



BUAP

Estudio de las propiedades de los sistemas creados en colisiones pp y p-Pb en ALICE del LHC

Héctor Bello Martínez

Examen de presentación de tesis
para obtener el grado de
Doctor en Ciencias (Física Aplicada)

Asesores:

Dr. Arturo Fernández Téllez (FCFM-BUAP)

Dr. Antonio Ortiz Velásquez (ICN-UNAM)

Indice

- Resumen
- Marco teórico
- ALICE en el LHC
- Resultados recientes de ALICE: QGP en sistemas grandes y pequeños
- Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños
- Estudios de variables de forma en ALICE
- Resultados y discusión
- Conclusiones

Resumen

En general en colisiones ultra-relativistas producen un sistema caliente y denso en QCD el cual se comporta como un liquido perfecto. Sin embargo, el sistema no es el predicho Plasma de Quarks y Gluones, su estudio resulta importante para entender la evolución cósmica del Universo. Así como los aspectos específicos del sector de QCD no perturbativa.

Por 30 años, las colisiones protón protón de mínimo sesgo fueron usadas como base para extraer las nuevas propiedades de los sistemas calientes y densos. Estas como función de la multiplicidad del evento han revelado nuevos fenómenos: comportamiento del tipo colectivo. Entender el origen de las similitudes entre los sistemas pp, p-A y AA es crucial.

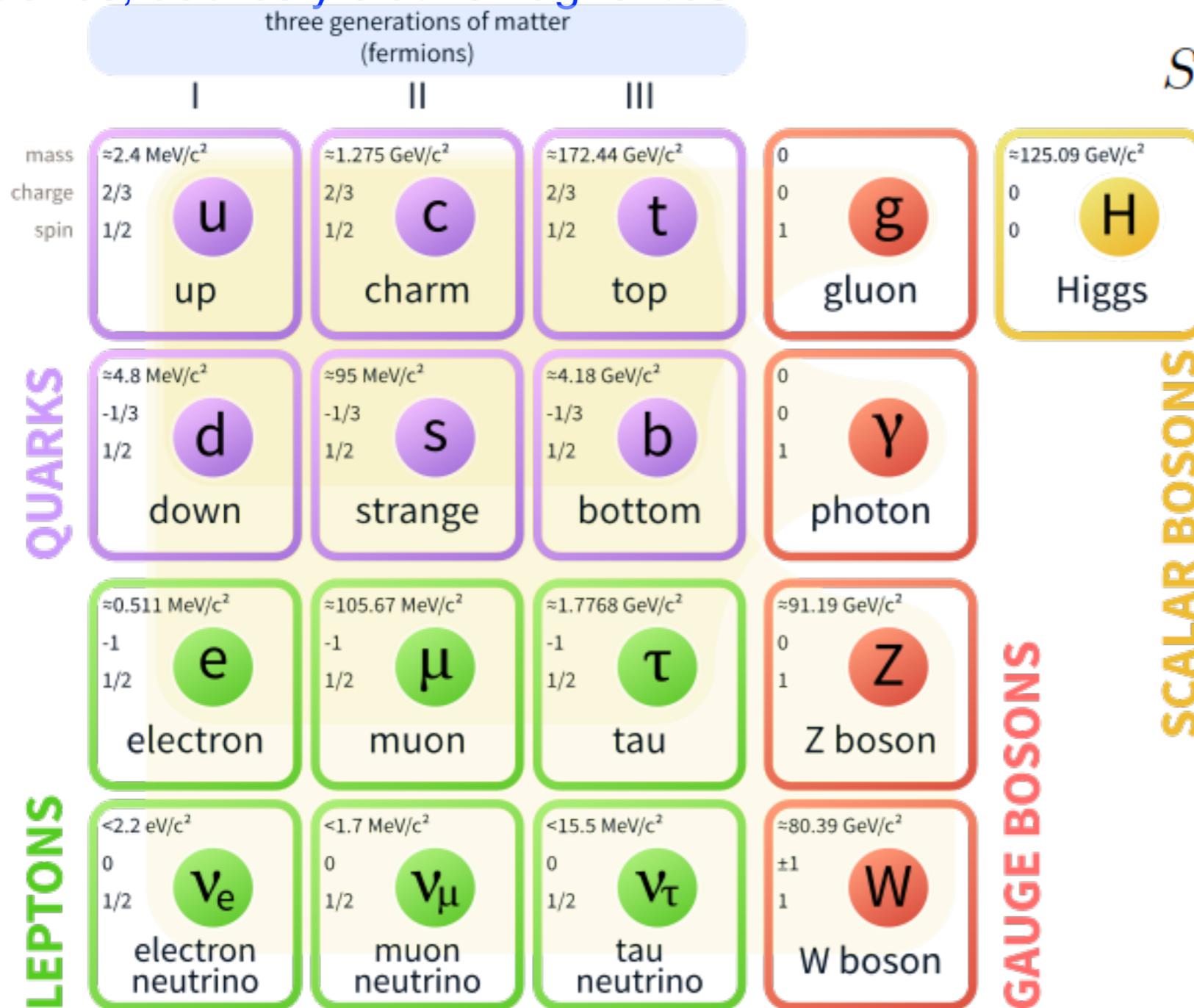
En esta tesis se realizó un estudio de los sistemas pequeños como función del contenido de jets y la multiplicidad. El estudio fue hecho en 2 partes:

- Una consiste en el estudio de observables sensibles a la colectividad, pero usando dos diferentes generadores MC: PYTHIA 8 y EPOS 3.
- Usando estas ideas, se analizó datos de ALICE para colisiones pp a 13 TeV usando una aproximación alternativa basada en la forma de los eventos, "la esferocidad transversa".

1. Marco teórico

Modelo Estándar

La teoría cuántica, relativista, efectiva y renormalizable de las interacciones:
fuertes, débiles y electromagnéticas



$$SU_C(3) \times SU_L(2) \times U_Y(1)$$

En los últimos años se confirmó el modelo estándar en el LHC con el descubrimiento del Higgs.

Sin embargo no se han observado señales más allá del modelo estándar (partículas tipo SUSY o materia oscura, etc)

El potencial de descubrimiento estaría en la fenomenología de muchos cuerpos

1. Marco teórico

Cromodinámica cuántica

Describe las interacciones fuertes debidas al campo de color creado por los quarks y gluones, la intensidad de la interacción es dada por la constante de acoplamiento:

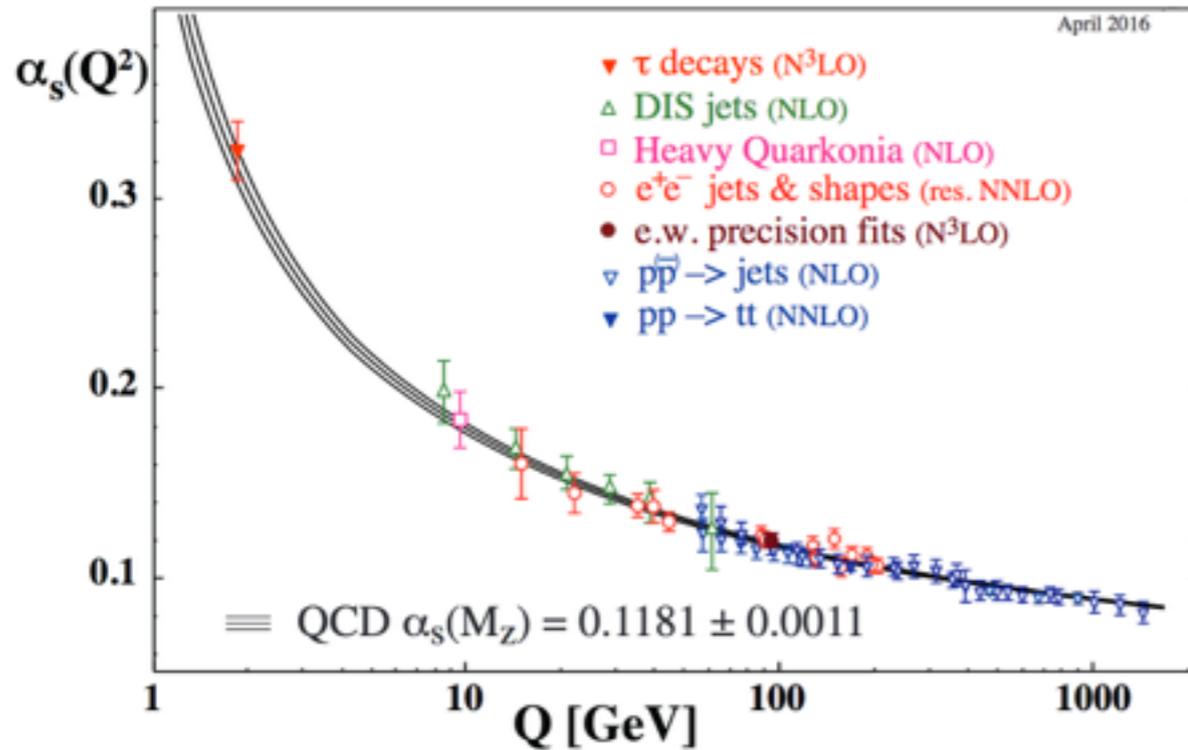
$$\alpha_s(Q^2) = \frac{4\pi}{\beta_0 \ln\left(\frac{Q^2}{\Lambda_{QCD}^2}\right)},$$

$Q^2 \rightarrow \infty, \alpha \rightarrow 0$ Libertad asintótica pQCD
 $Q^2 \rightarrow \Lambda_{QCD}^2, \alpha \rightarrow \infty$ confinamiento de color.

NOBEL PRIZE 2004: SURPRISING THEORY WINS PHYSICS NOBEL



From left to right: David Politzer, David Gross and Frank Wilczek.



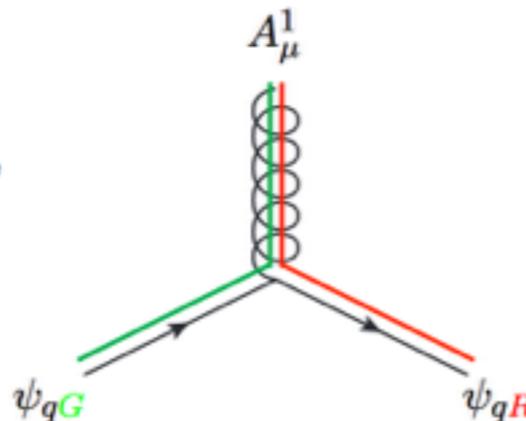
La densidad lagrangiana de QCD es dada por:

$$\mathcal{L}_{QCD} = \mathcal{L}_{fermion} + \mathcal{L}_{YangMills} + \mathcal{L}_{gauge} + \mathcal{L}_{ghost},$$

$$\mathcal{L}_{YangMills} = -\frac{1}{4} G_{\mu\nu}^i G_i^{\mu\nu},$$

$$G_{\mu\nu}^i = \underbrace{\partial_\mu A_\nu^i - \partial_\nu A_\mu^i}_{Abelian} - \underbrace{gf^{ijk} A_\mu^j A_\nu^k}_{non-Abelian}$$

$$\mathcal{L}_{fermion} = \bar{\psi}_q^i (i\gamma^\mu) (D_\mu)_{ij} \psi_q^j - m_q \bar{\psi}_q^i \psi_q^i$$

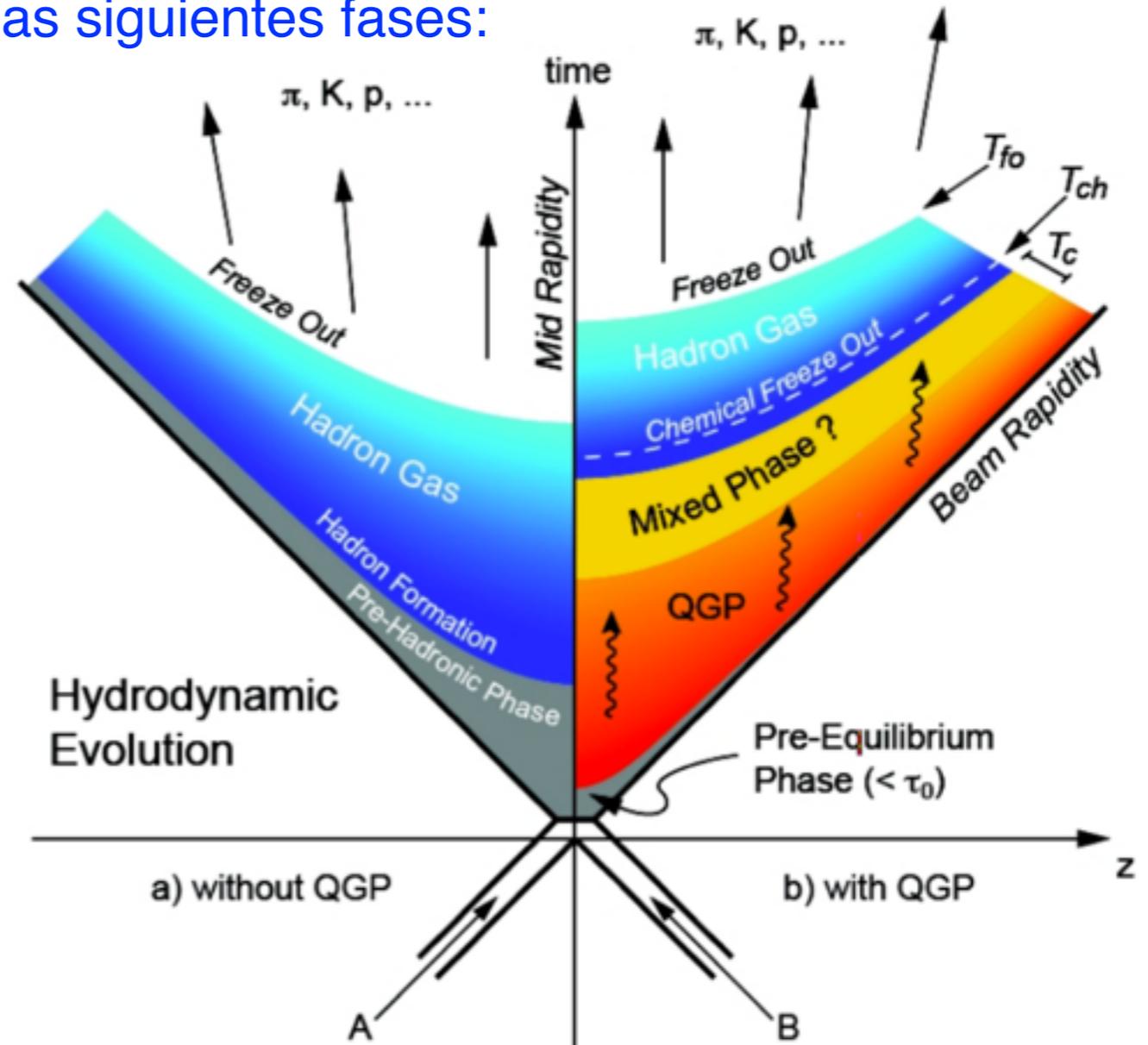
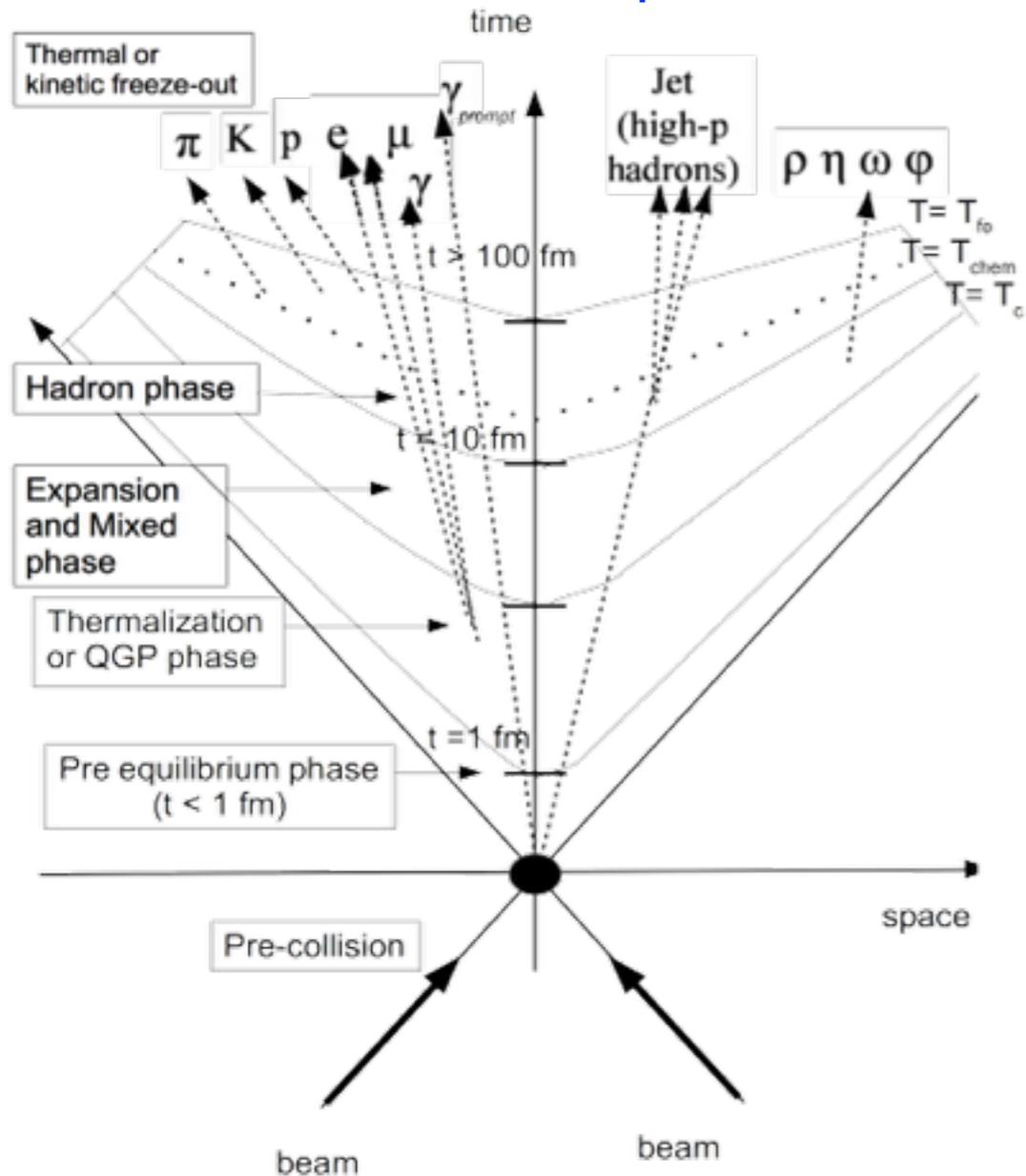


$$\begin{aligned} &\propto -\frac{i}{2}g_s \quad \bar{\psi}_{qR} \quad \lambda^1 \quad \psi_{qG} \\ &= -\frac{i}{2}g_s \quad (1 \ 0 \ 0) \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

