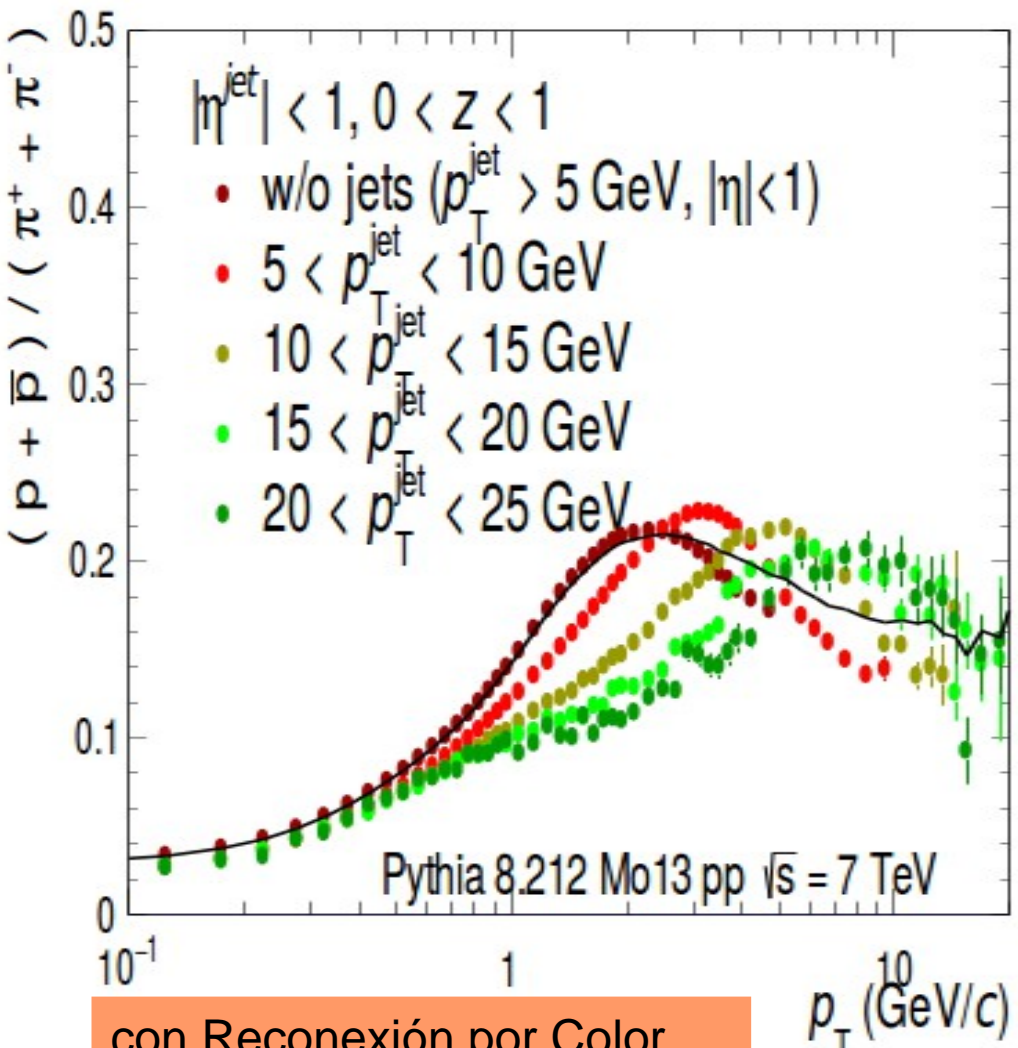
Jet Finder: FastJet 3.1.3,

- 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

Producción de partículas como función de la multiplicidad del evento y su dureza



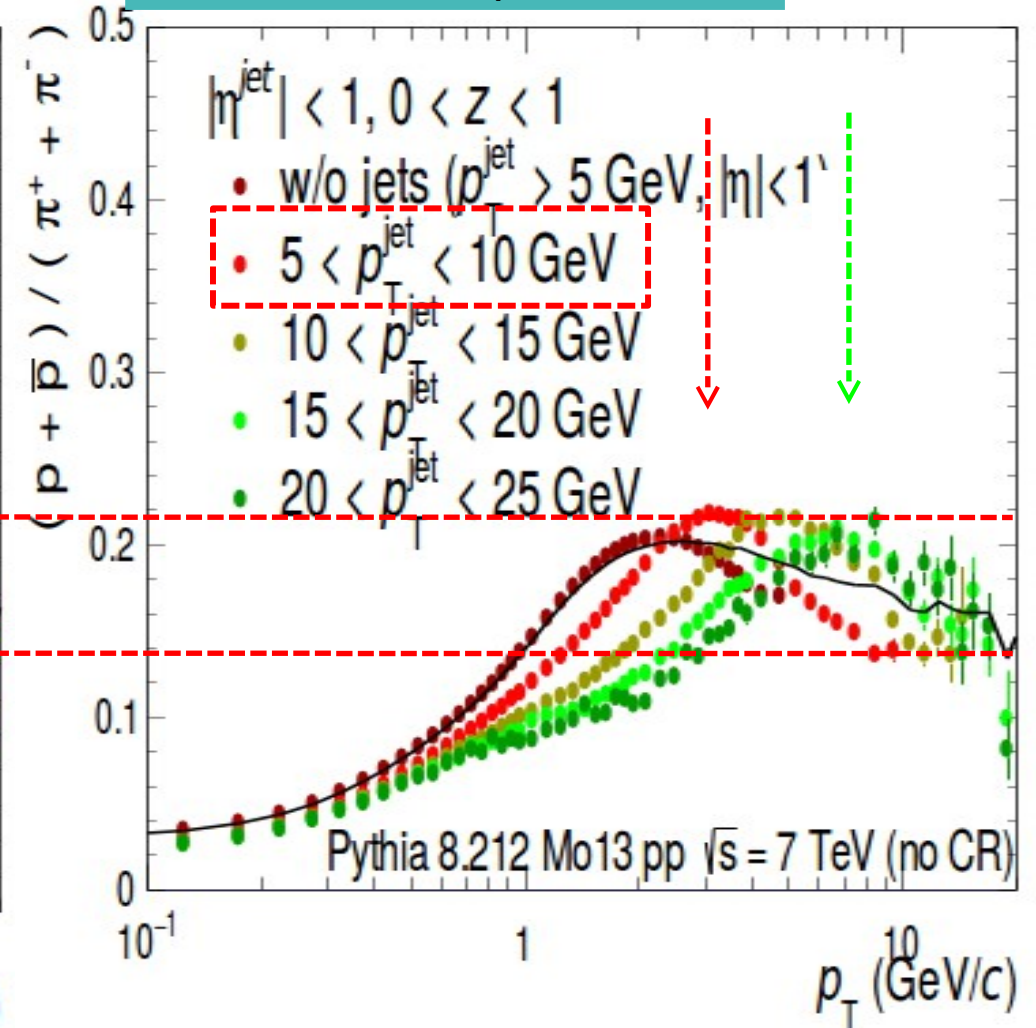
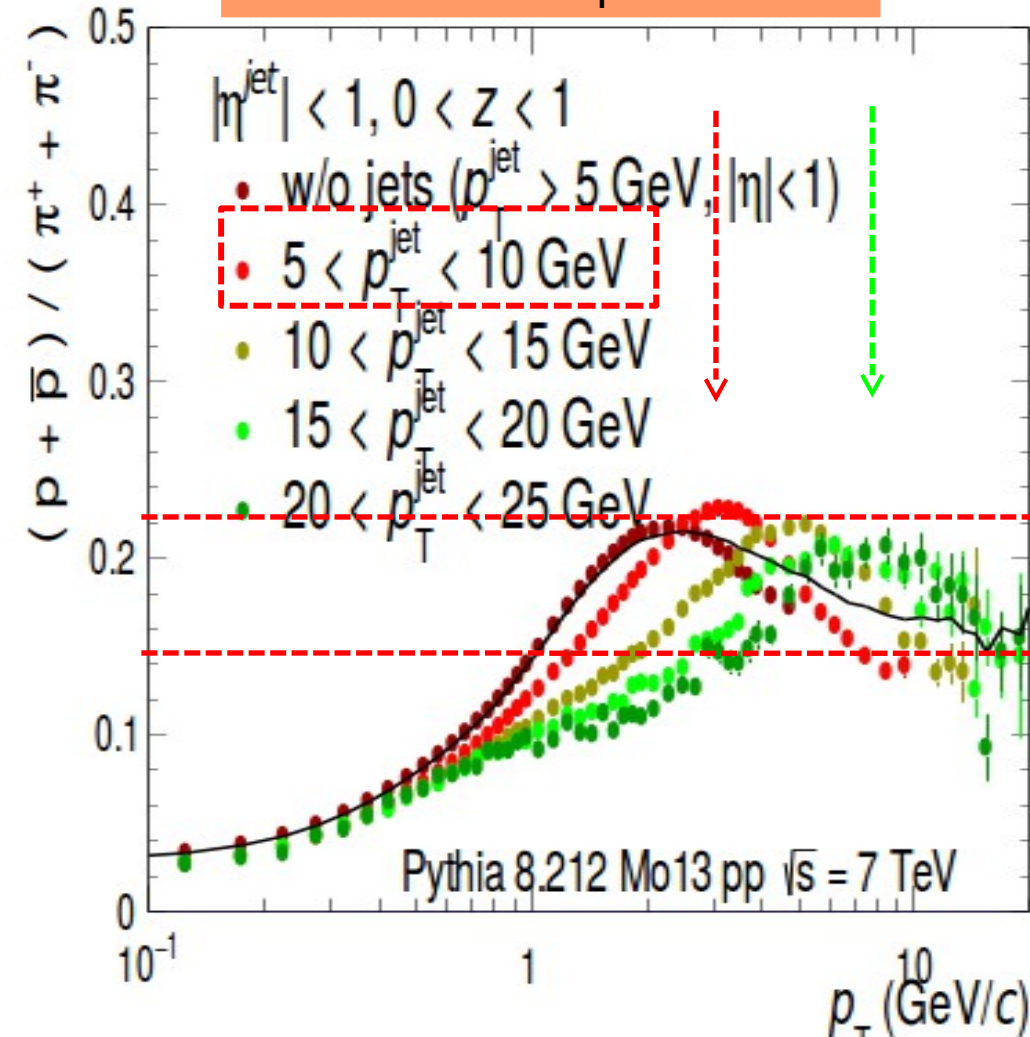
ρ/π vs. ρ_T (baja multiplicidad)

PYTHIA 8

ρ/π vs. $\rho\tau$ (baja multiplicidad)

con Reconexión por Color

Sin Reconexión por color

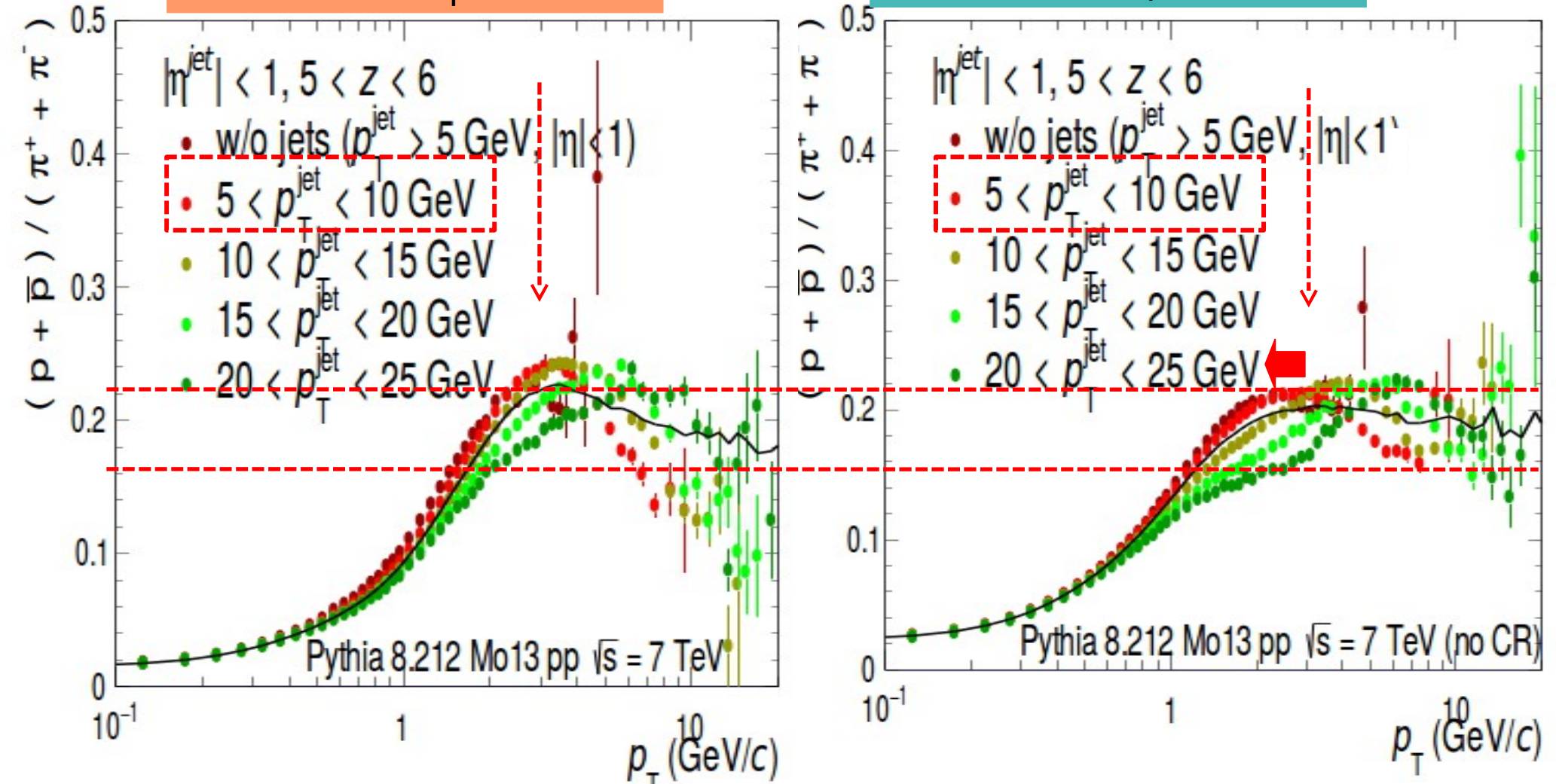


- Efectos de reconexión por color se observan para $p_{T\text{jet}} < 10 \text{ GeV}$.
- La posición del pico es desplazada a alto p_T cuando incrementa $p_{T\text{jet}}$. El desplazamiento es acompañado por un incremento en $\langle \beta_T \rangle$ (En el Blast-Wave).

ρ/π vs. ρ_T (alta multiplicidad)

con Reconexión por Color

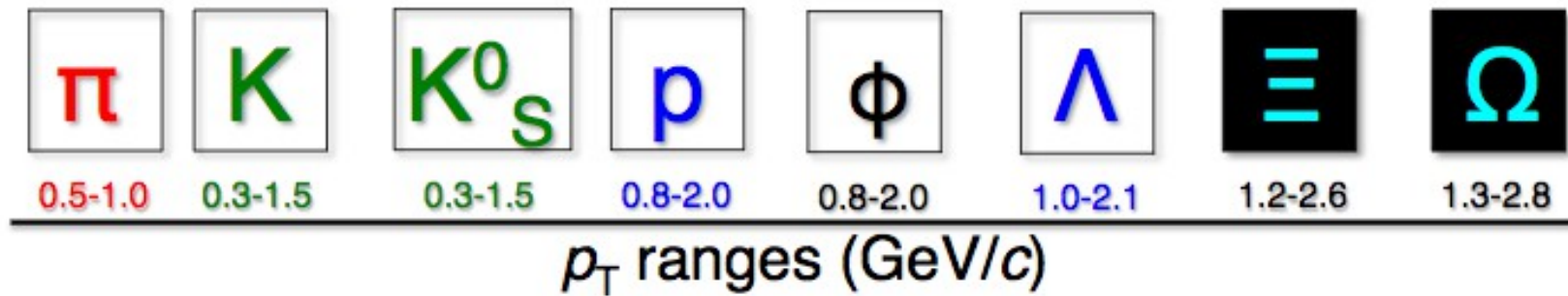
Sin Reconexión por color



- Mayor realce con respecto al caso sin CR
- Con CR, los efectos de jets (posición 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