1. Marco teórico

Colisiones de iones pesados (A-A)

En una colisión de iones pesados ocurren las siguientes fases:



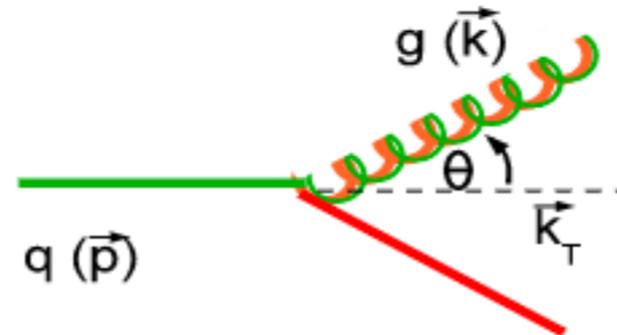
Entender la fase de QGP es posible, estudiando de los estados finales creados en la etapa de enfriamiento, donde la producción invariante llega a valores fijos.

1. Marco teórico

Colisiones de iones pesados

Para estudiar la producción de partículas es necesario entender la emisión de quarks.

$$d\omega^{q \rightarrow q+g} = 2C_F \frac{\alpha_s(k_T)}{4\pi} \left[1 + \left(1 - \frac{k}{p}\right)^2\right] \frac{dk}{k} \frac{dk_T^2}{k_T^2},$$



$$\omega \sim \alpha_s \ln^2 p$$

emisión de gluones "suaves" $k \ll p$ **singularidad infrarroja**

$$\omega \sim \alpha_s / \pi \ll 1$$

emisión de gluones "colineales" $k \sim p$ **singularidad colineal**

La producción de hadrones es obtenido por medio del teorema de factorización de QCD dado por:

$$\frac{d\sigma}{dX} = \sum_{j,k} \int_{\hat{X}} f_j(x_1, Q_i) f_k(x_1, Q_i) \frac{d\hat{\sigma}_{jk}(Q_i, Q_j)}{d\hat{X}} D_l^h(X, Q_l')$$

Está separado en dos partes:

- Procesos de corto alcance calculables en pQCD
- Procesos no calculables en pQCD.

Es necesario utilizar una herramienta experimental para separar los dos tipos de procesos con física diferente.

1. Marco teórico

Formas de los eventos

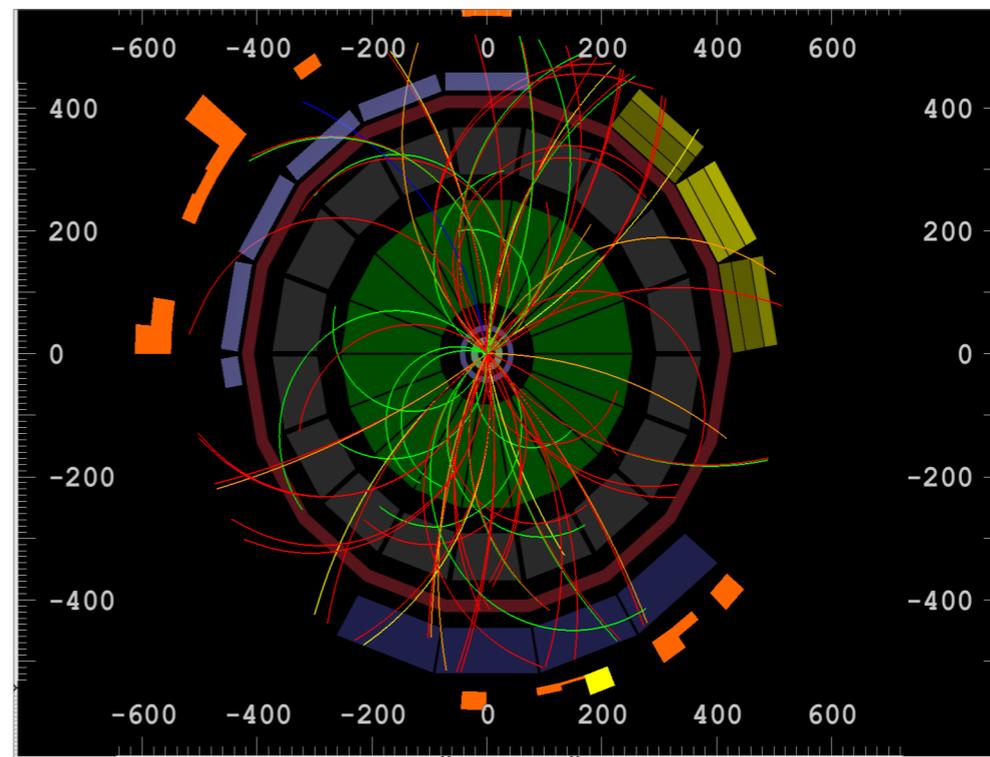
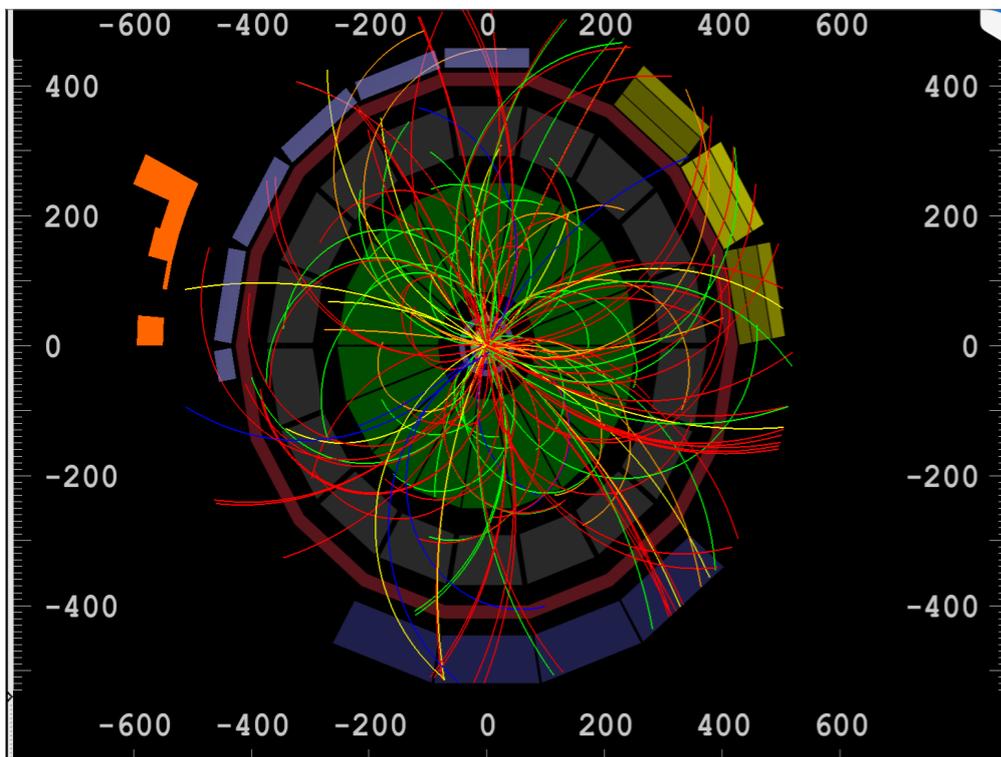
La esferocidad transversa es definida en términos del vector normal $\vec{n} = (n_x, n_y, 0)$ que satisface:

$$S_T^{spherocity} = \frac{\pi^2}{4} \min_{\vec{n}=(n_x, n_y, 0)} \left(\frac{\sum_i |\vec{p}_{Ti} \times \vec{n}|}{\sum_i |\vec{p}_{Ti}|} \right)^2$$

A. Banfi [JHEP1006.038](#), (2010)

A. Ortiz [arXiv:1705.02056](#)

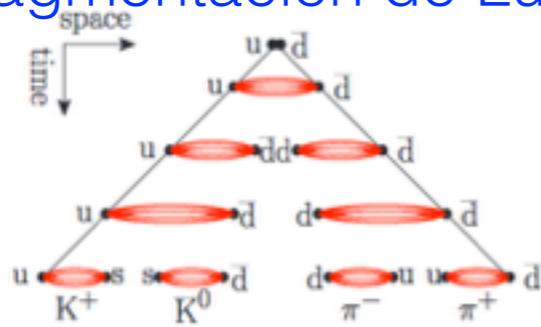
$$S_o = S_T^{spherocity} = \begin{cases} 1 & \text{isotropic structure} \\ 0 & \text{jetty structure} \end{cases}$$



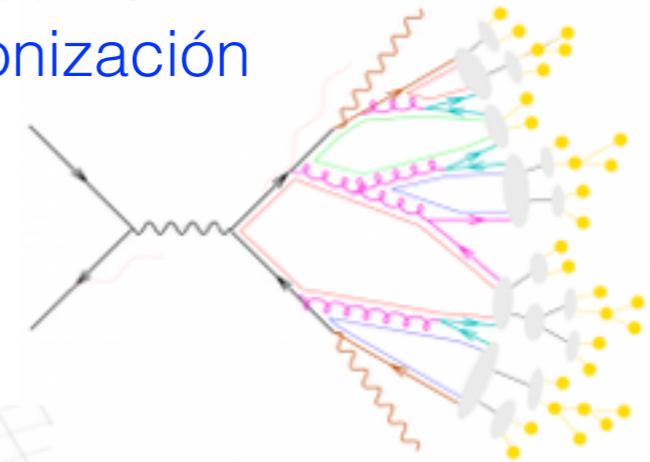
1. Marco teórico

PYTHIA (Reconexión por color)

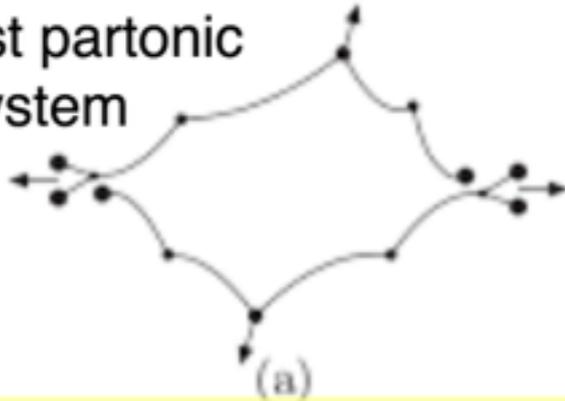
Producción vía modelo de fragmentación de Lund



Estados finales vía modelo de hadronización



1st partonic system



+2° partonic system

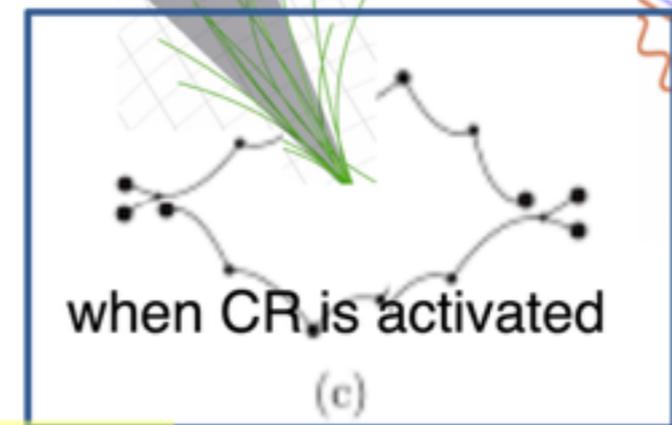
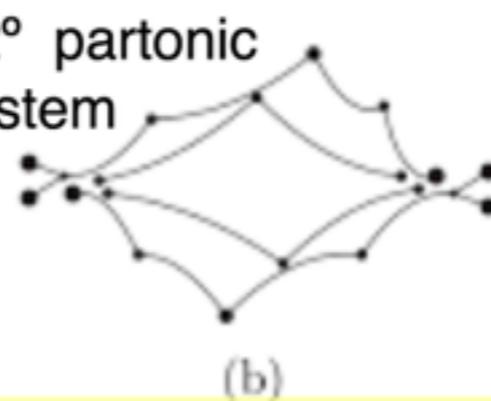


Figure taken from: G. Gustafson, Acta Phys. Polon. B40, 1981 (2009)
Effects of CR on hadron flavor observables, C. Bierlich and J. R. Christiansen, PRD 92 (2015) 9, 094010

La probabilidad de reconexión es dada por:

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

Reglas de QCD nos dicen como es permitida la reconexión (tensor de color epsilon)
La longitud mínima de la cuerda nos dice la configuración

$$q^i q^j q^k \epsilon^{ijk} \rightarrow q \begin{array}{c} q \\ J \\ q \end{array}$$

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

1. Marco teórico

EPOS (modelo hidrodinámico 3+1D)

Modelo con:

- Energía conservada en dispersiones múltiples
- Partones modelados por la teoría de Gribov-Regge
- Off-shell, como tipo de partículas remanentes
- Saturación