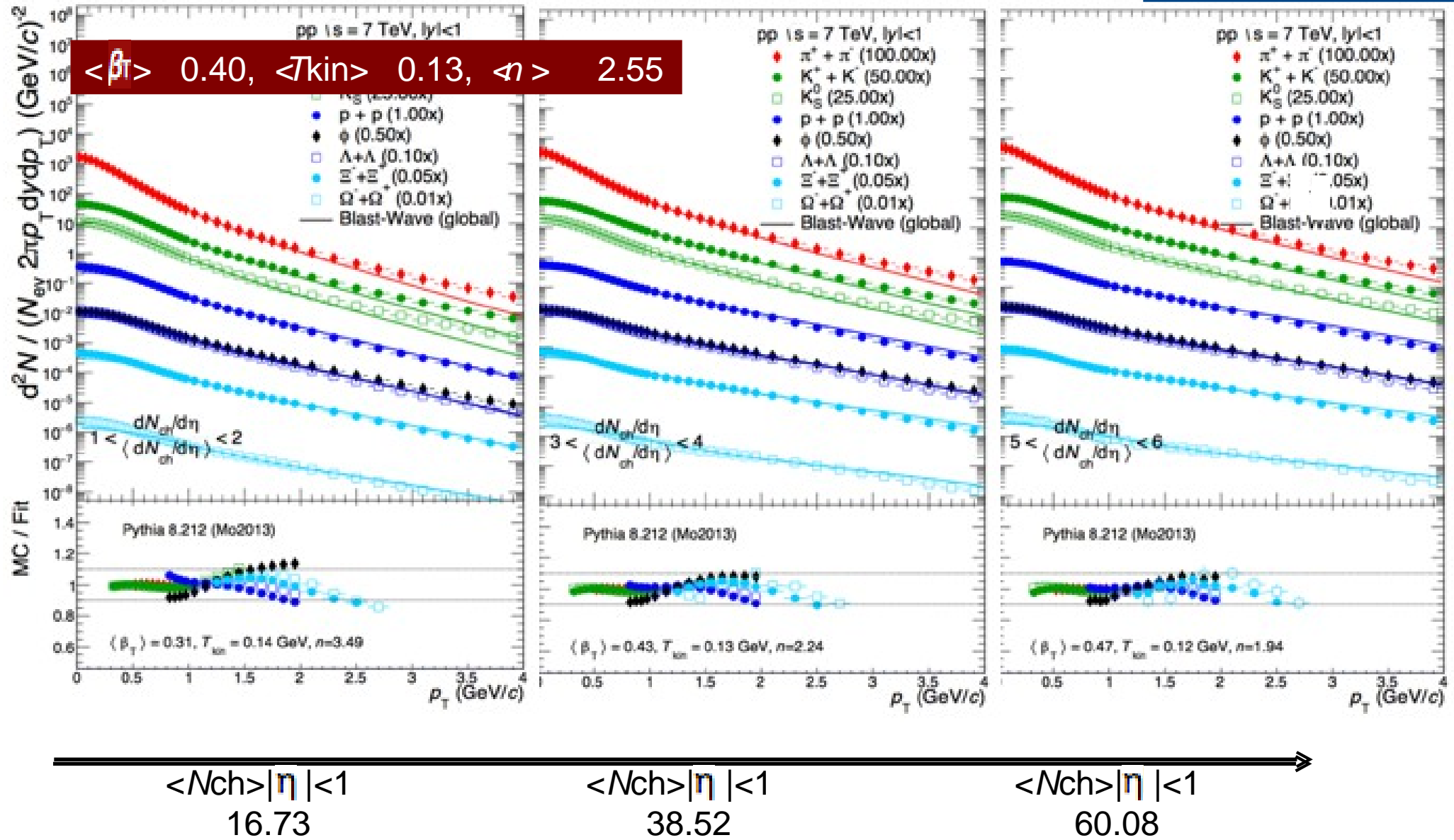
Resultados del análisis de Blast-Wave son presentados, para esto un fit simultaneo de la función BW al espectro de p_T es desarrollado para extraer $\langle \beta_T \rangle$. Los rangos de los ajustes son:



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

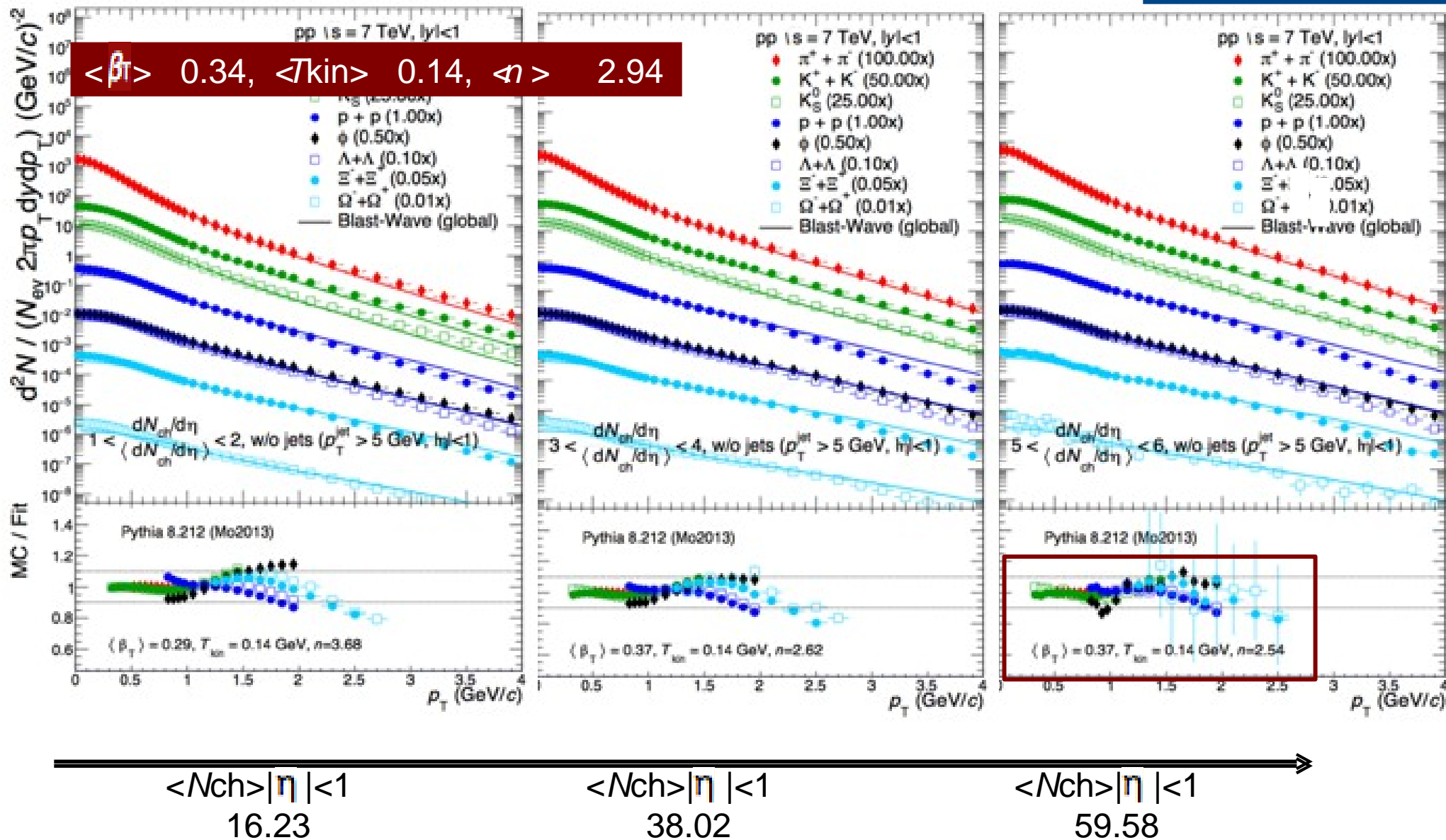
Análisis ρ_T vs N_{ch}

PYTHIA 8



Sin Jets

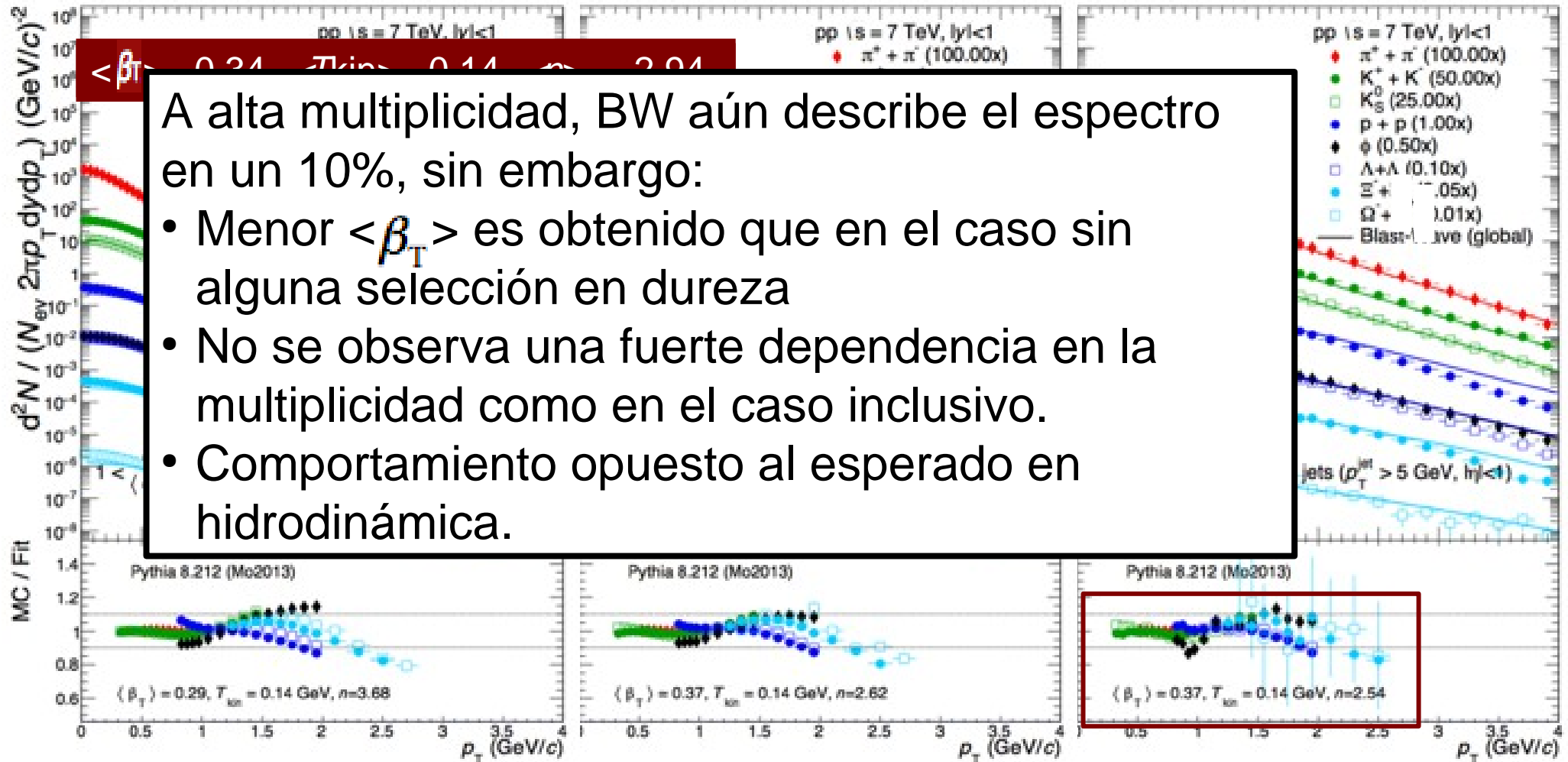
PYTHIA 8



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

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

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



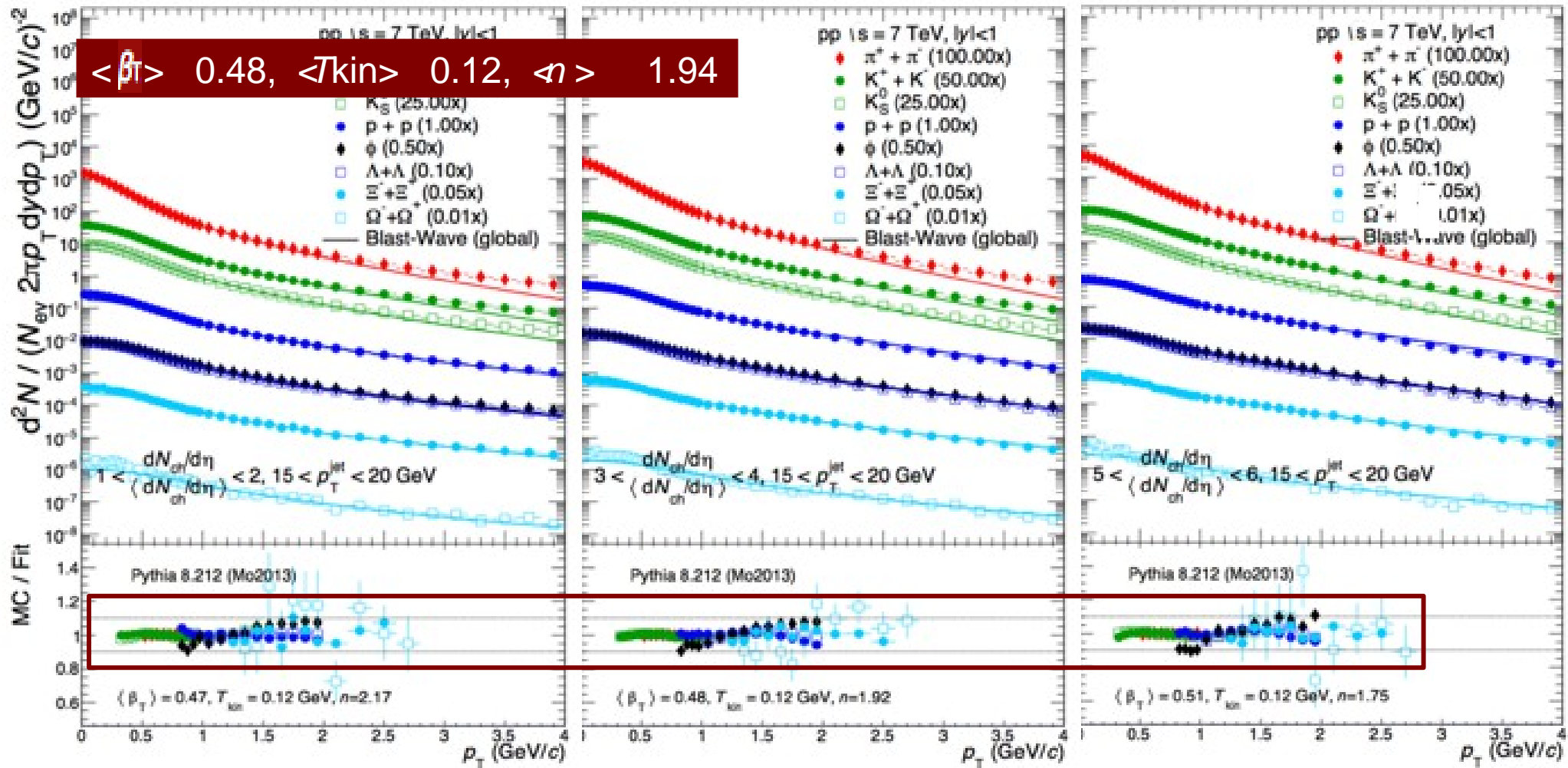
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
16.23

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



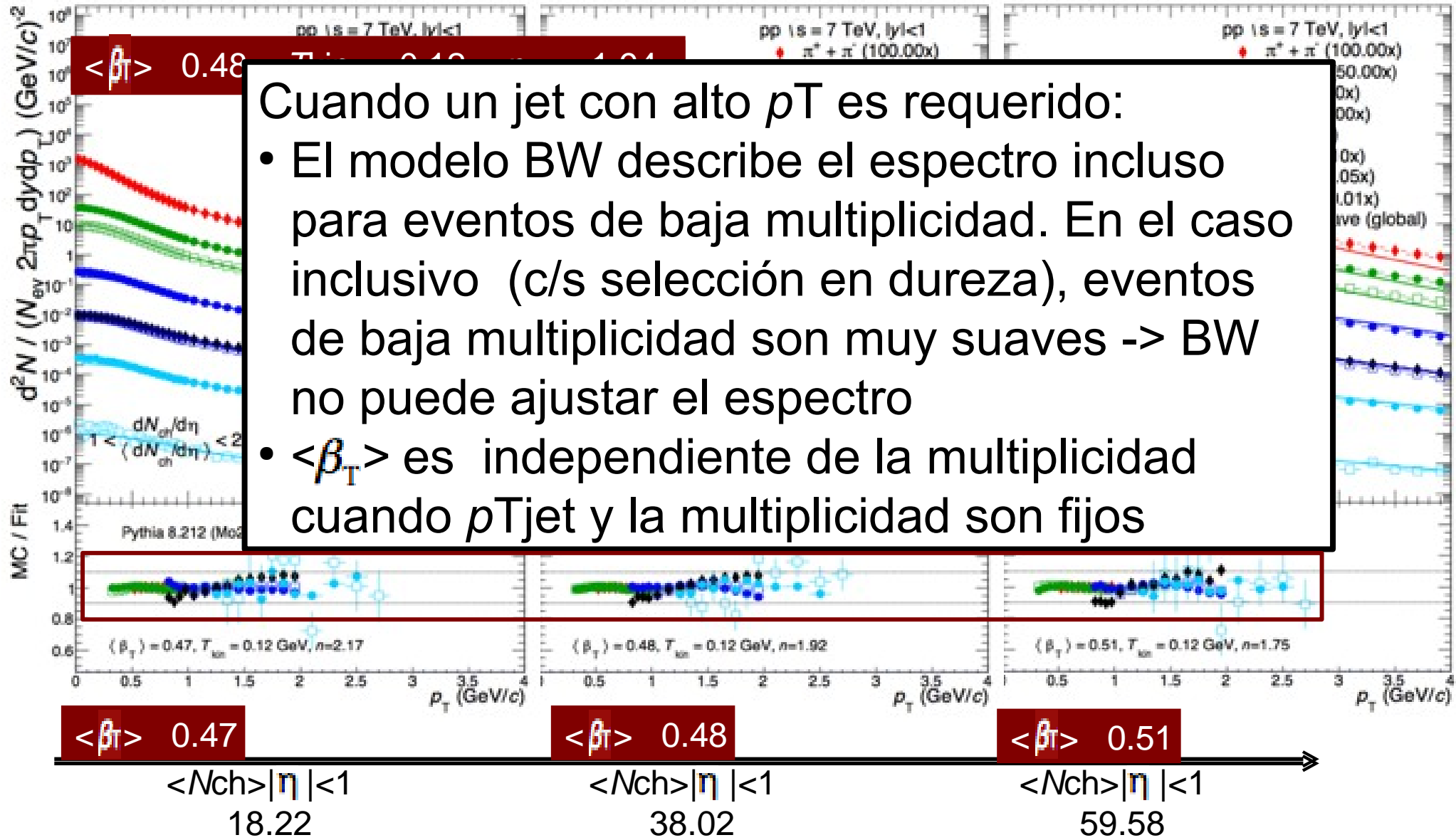
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
 18.22