Evolución dada por separación tipo

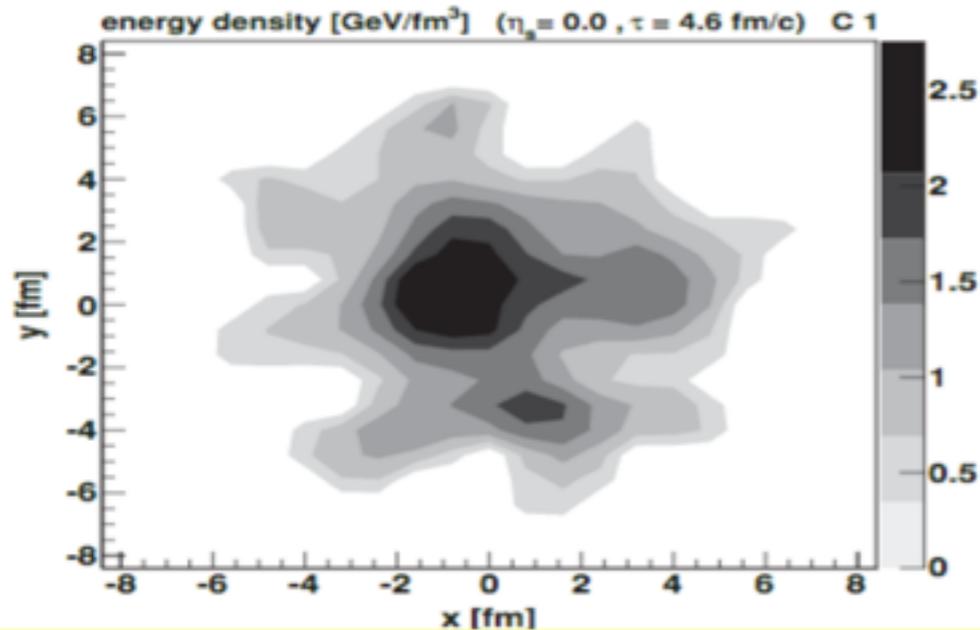
‘coraza-corona’

coraza: región de alta densidad de cuerdas

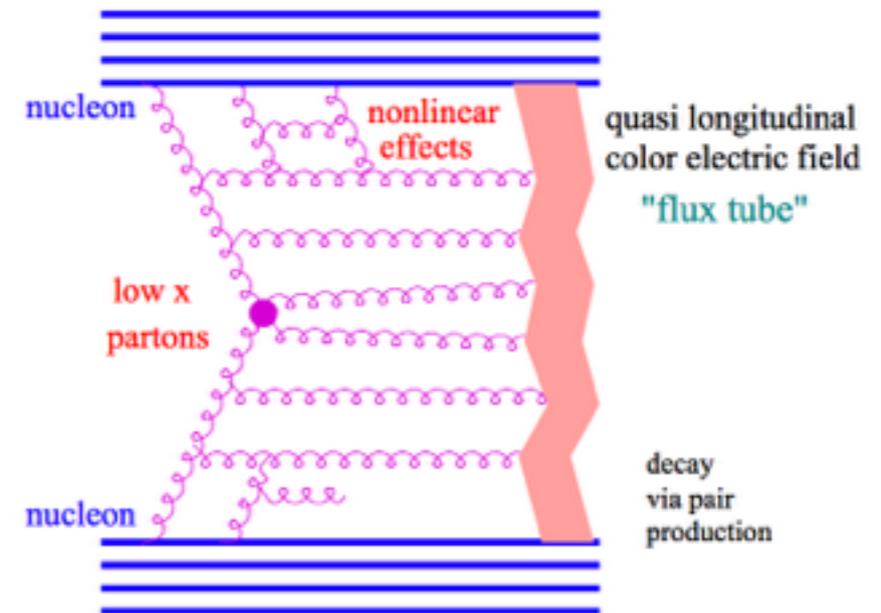
corona: región de baja densidad de cuerdas

Coraza activada → Hidrodinámica

no Coraza → solo modelo de cuerda

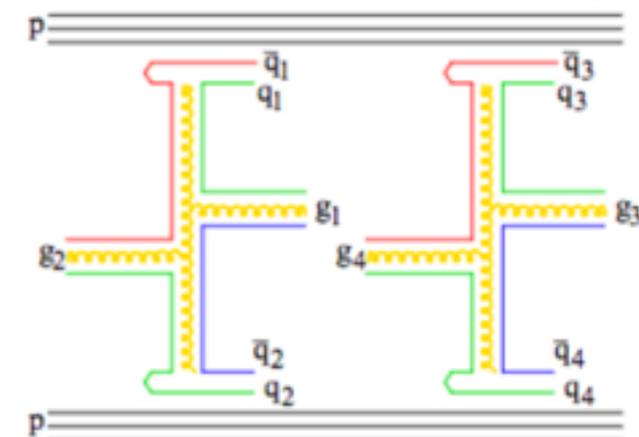


K. Werner et al., PRC 82 (2010) 044904



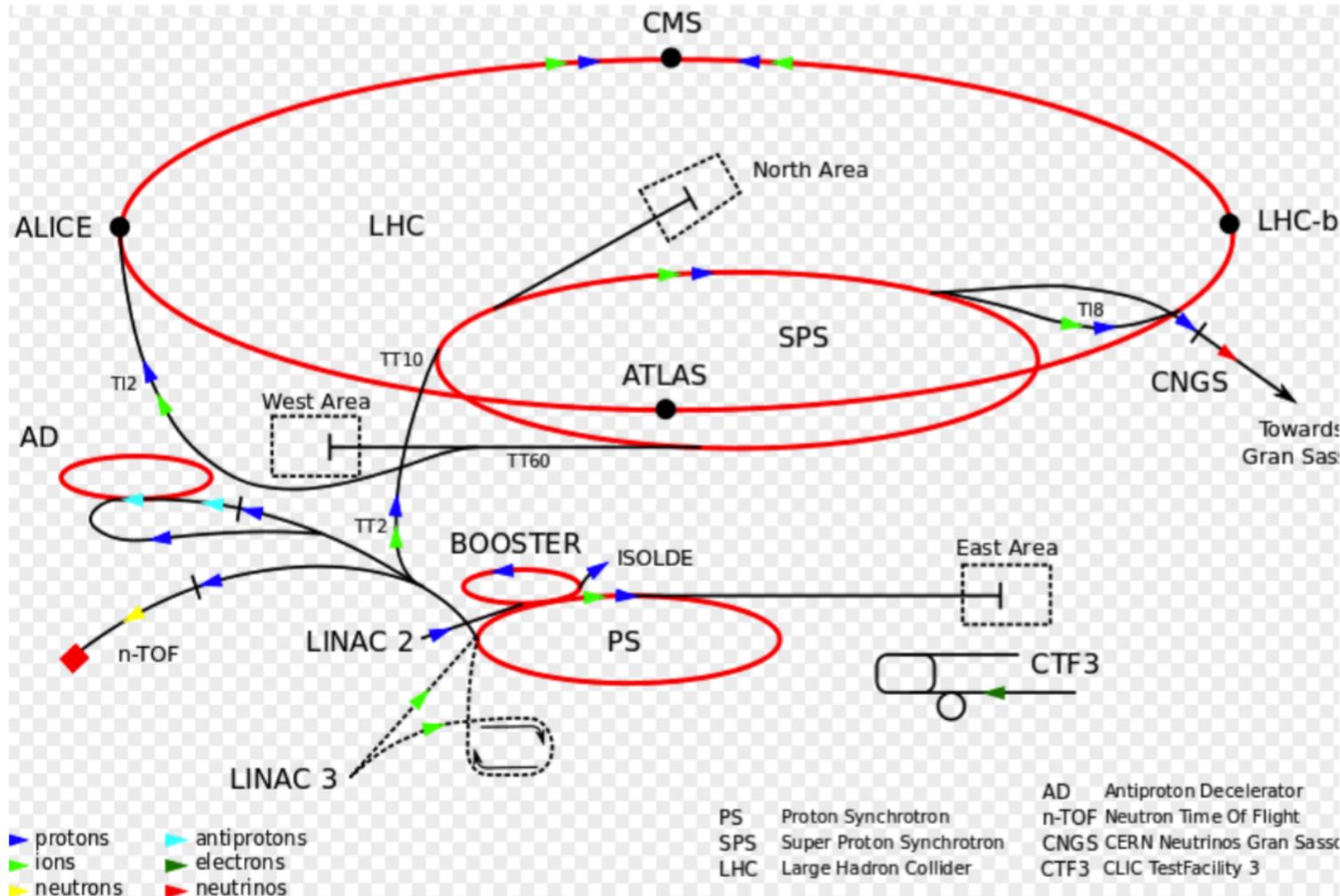
K. Werner et al., PRC89 (2014) 6, 064903

Tubos de flujo de color para modelar el intercambio de pomerones

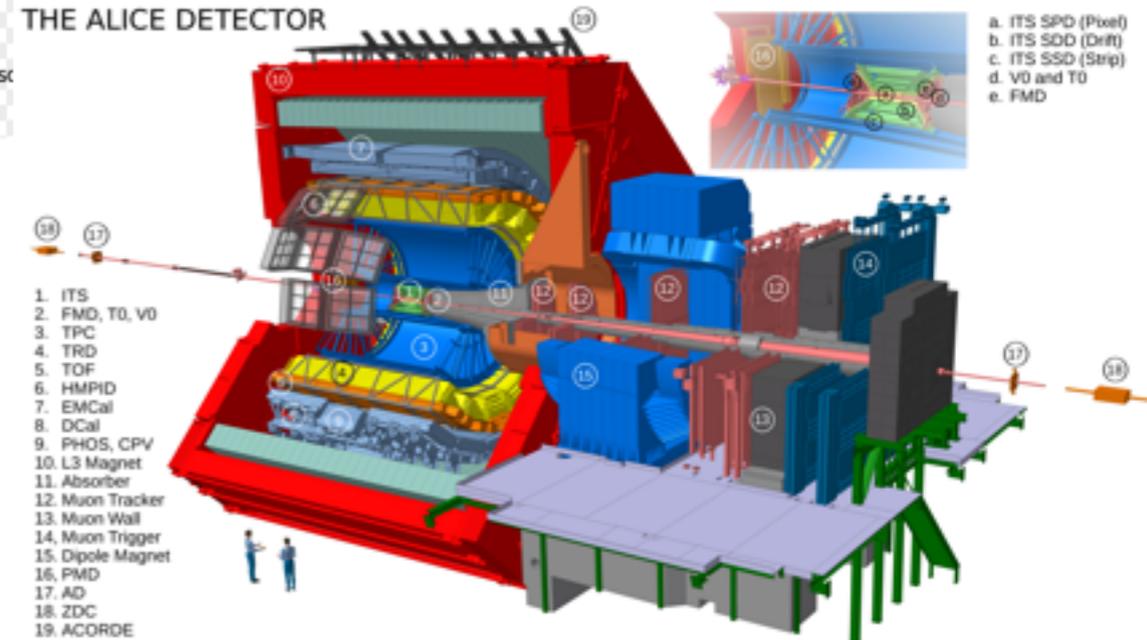


K. Werner et al, PRC 92 (2015) 034906

2. ALICE en el LHC



THE ALICE DETECTOR

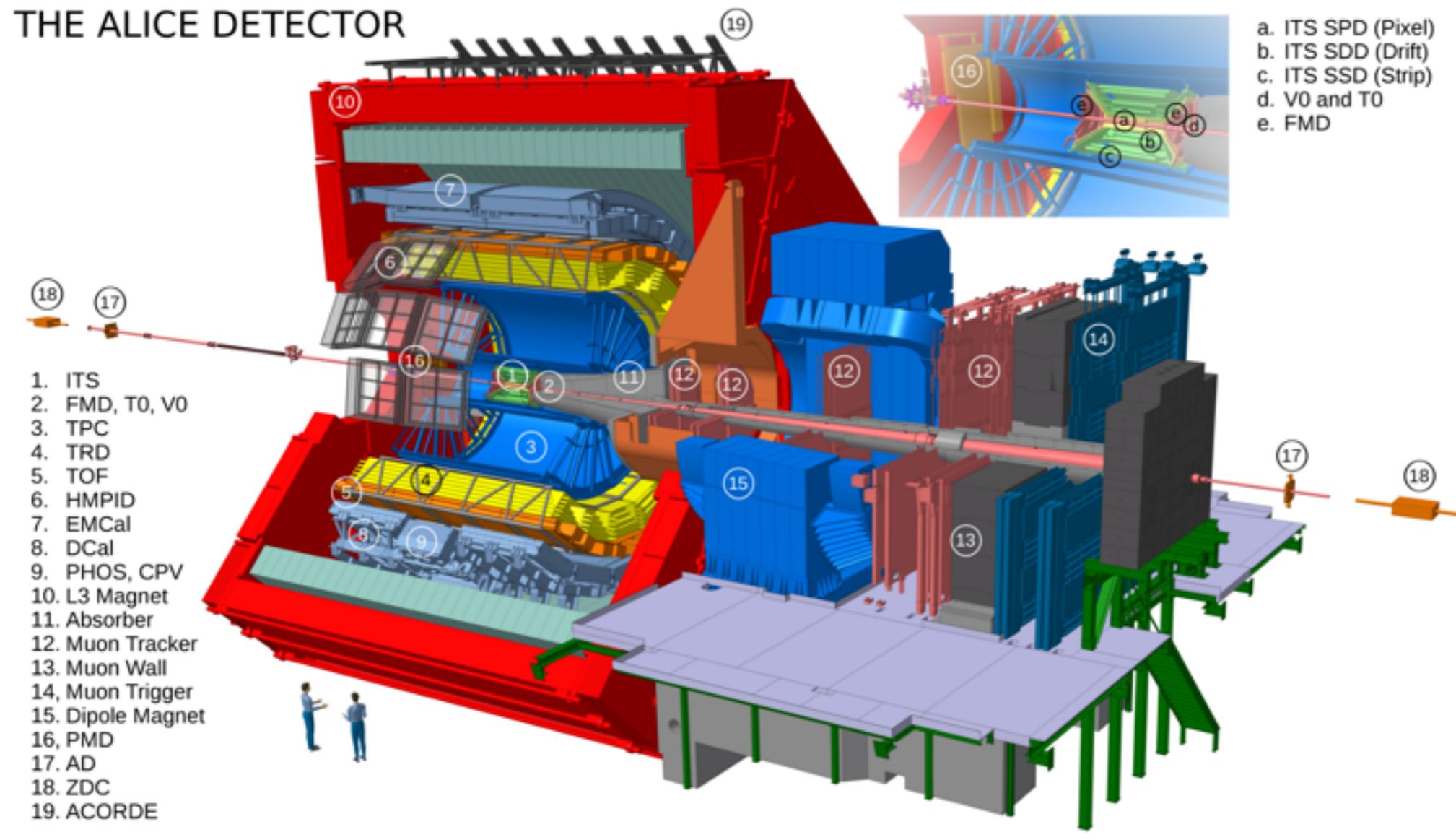


41 countries, 176 institutes, 1800 members



2. ALICE en el LHC

THE ALICE DETECTOR

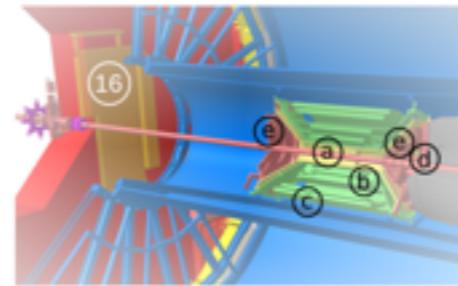
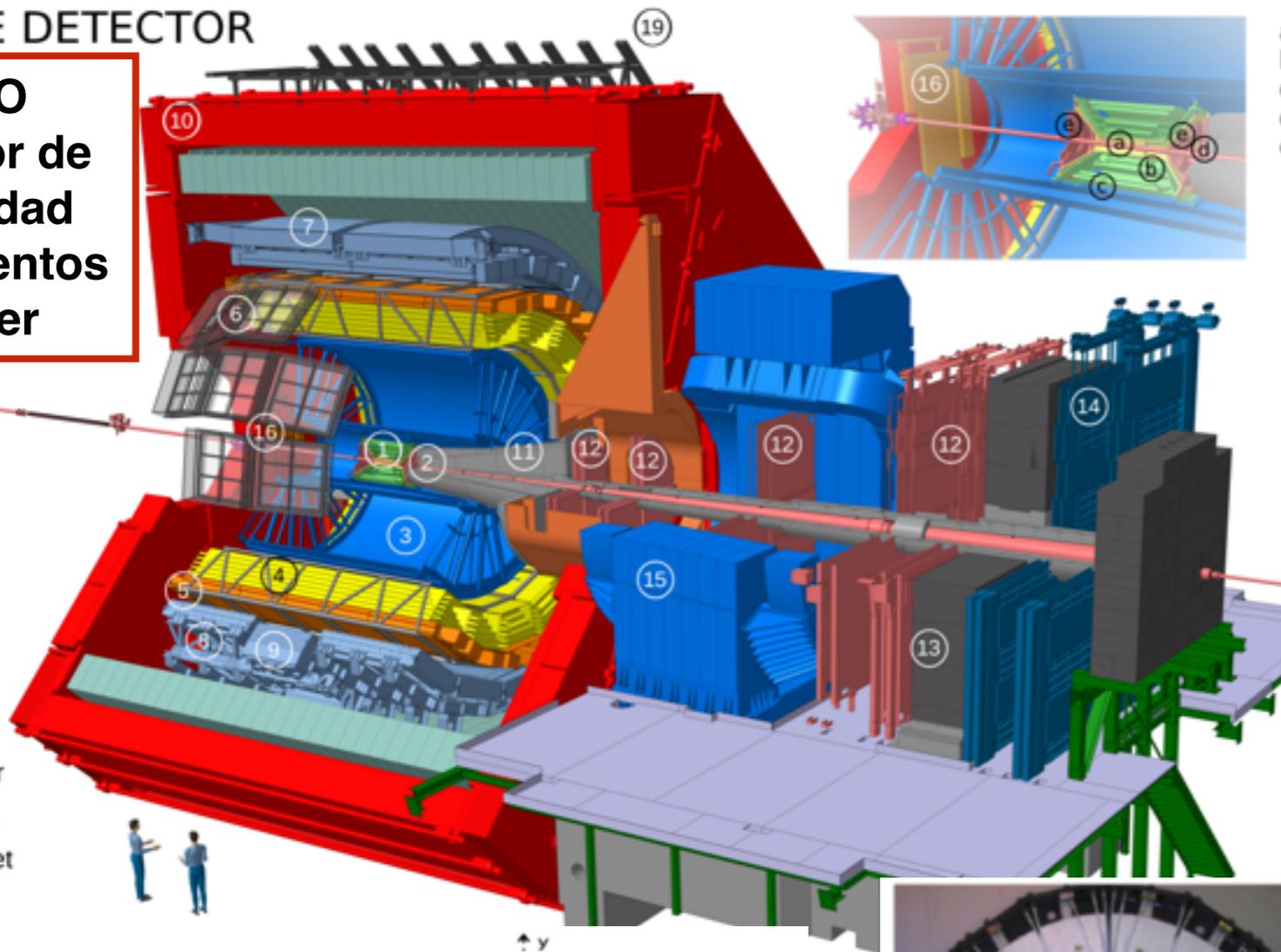