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



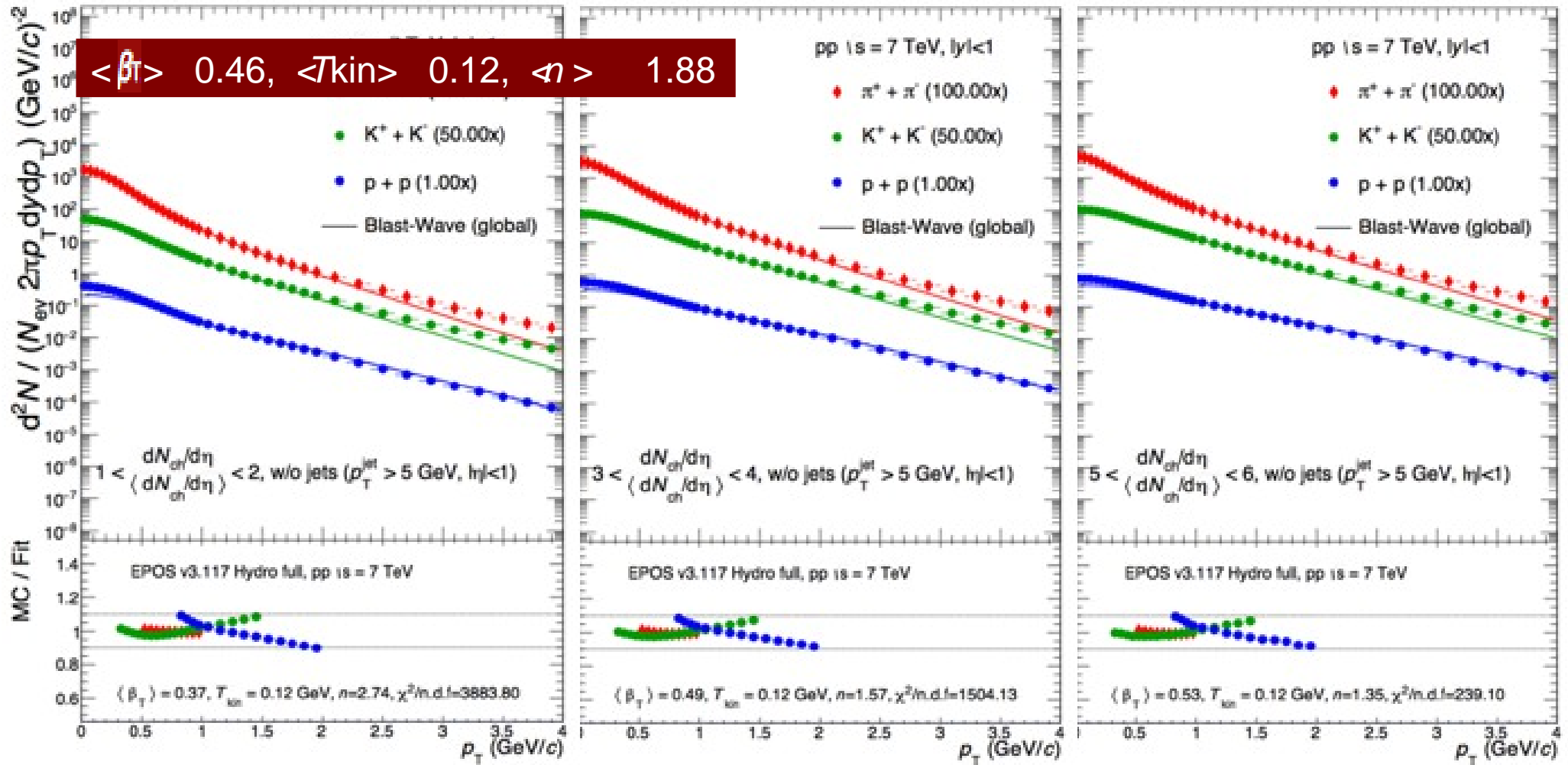
Cuando un jet con alto p_T es requerido:

- El modelo BW describe el espectro incluso para eventos de baja multiplicidad. En el caso inclusivo (c/s selección 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 $p_{T\text{Jet}}$ y la multiplicidad son fijos

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

Análisis ρ_T vs N_{ch}

EPOS 3



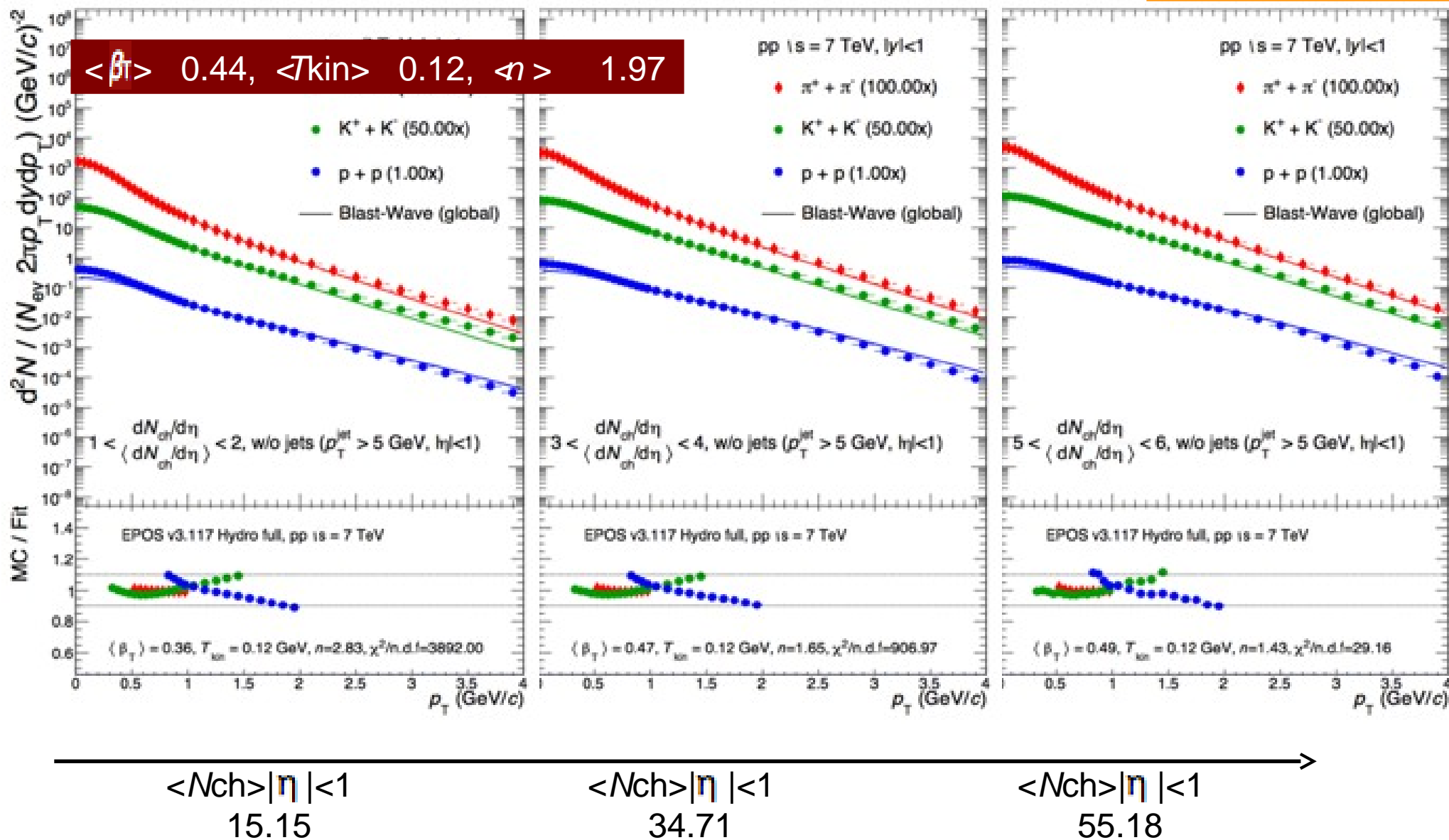
$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
15.27

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

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

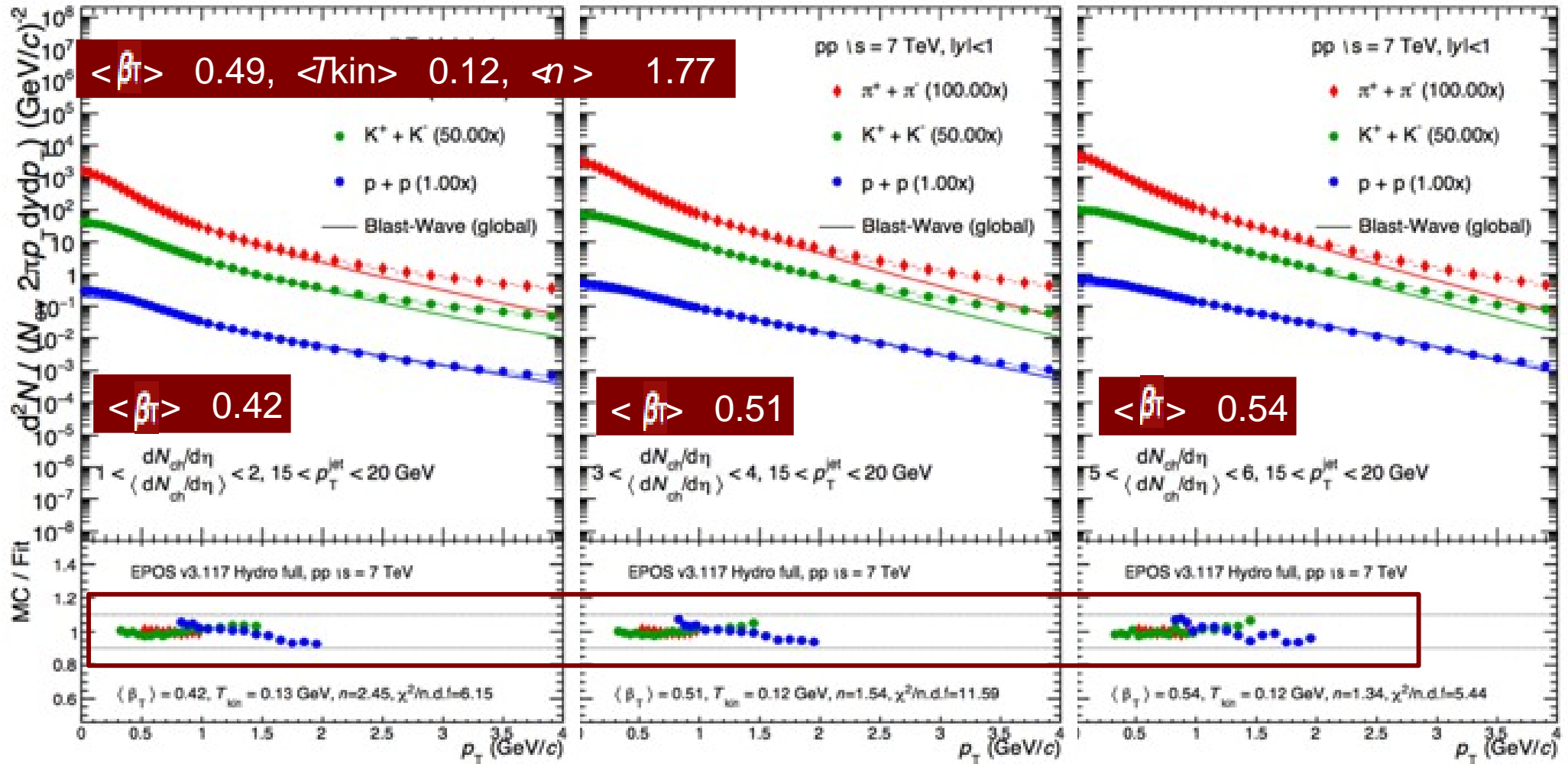
Sin Jets

EPOS 3



15 < pTJet < 20 GeV

EPOS 3

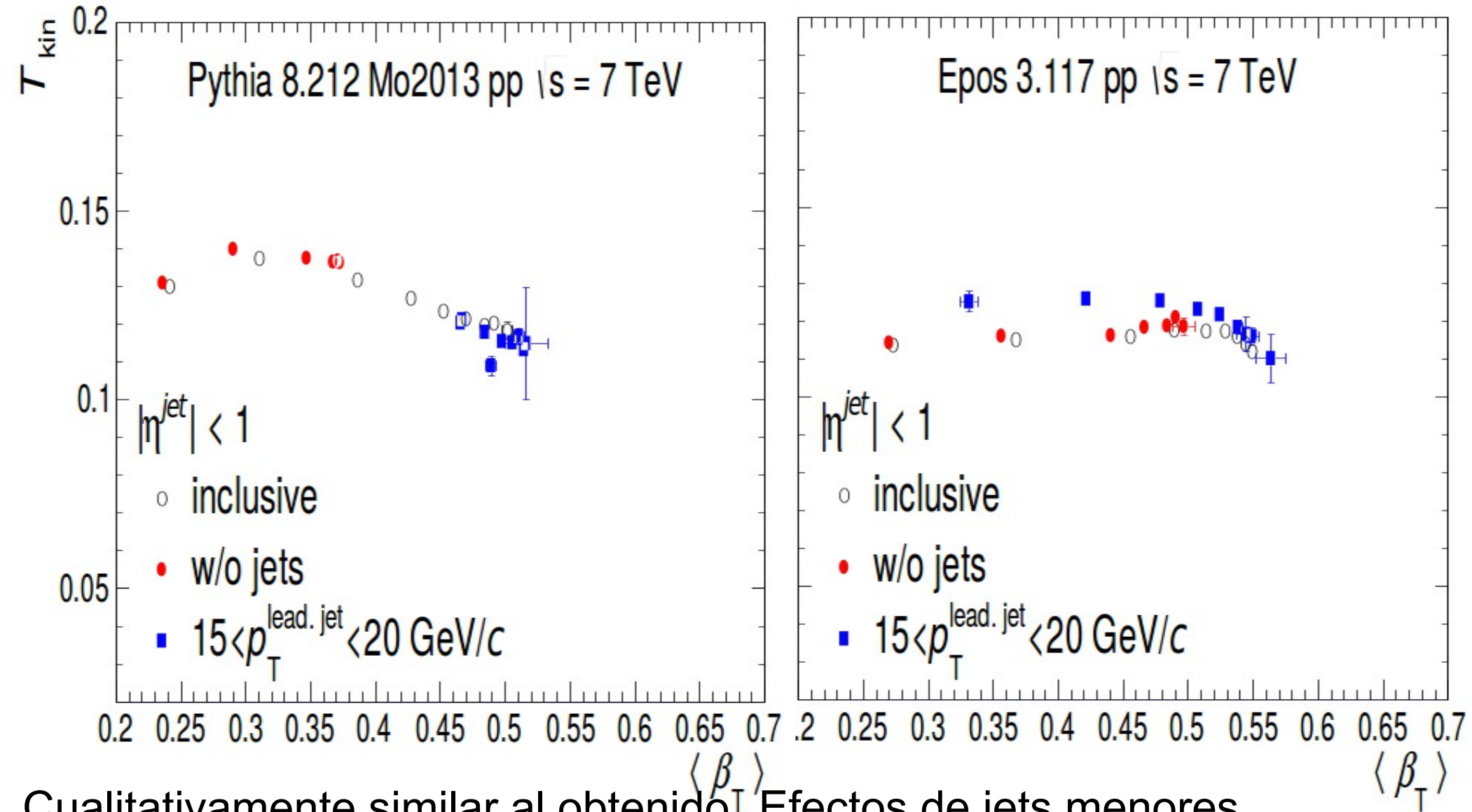


$\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}$
16.39

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



Cualitativamente similar al obtenido usando la variable de **esferocidad**

Efectos de jets menores. Fuerte dependencia en multiplicidad

Conclusiones

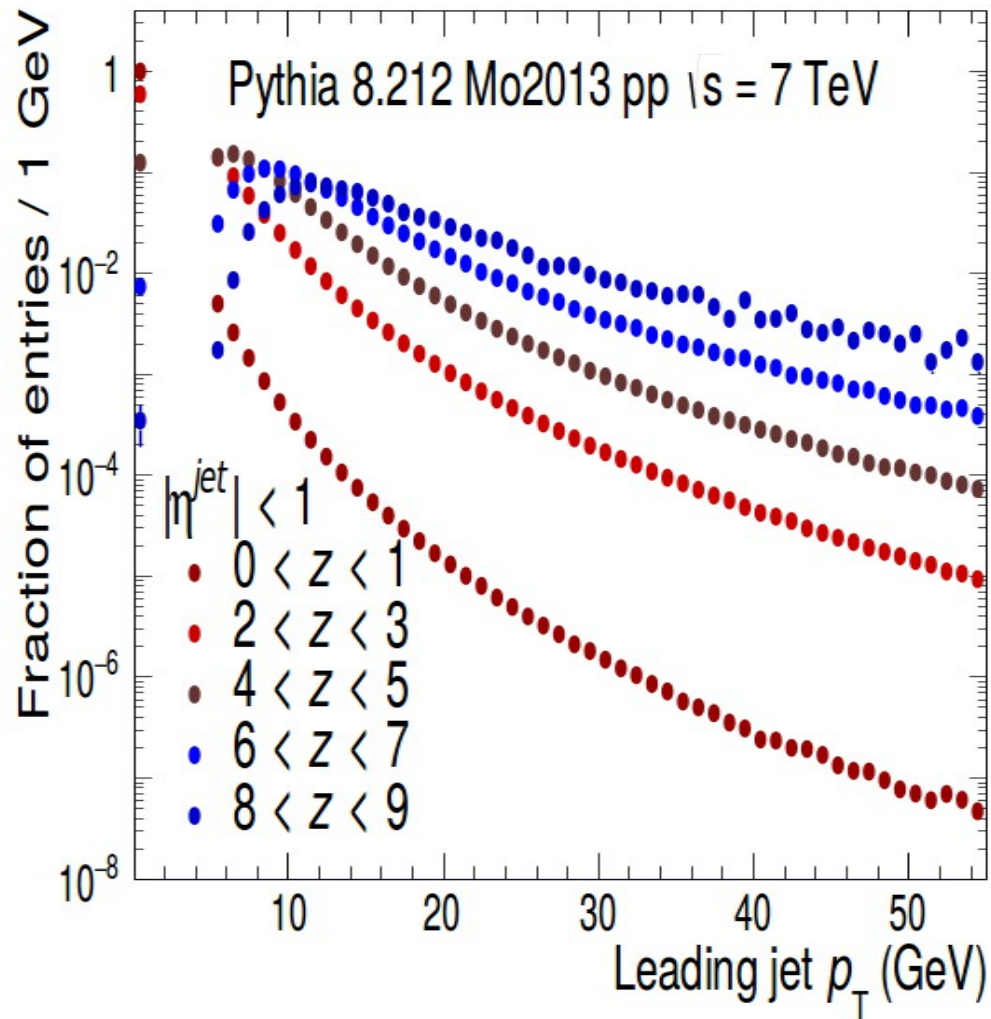
- El efecto de CR, incrementa las razones protón-pión (una evidencia relacionada con el flujo) en especial a alta multiplicidad.
- De ambos Monte Carlos:
Se obtiene menor $\langle\beta_T\rangle$ para el caso sin jets, que en el caso inclusivo.