2. ALICE en el LHC

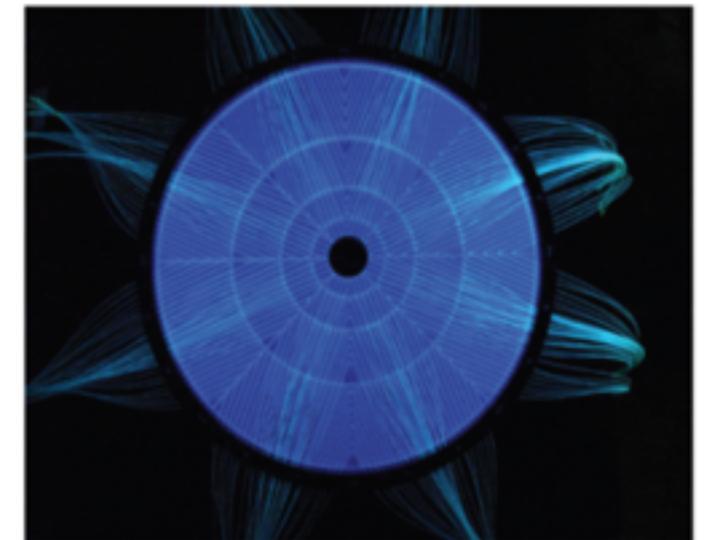
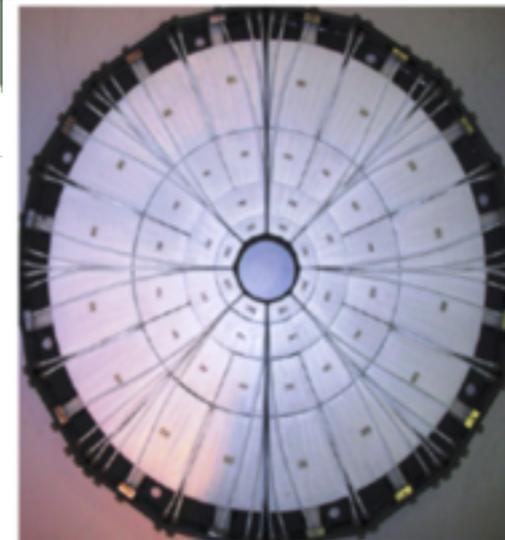
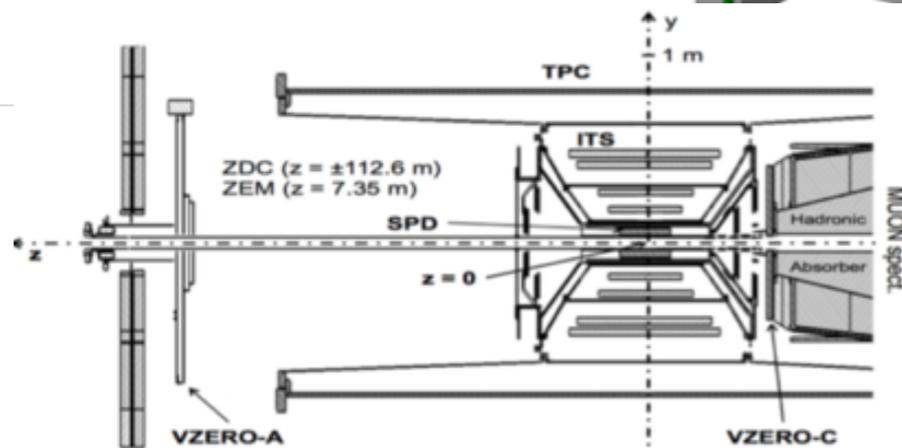
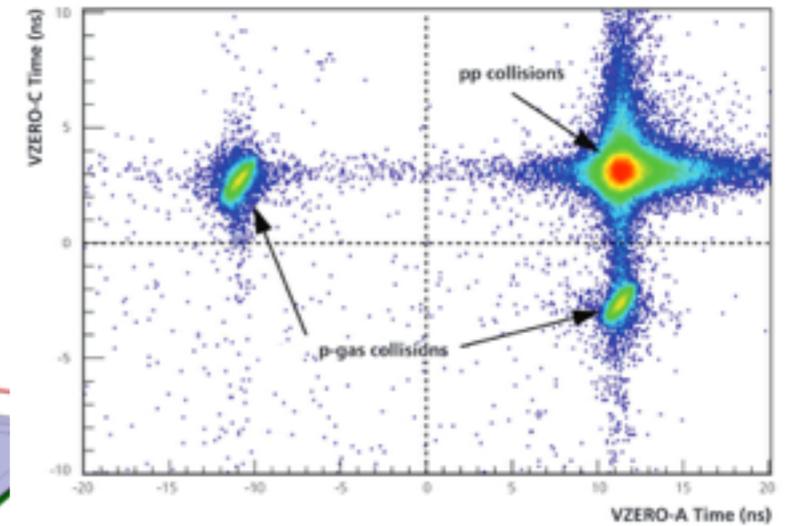
THE ALICE DETECTOR

VZERO
estimador de
la actividad
de los eventos
y trigger

1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCal
8. DCal
9. PHOS, CPV
10. L3 Magnet
11. Absorber
12. Muon Tracker
13. Muon Wall
14. Muon Trigger
15. Dipole Magnet
16. PMD
17. AD
18. ZDC
19. ACORDE



- a. ITS SPD (Pixel)
- b. ITS SDD (Drift)
- c. ITS SSD (Strip)
- d. V0 and T0
- e. FMD

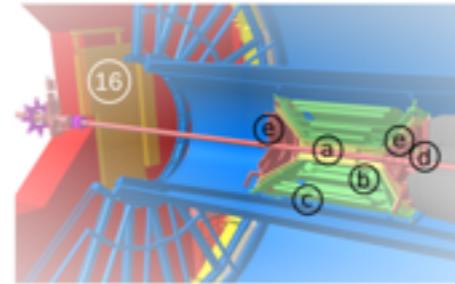
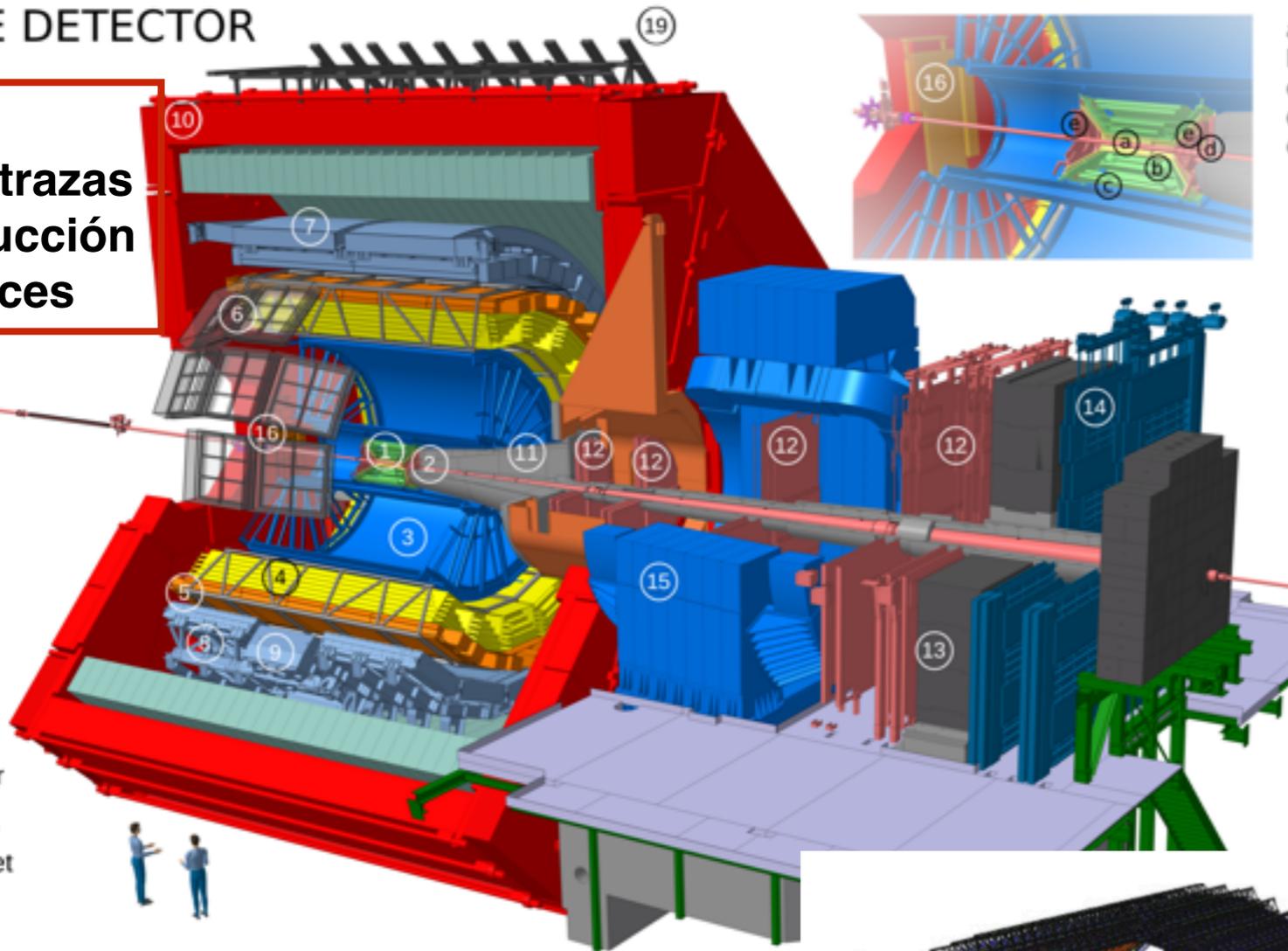


2. ALICE en el LHC

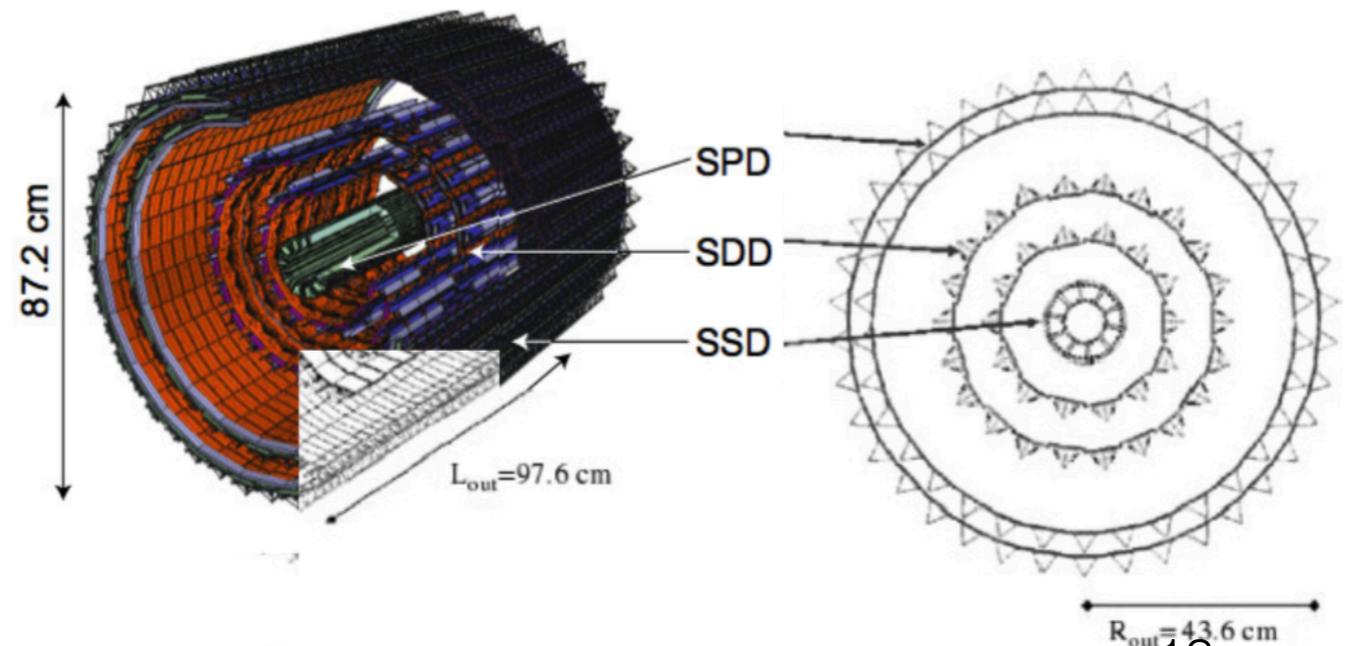
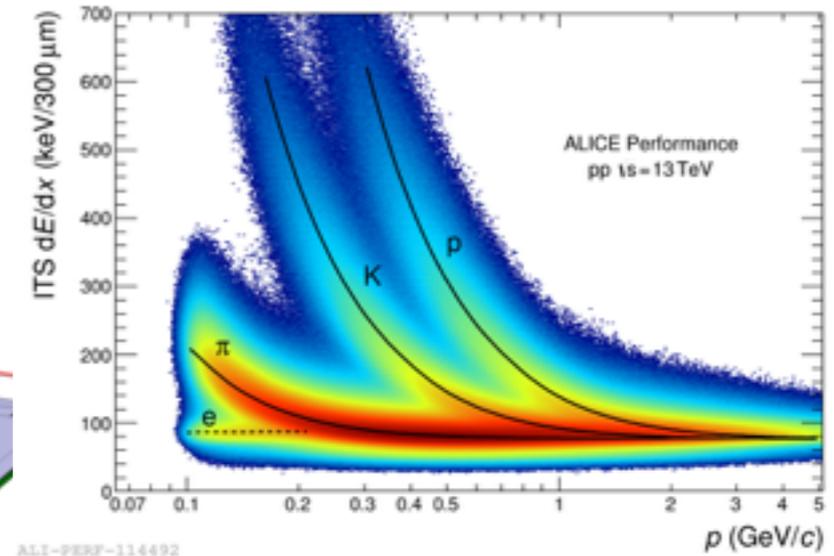
THE ALICE DETECTOR

ITS
rastreo de trazas y reconstrucción de vértices

1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCal
8. DCal
9. PHOS, CPV
10. L3 Magnet
11. Absorber
12. Muon Tracker
13. Muon Wall
14. Muon Trigger
15. Dipole Magnet
16. PMD
17. AD
18. ZDC
19. ACORDE



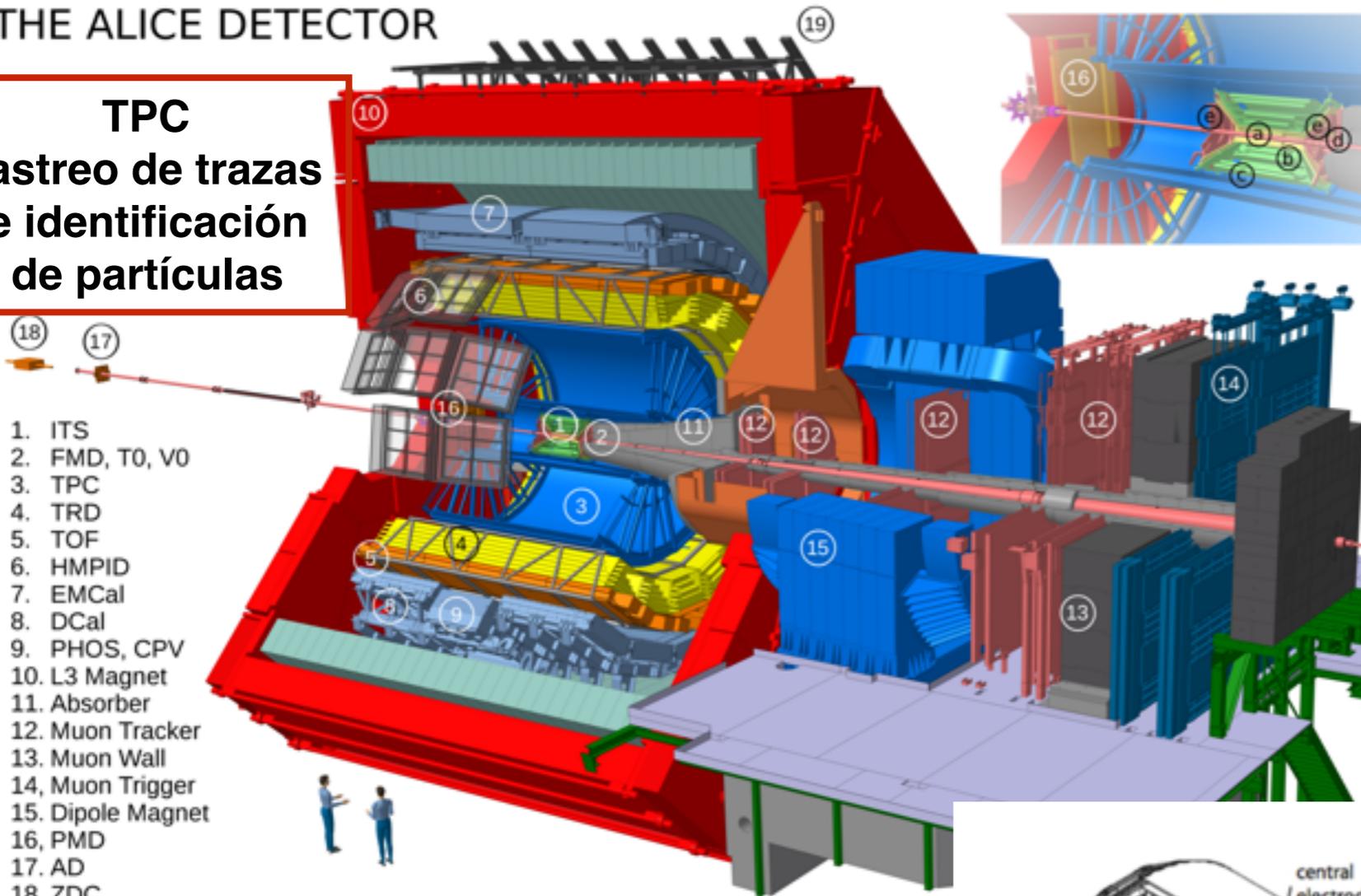
- a. ITS SPD (Pixel)
- b. ITS SDD (Drift)
- c. ITS SSD (Strip)
- d. V0 and T0
- e. FMD



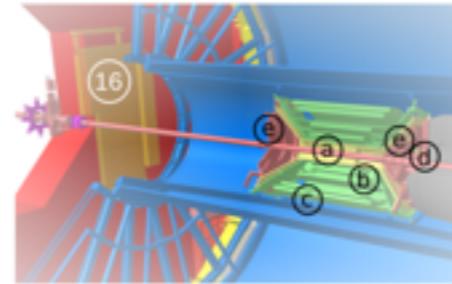
2. ALICE en el LHC

THE ALICE DETECTOR

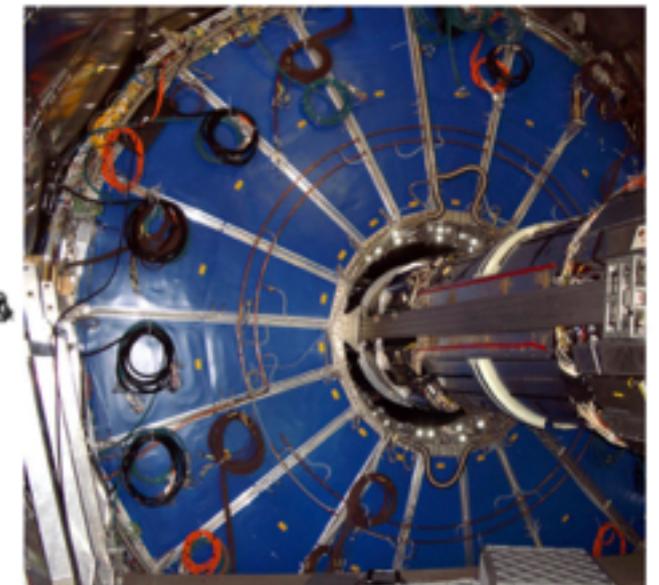
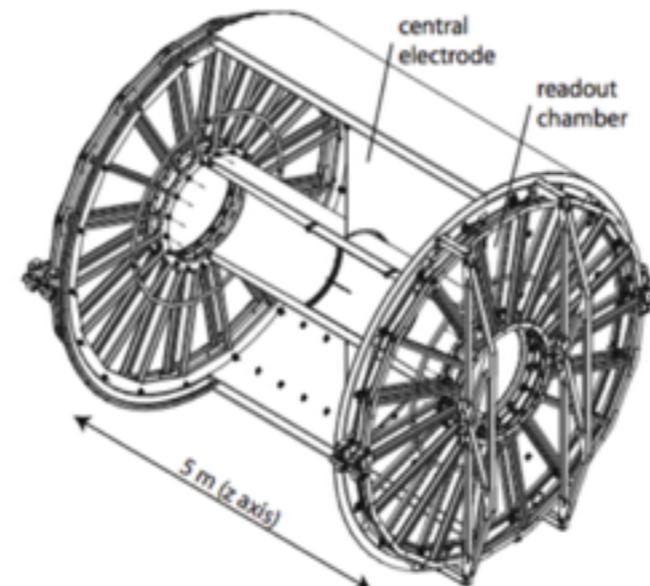
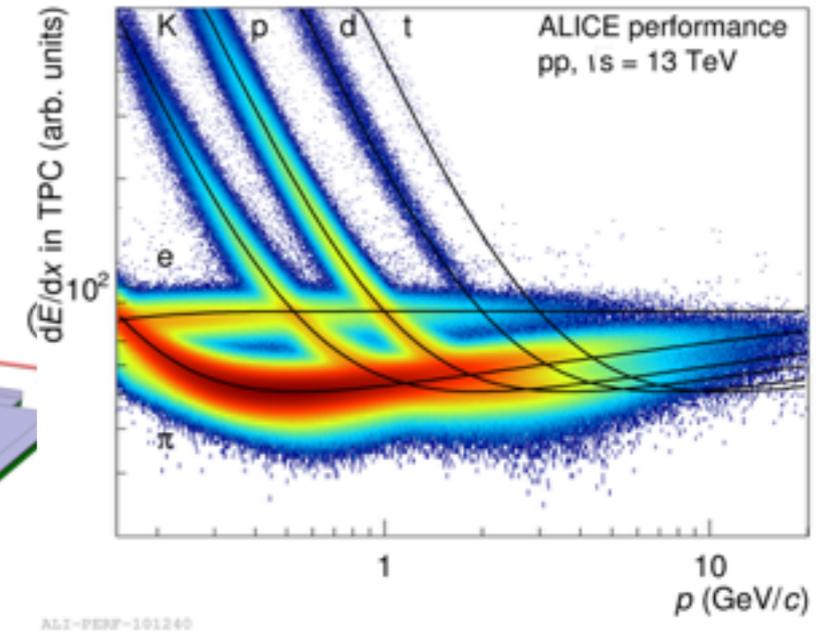
TPC
rastreo de trazas e identificación de partículas



1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCal
8. DCal
9. PHOS, CPV
10. L3 Magnet
11. Absorber
12. Muon Tracker
13. Muon Wall
14. Muon Trigger
15. Dipole Magnet
16. PMD
17. AD
18. ZDC
19. ACORDE



- a. ITS SPD (Pixel)
- b. ITS SDD (Drift)
- c. ITS SSD (Strip)
- d. V0 and T0
- e. FMD

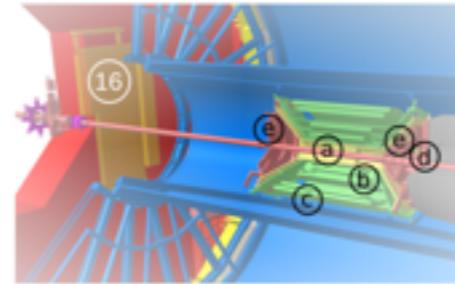
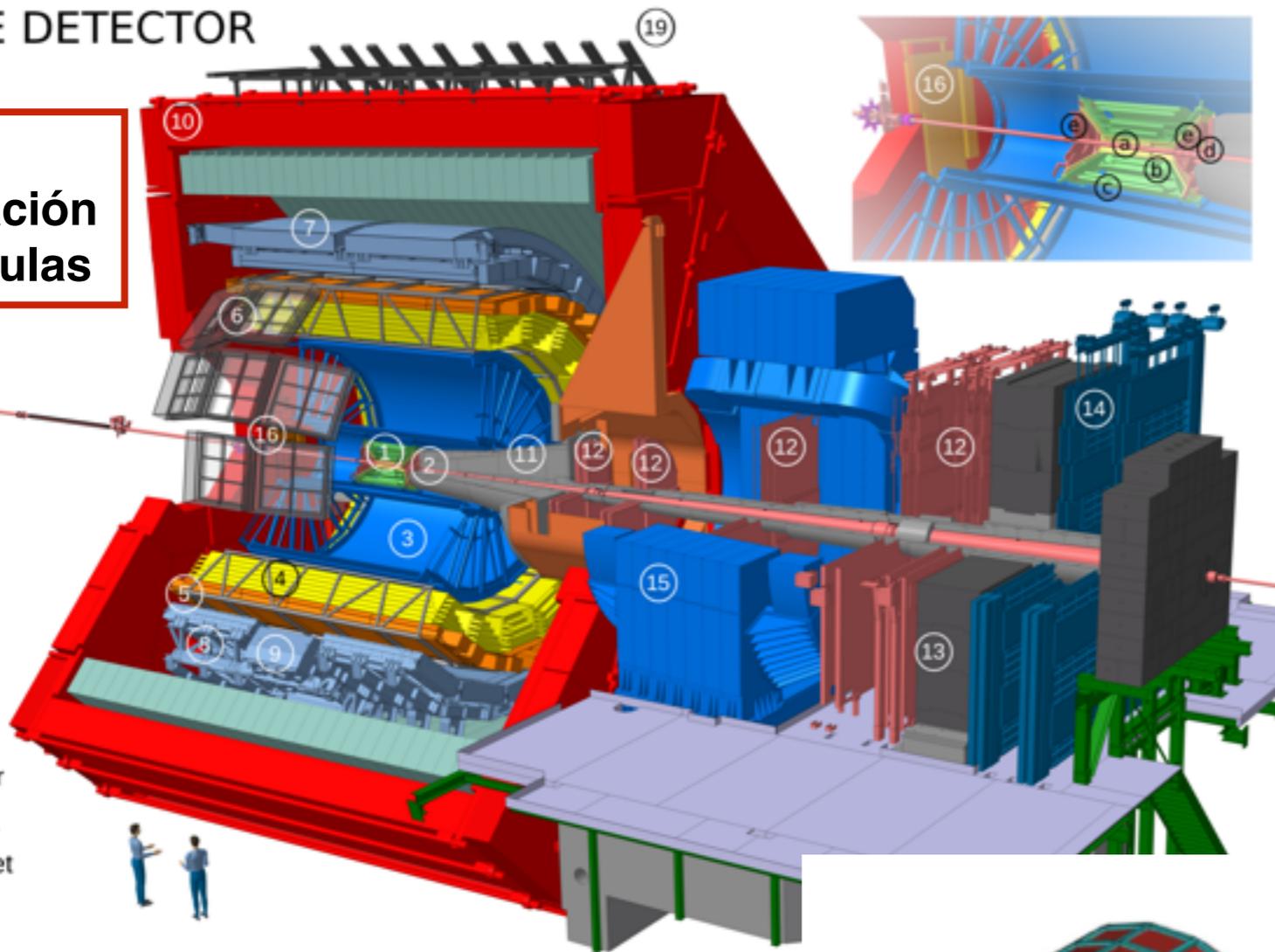


2. ALICE en el LHC

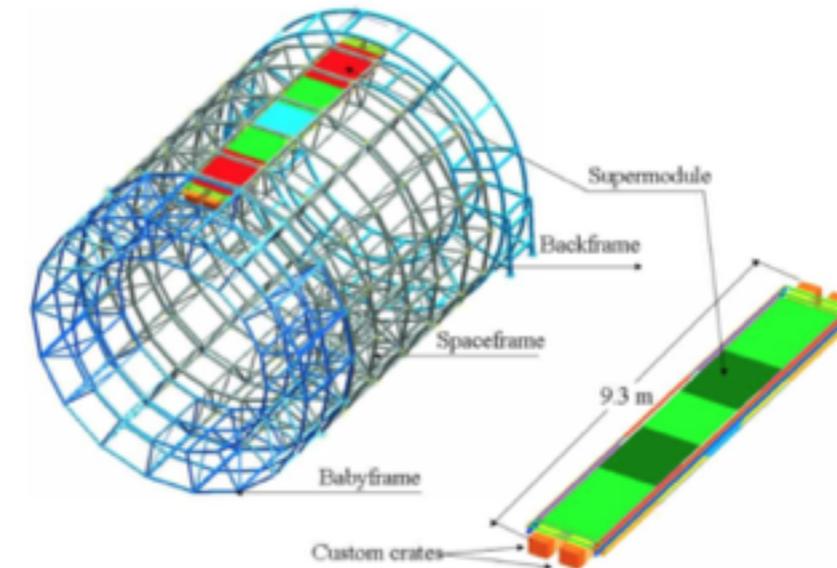
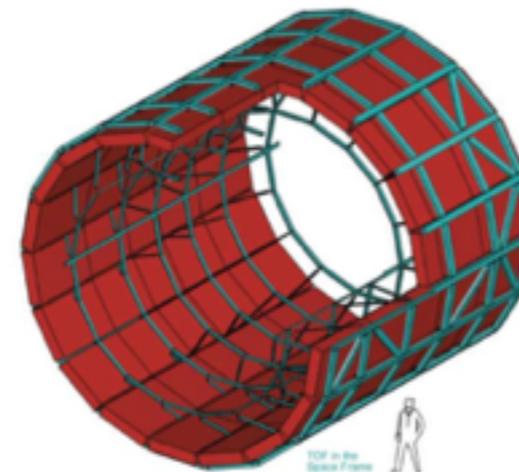
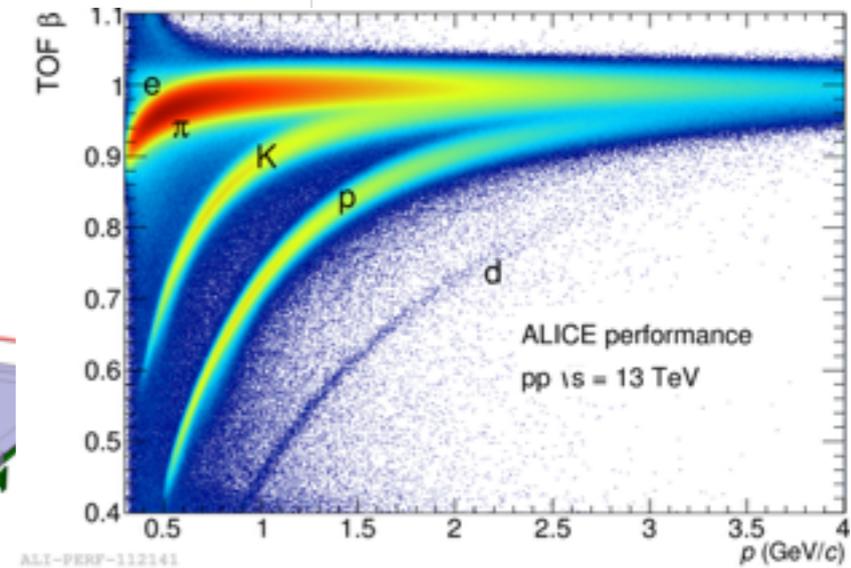
THE ALICE DETECTOR

TOF
identificación
de partículas

1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. EMCal
8. DCal
9. PHOS, CPV
10. L3 Magnet
11. Absorber
12. Muon Tracker
13. Muon Wall
14. Muon Trigger
15. Dipole Magnet
16. PMD
17. AD
18. ZDC
19. ACORDE



- a. ITS SPD (Pixel)
- b. ITS SDD (Drift)
- c. ITS SSD (Strip)
- d. V0 and T0
- e. FMD