Se obtiene el mayor $\langle\beta_T\rangle$ para el caso con jets.
- Usando Pythia8 para eventos con y sin jets, no se muestra una fuerte dependencia en la multiplicidad como para el caso con EPOS3.
- Para EPOS3 no hay una separación clara en eventos con y sin jets como para Pythia8 en la correlación T_{kin} vs $\langle\beta_T\rangle$.
Parece que la evolución hidrodinámica trata por igual a jets que a eventos sin estos, por el contrario; CR quien produce un efecto tipo flujo, marca una diferencia en eventos con jets.

Muchas gracias!

Se agradece las utiles discusiones con:
Arturo Fernández, Irais Bautista, Eleazar Cuautle & Guy Paic.

backup

p_{Tjet} vs multiplicidad

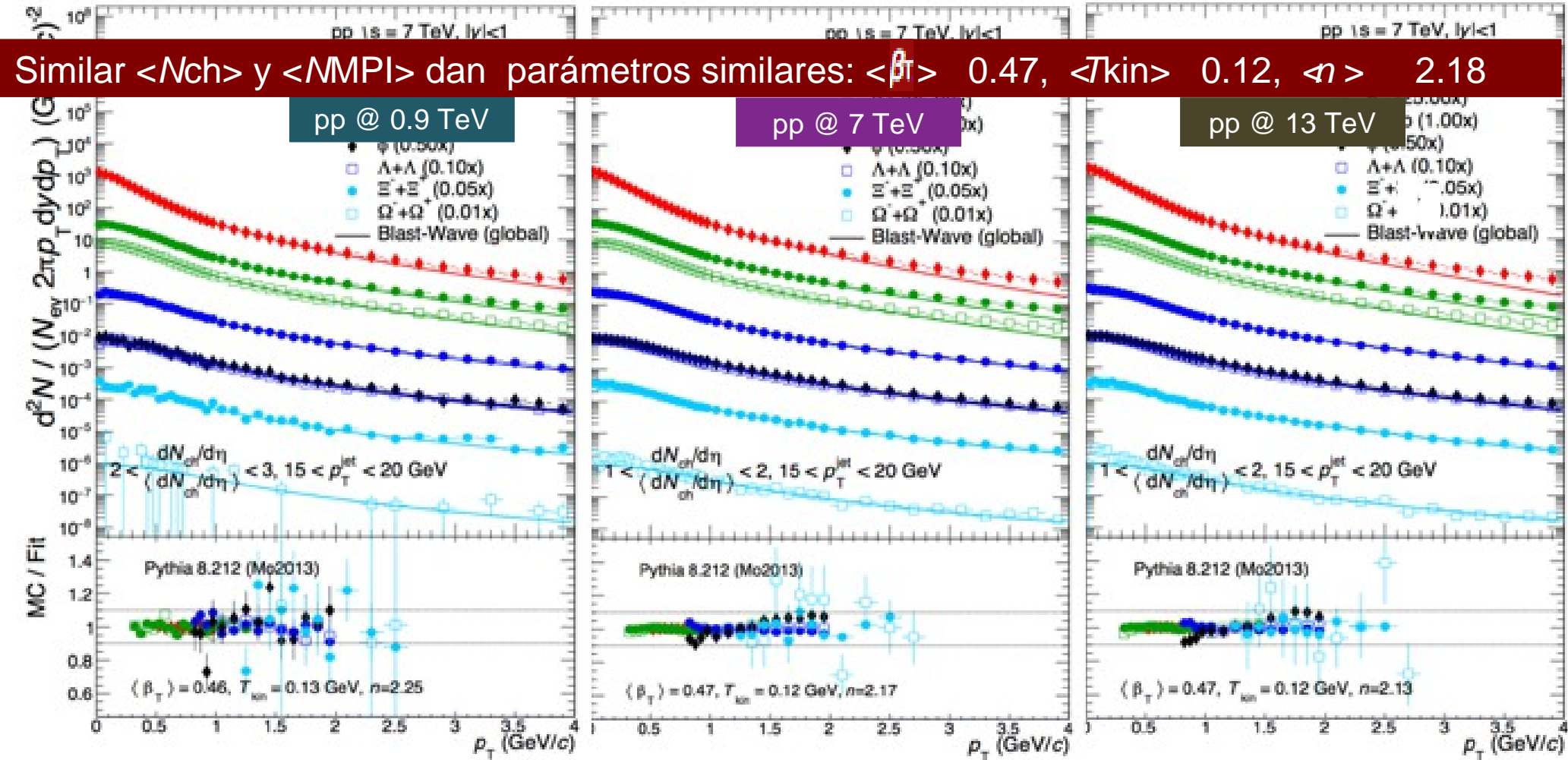


$\langle z \rangle$	$\langle p_{Tjet} \rangle$ (GeV/c)
0.5	7.09
1.5	7.49
2.5	7.83
3.5	8.48
4.5	9.55
5.5	11.1
6.5	13.2
7.5	15.85

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

Dependencia de la Energía

15 < pTJet < 20 GeV PYTHIA 8

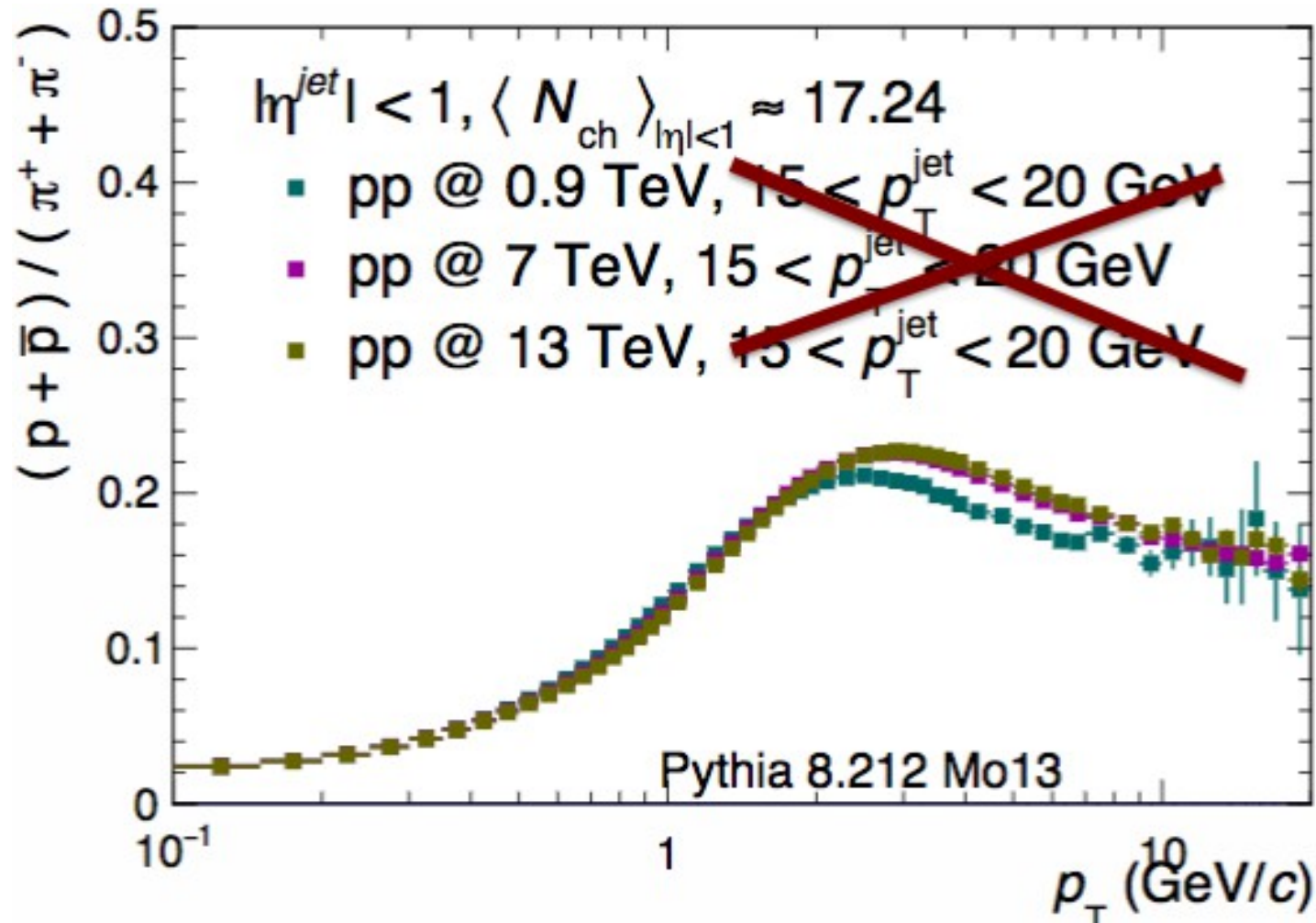


<math>\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}</math>
15.65
$\langle NMPI \rangle$ 3.53

<math>\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}</math>
17.72
$\langle NMPI \rangle$ 4.14

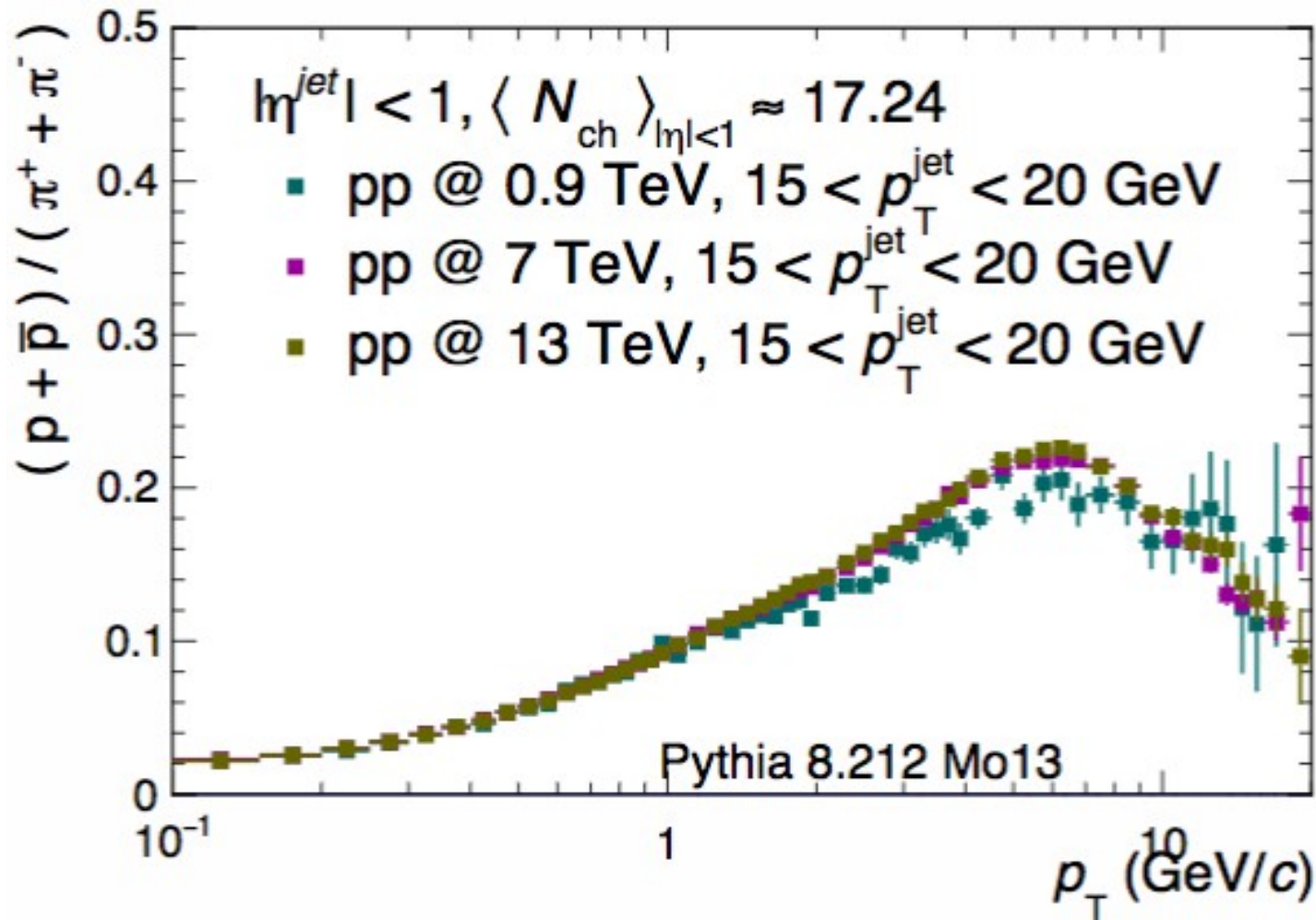
<math>\langle N_{ch} \rangle_{|\eta| < 1}</math>
18.35
$\langle NMPI \rangle$ 4.26

ρ/π vs. ρ_T



Sin la condición de requerir jets, la razón se ve diferente debido a los diferentes sesgos.

ρ/π vs. p_T



La razón protón-pi3n muestra casi ninguna dependencia con \sqrt{s}
(La posici3n del pico de p_T es la misma para los 3 sistemas)