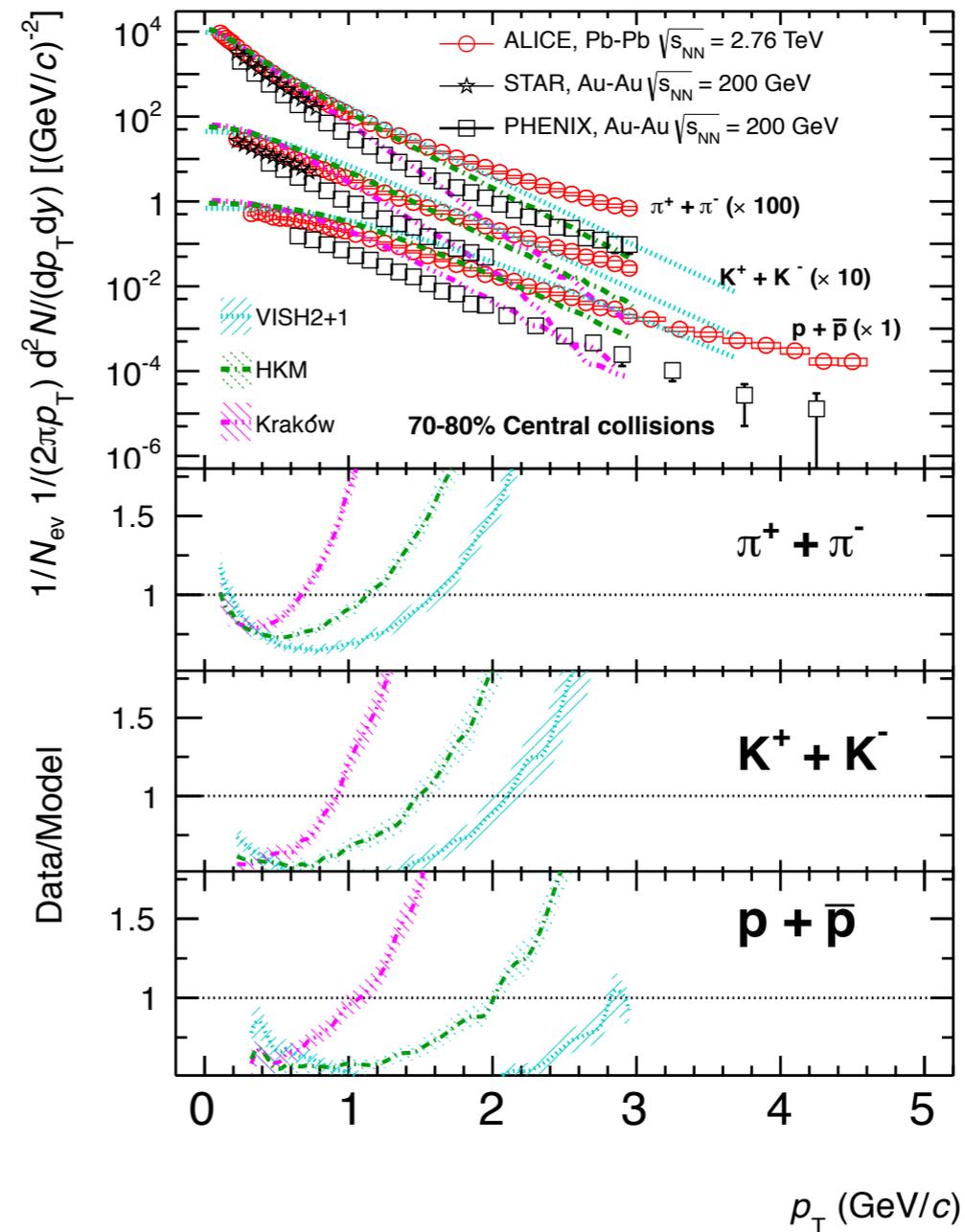
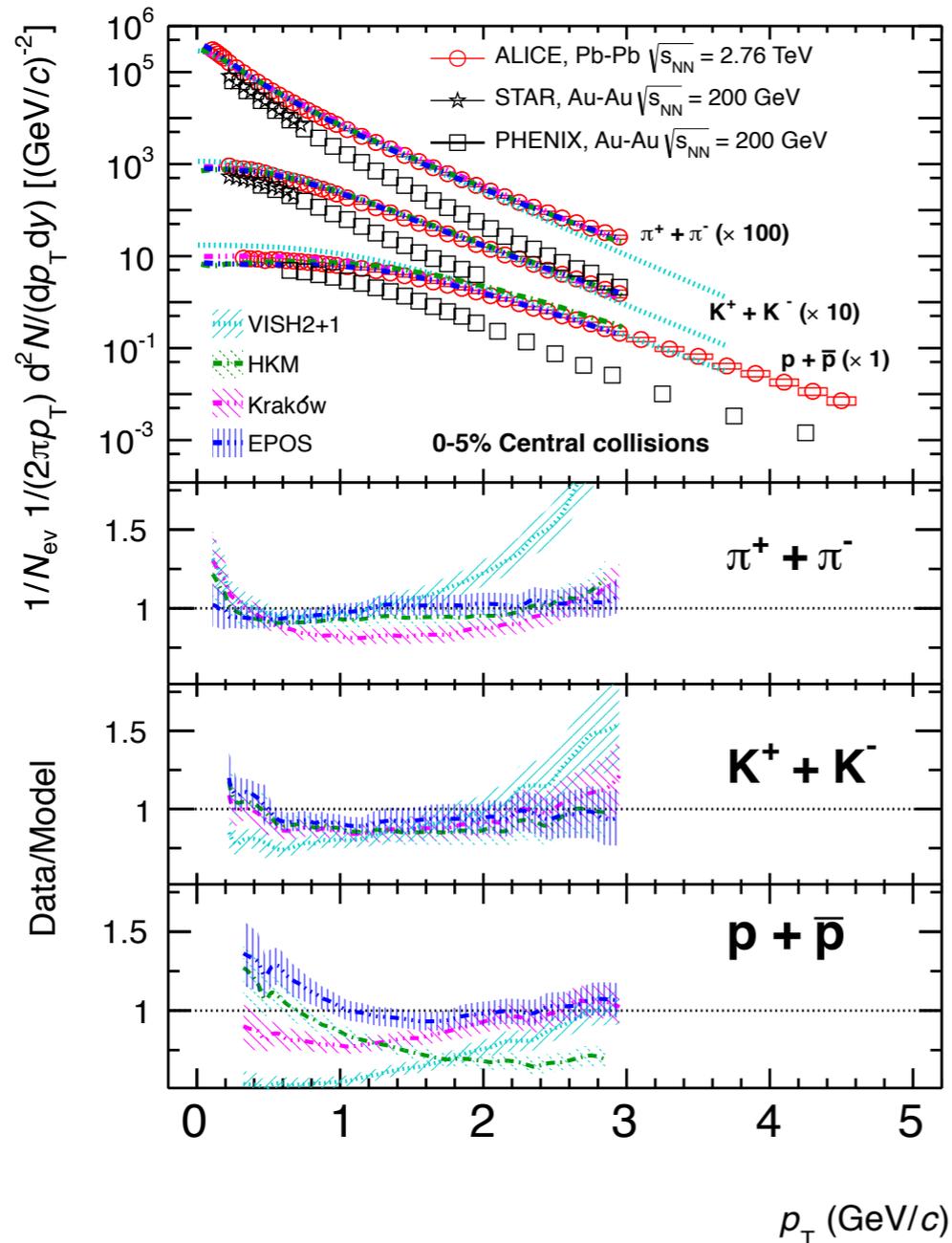


3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Pruebas de física suave ($p_T < 2\text{GeV}/c$)

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



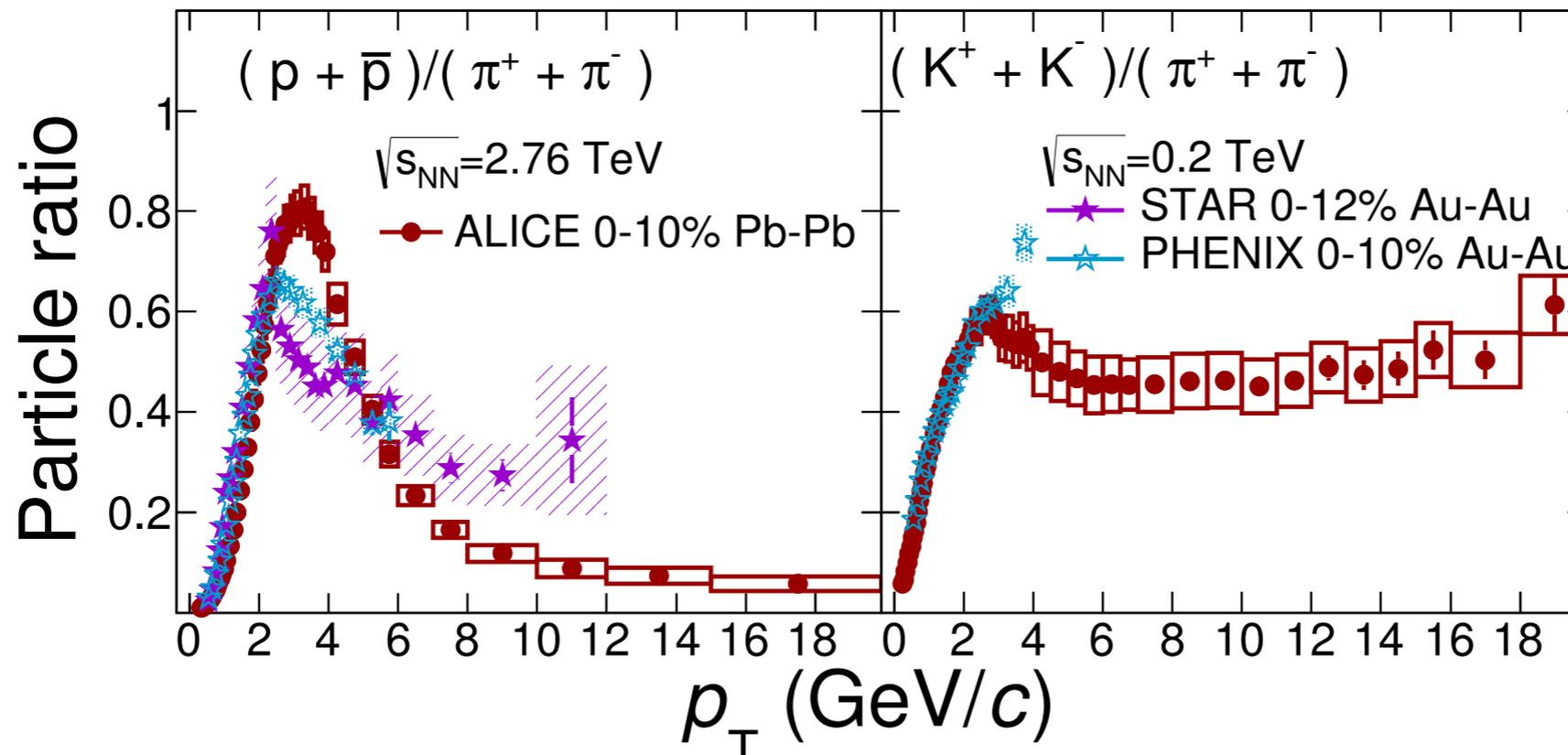
El espectro de partículas para colisiones centrales de PbPb muestran ser descritas por **modelos hidrodinámicos** excepto a bajo p_T , no así para colisiones periféricas.

3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Pruebas de física suave ($p_T < 2\text{GeV}/c$)

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



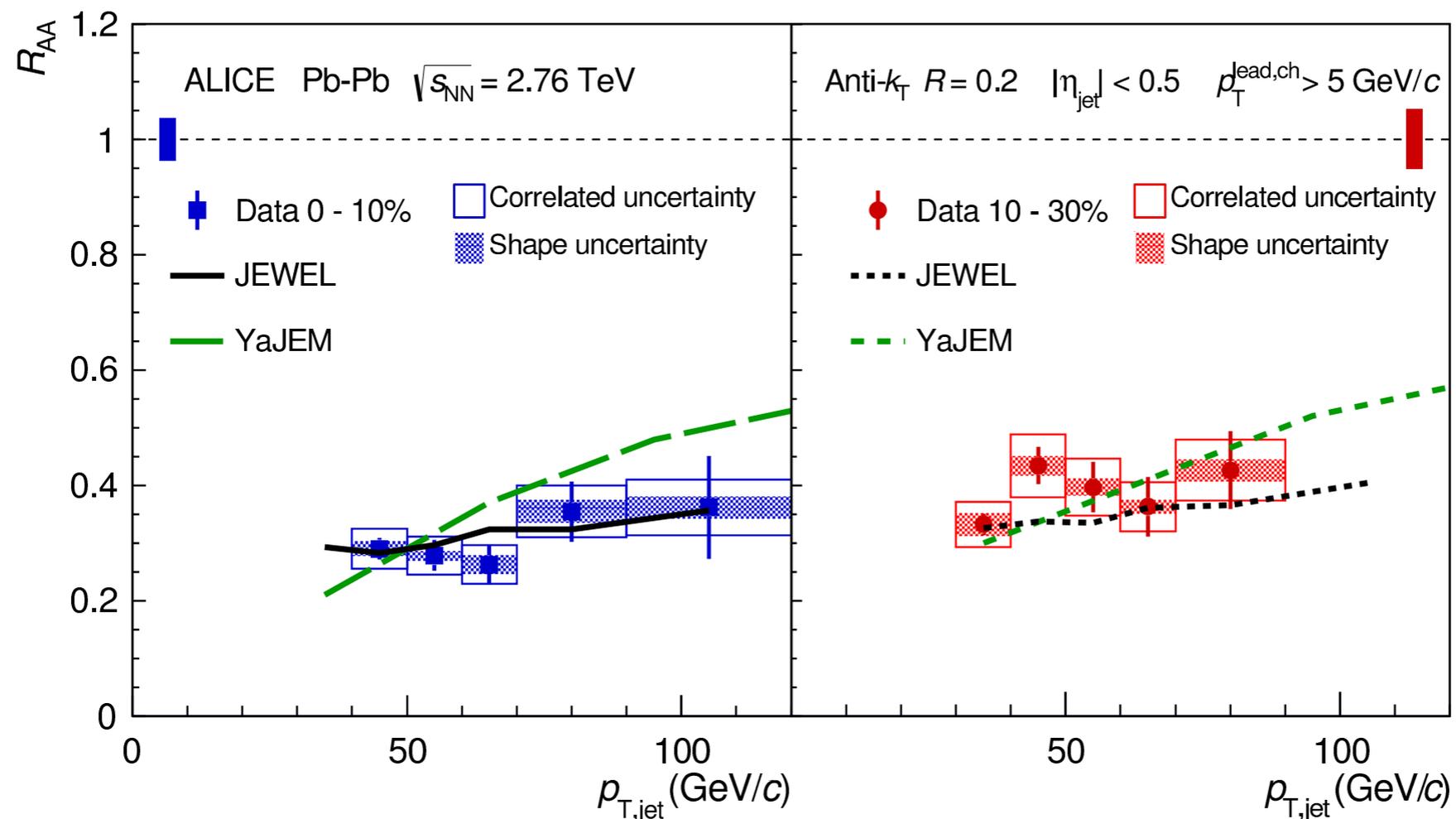
La elevación en la razón protón pión, tan alta del LHC comparada con RHIC, es consistente con el incremento promedio de la velocidad de flujo radial

3. Resultados recientes de ALICE: QGP en sistemas pequeños

Estudio de jets

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033

$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{\text{coll}} \rangle} \frac{d\sigma^{AA}/dp_T}{d\sigma^{pp}/dp_T}$$



El estudio del factor de modificación nuclear en jets muestra **supresión en colisiones PbPb** relativos a colisiones pp.

3. Resultados recientes de ALICE:

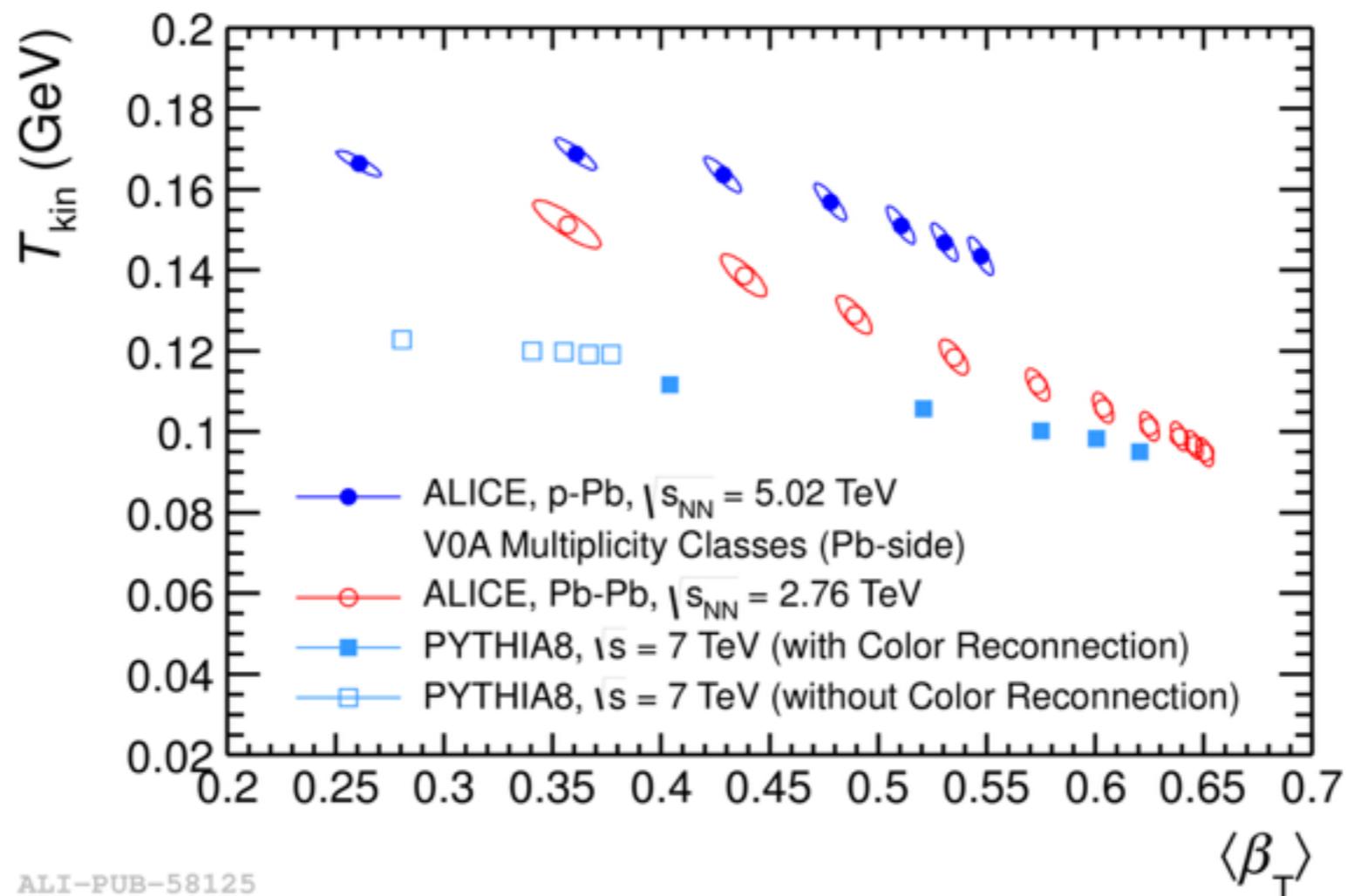
QGP en sistemas pequeños

Flujo hidrodinámico y análisis de expansión de onda

(BW, por siglas de Blast Wave)

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033

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



ALI-PUB-58125

$\langle \beta_T \rangle$

Para el análisis BW hay un **comportamiento similar** dependiente de N_{ch} característico de **flujo hidrodinámico**, PYTHIA con **CR parece comportarse igual sin incluir hidrodinámica**.

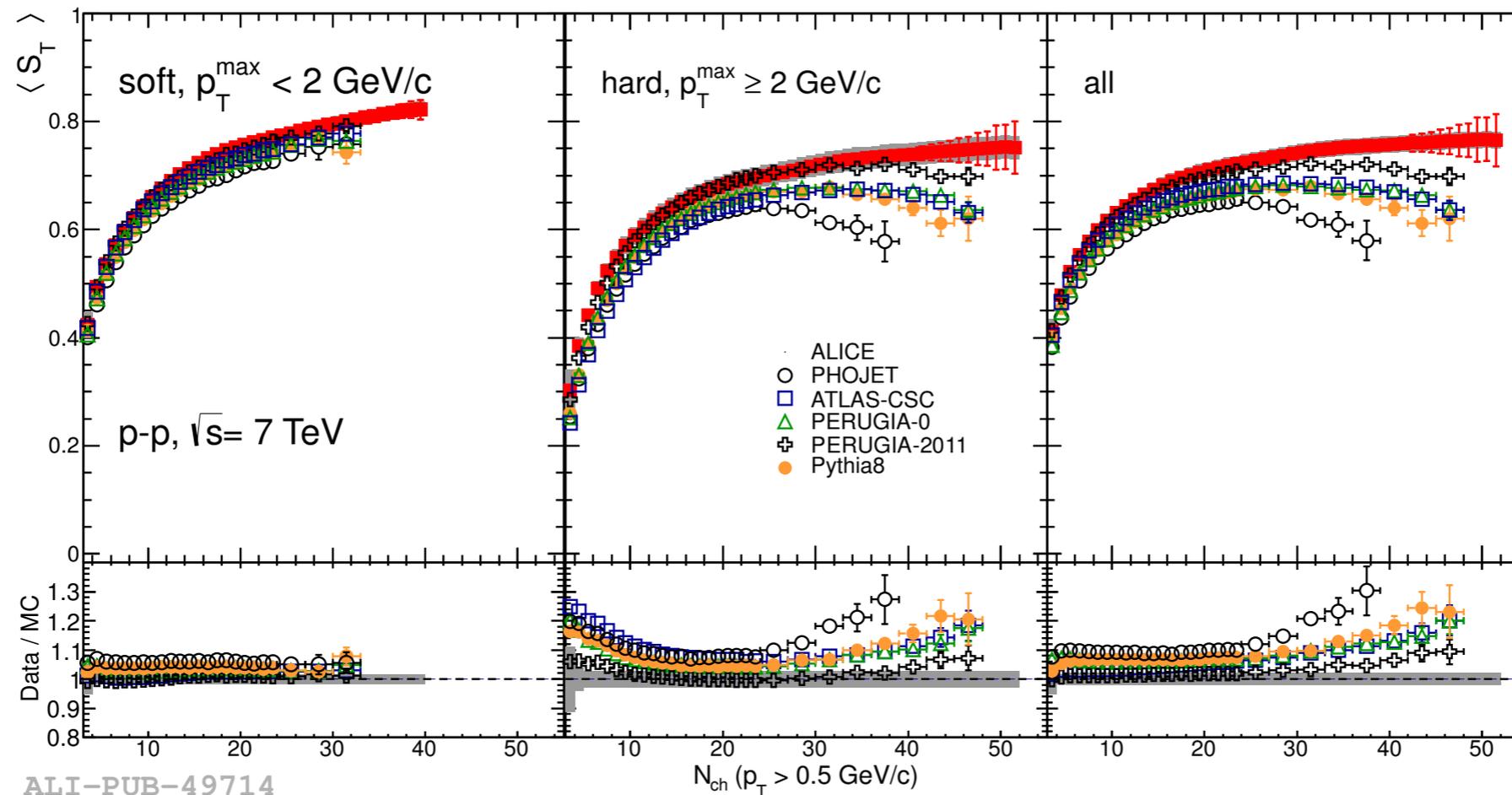
3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Comportamiento de tipo flujo en sistemas pequeños

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
 J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033

$$S_{x,y}^L = \frac{1}{\sum_i p_{Ti}} \sum_i \frac{1}{p_{Ti}} \begin{pmatrix} p_{xi}^2 & p_{xi}p_{yi} \\ p_{yi}p_{xi} & p_{yi}^2 \end{pmatrix} \quad S_T = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$$



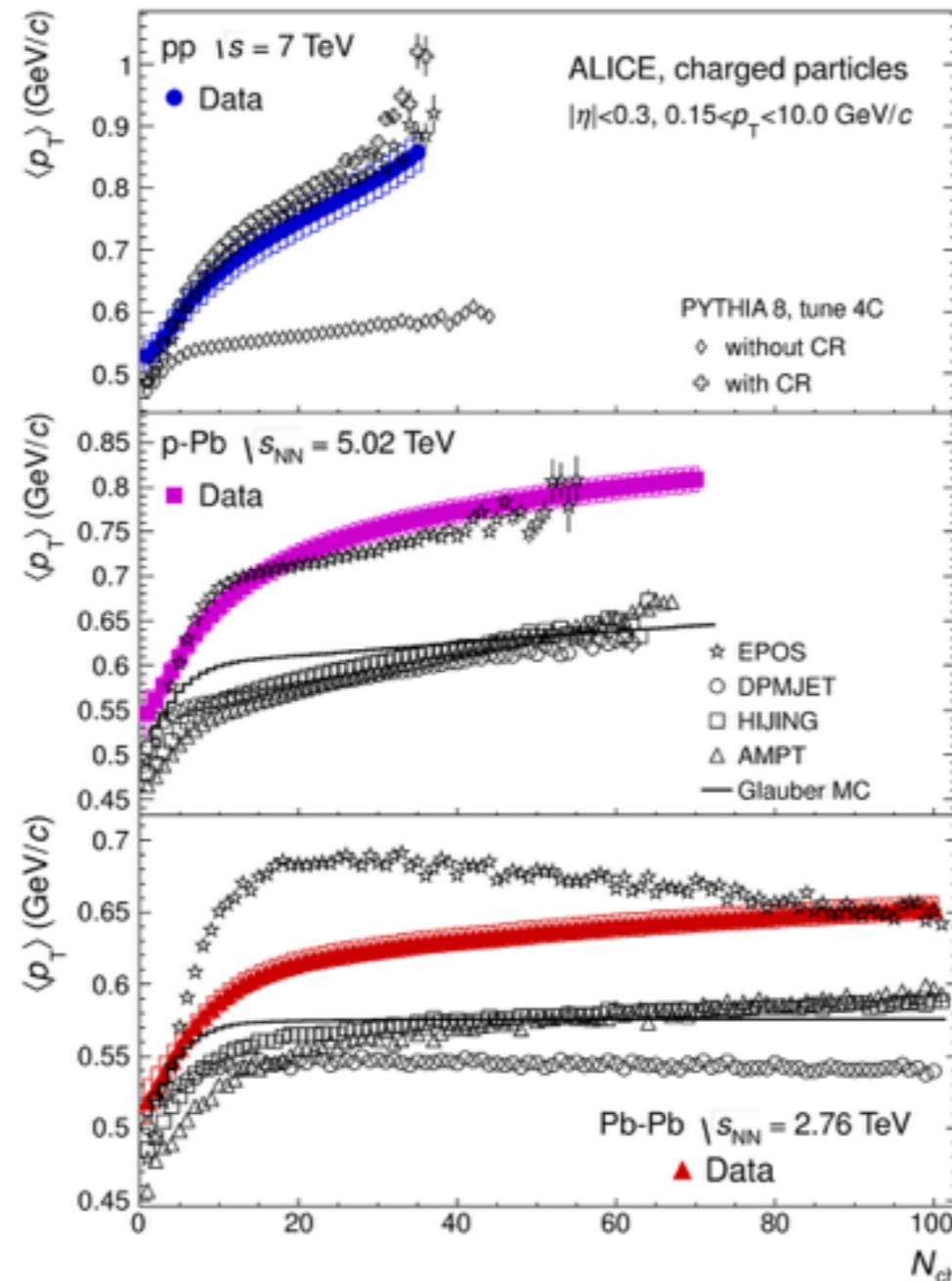
Para esfericidad, el **MC difiere** de los datos mostrando un decrecimiento **a alta N_{ch}** .

3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Comportamiento de tipo flujo en sistemas pequeños

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



Para el $\langle p_T \rangle$ se observa que **CR muestra en colisiones pp el incremento a alta N_{ch}** , mientras que pPb el comportamiento del $\langle p_T \rangle$ parece ser descrito por EPOS

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Basado en:

1. Revealing the source of the radial flow patterns in proton–proton collisions using hard probes

Antonio Ortiz (Mexico U., ICN), Gyula Bencedi (Mexico U., ICN & Wigner RCP, Budapest), Héctor Bello (Mexico U., ICN & Puebla U., Mexico).

Published in *J.Phys.* **G44** (2017) no.6, 065001

DOI: [10.1088/1361-6471/aa6594](https://doi.org/10.1088/1361-6471/aa6594)

e-Print: [arXiv:1608.04784](https://arxiv.org/abs/1608.04784) [hep-ph] | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)

[ADS Abstract Service](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 10 records](#)

Se realizó un análisis Monte Carlo para hadrones de sabor ligero, donde se mostrará como en los modelos con hidrodinámica o reconexión por color, el contenido de jets afecta a las mediciones como la razón protón pión y el análisis de Blast Wave.

Para esto se utilizó:

Generador Pythia 8.212 tune Monash 2013 (900 millones de eventos)

Generador EPOS 3.117 (1000 millones de eventos)

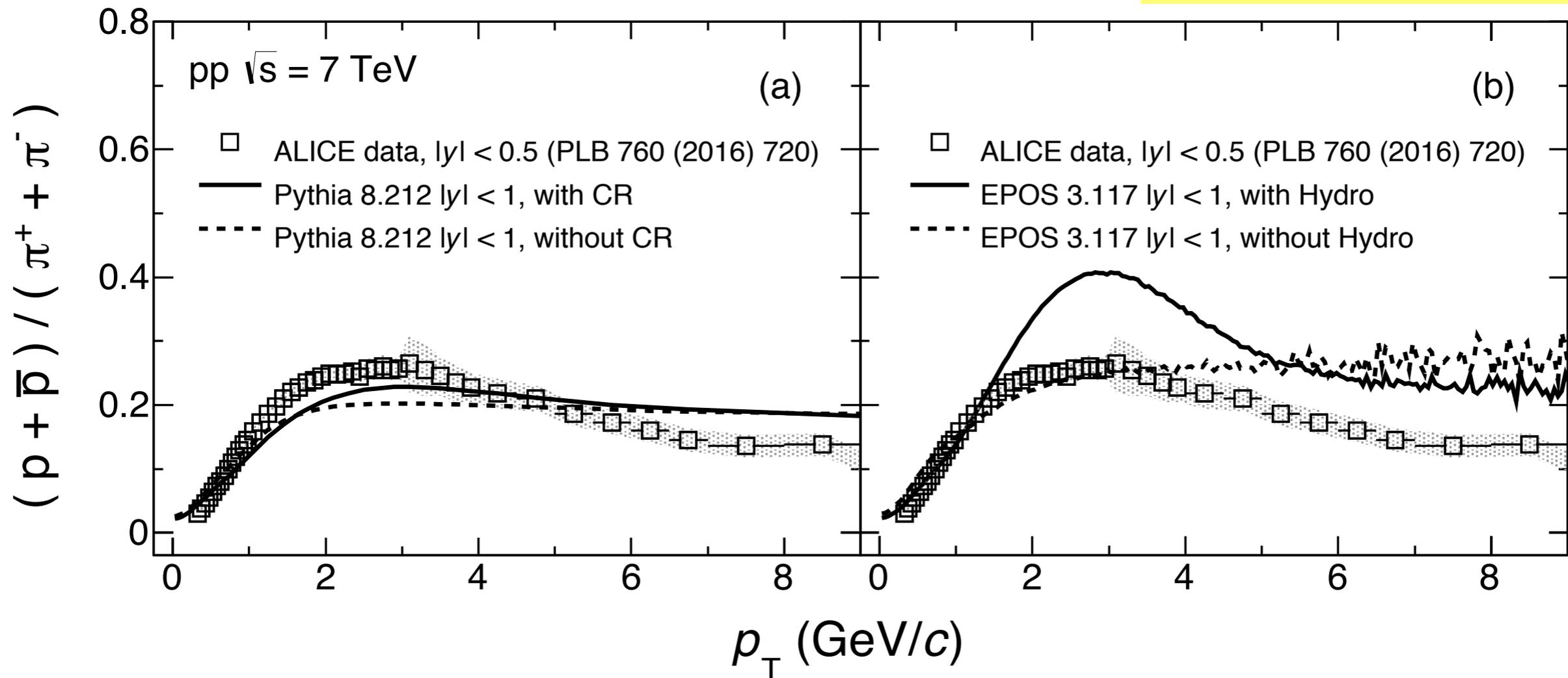
Buscador de jets FastJet 3.1.3 (Algoritmo anti- k_T , $R=0.4$, $p_{Tmin}=5$ GeV, p_T máximo en dispersiones partónicas 25 GeV)

Partículas estables y primarias fueron consideradas para la reconstrucción de jets.

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Razón protón a pión EPOS 3, PYTHIA 8.212 y datos de ALICE

Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001

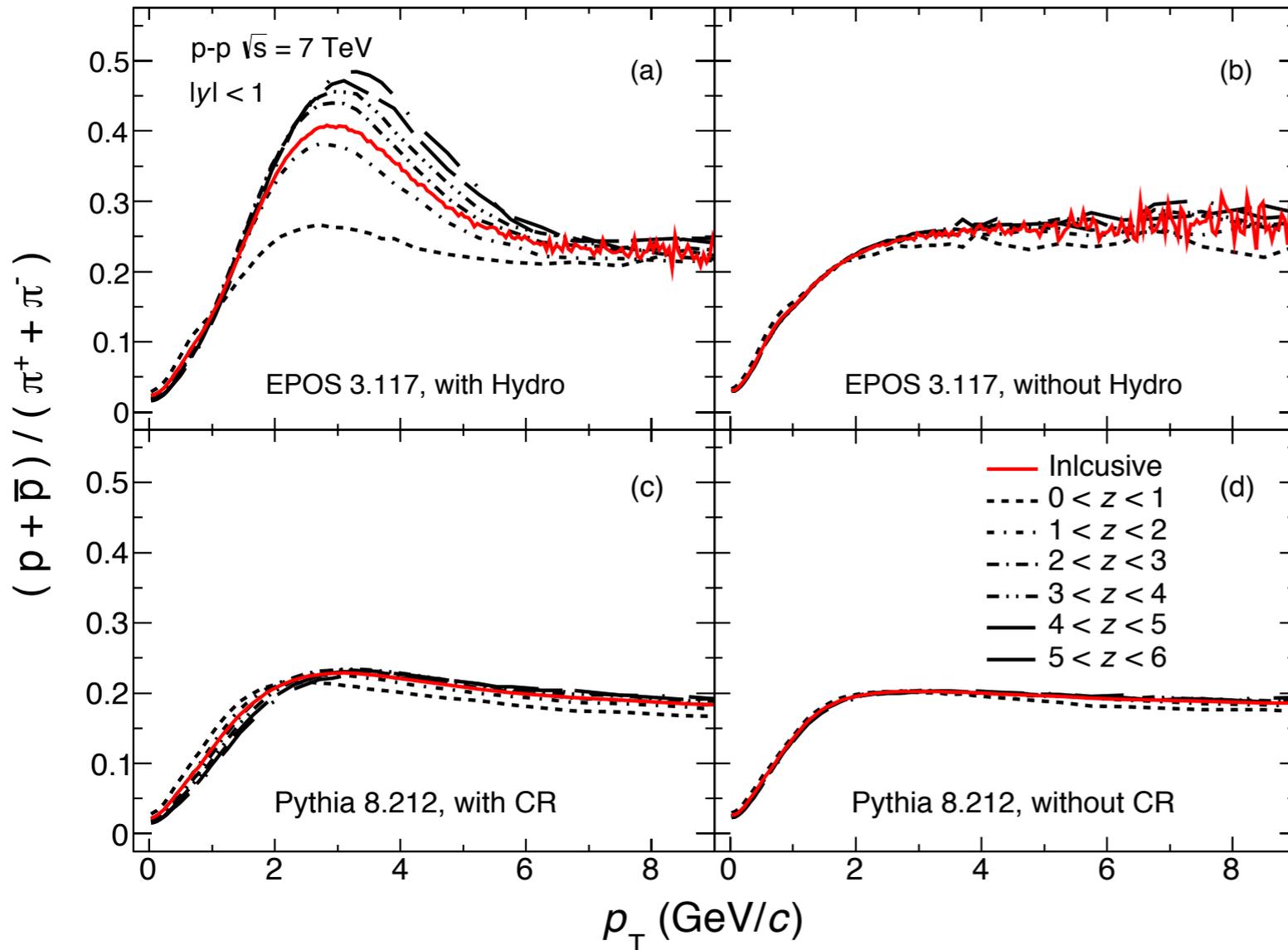


El aumento en la razón (2-3 GeV) es reproducido cuando hidrodinámica es activado.
Ningún modelo reproduce bien el comportamiento

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Razón protón a pión EPOS 3 y PYTHIA 8.212 comparación con modelos (con/sin Hidrodinámica o CR)

Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001



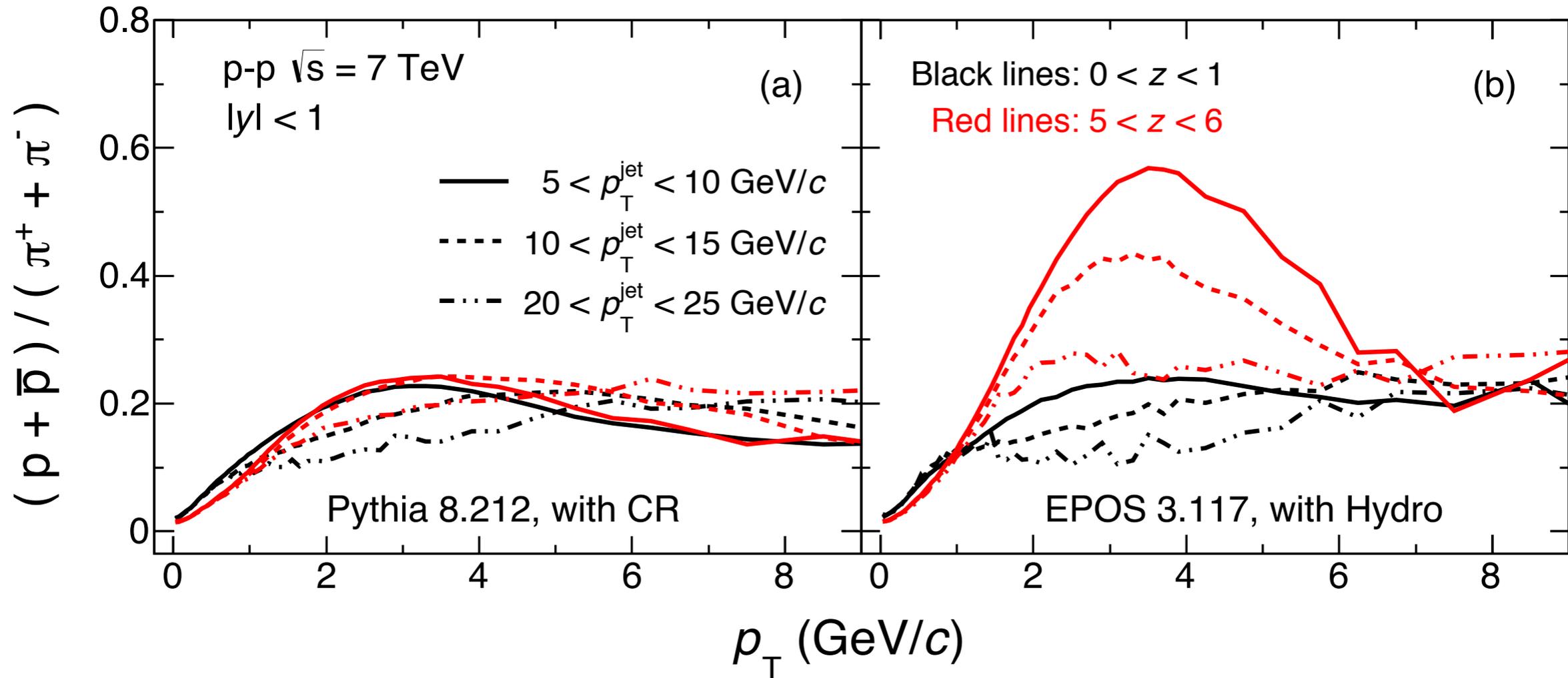
$\langle \frac{dN_{ch}}{d\eta} \rangle_{ \eta <1}$	$\frac{dN_{ch}/d\eta}{\langle dN_{ch}/d\eta \rangle_{ \eta <1}} (\equiv z)$	$\langle p_T^{jet} \rangle_{ \eta <1}$ (GeV/c)	% of events with $p_T^{jet} > 5$ GeV/c
2.12	$0 < z < 1$	7.09	1.03
8.12	$1 < z < 2$	7.49	13.1
13.6	$2 < z < 3$	7.83	37.3
19.0	$3 < z < 4$	8.48	63.7
24.4	$4 < z < 5$	9.56	83.2
29.8	$5 < z < 6$	11.1	93.9
35.2	$6 < z < 7$	13.2	98.2
40.6	$7 < z < 8$	16.1	99.5
46.1	$8 < z < 9$	19.7	99.8

La dependencia de la multiplicidad para la razón es visto cuando hidrodinámica es activado, el efecto no es producido en PYTHIA

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Razón protón a pión usando reconstrucción de jets

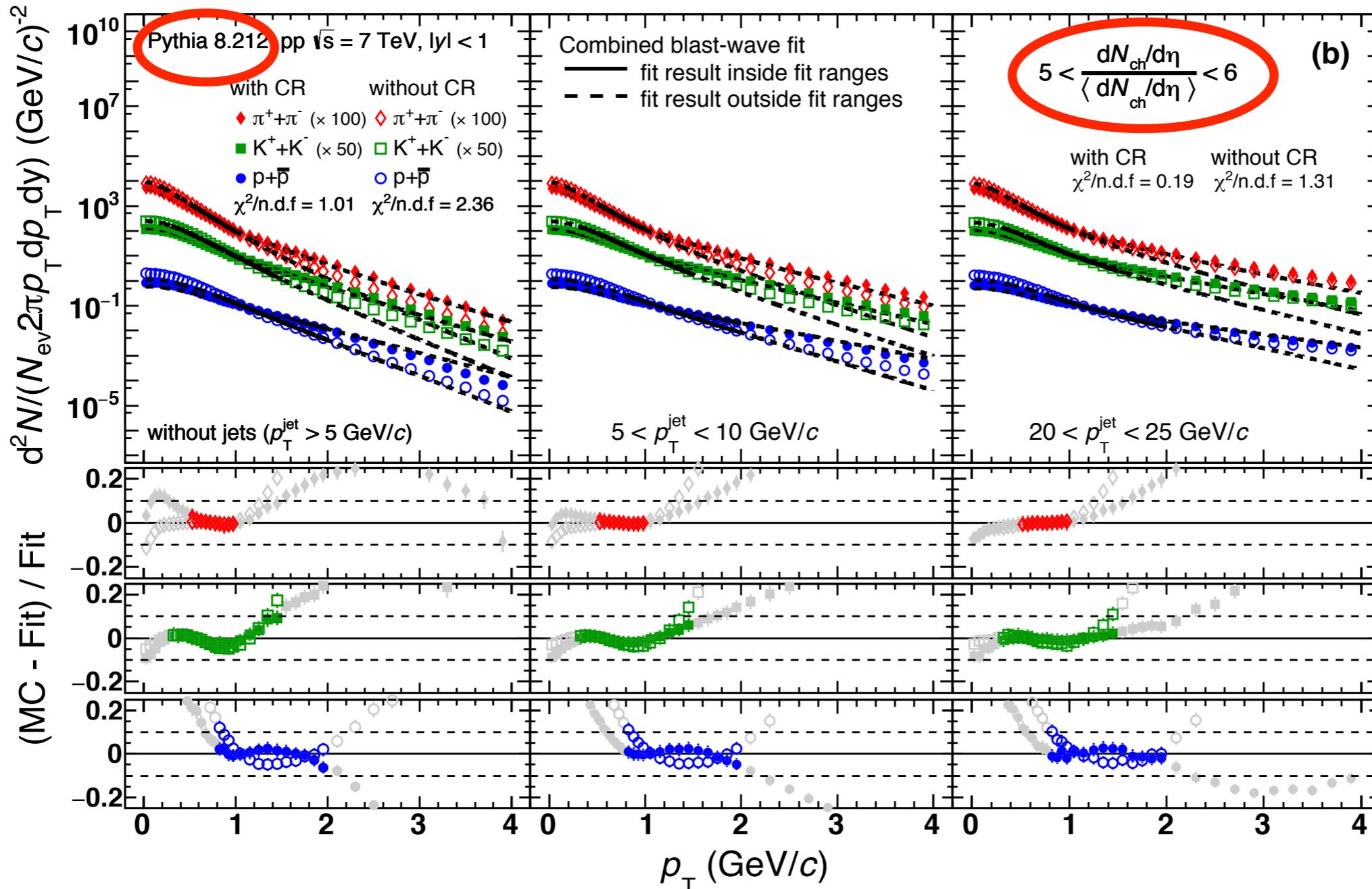
Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001



Los jets de dispersión dura mueven la elevación del pico a alto p_T en PYTHIA y suprime la elevación en EPOS.

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Ajustes tipo Blast Wave para la producción invariante de partículas en PYTHIA 8



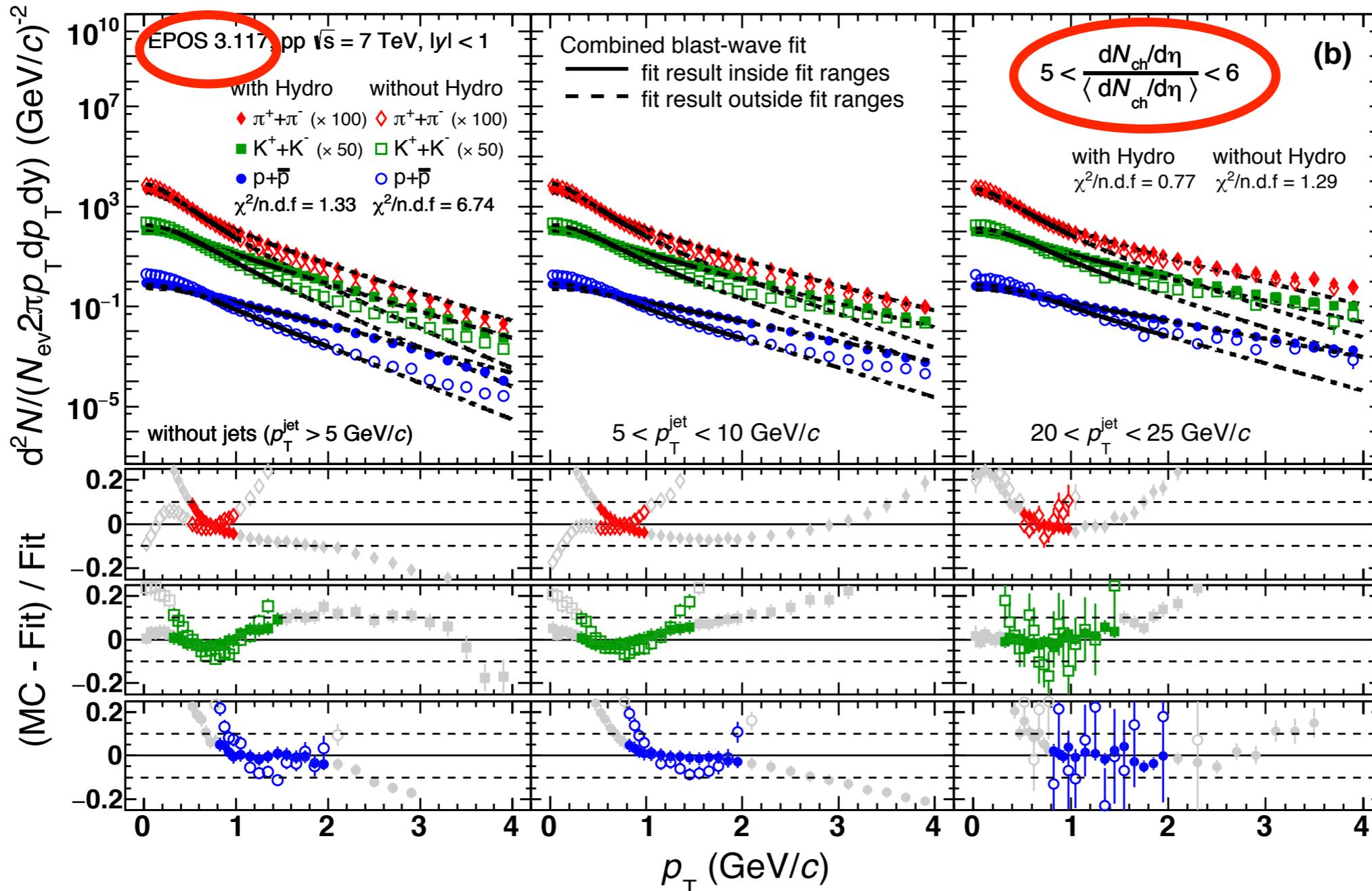
Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
 J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001

π K p
 0.5-1.0 0.3-1.5 0.8-2.0
 p_T ranges (GeV/c)

A alta N_{ch} el modelo falla en describir los espectros de p_T cuando no hay CR.
 Con CR hay mejor acuerdo y mejora conforme incrementa el p_{Tjet} .

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Ajustes tipo Blast Wave para la producción invariante de partículas en EPOS 3

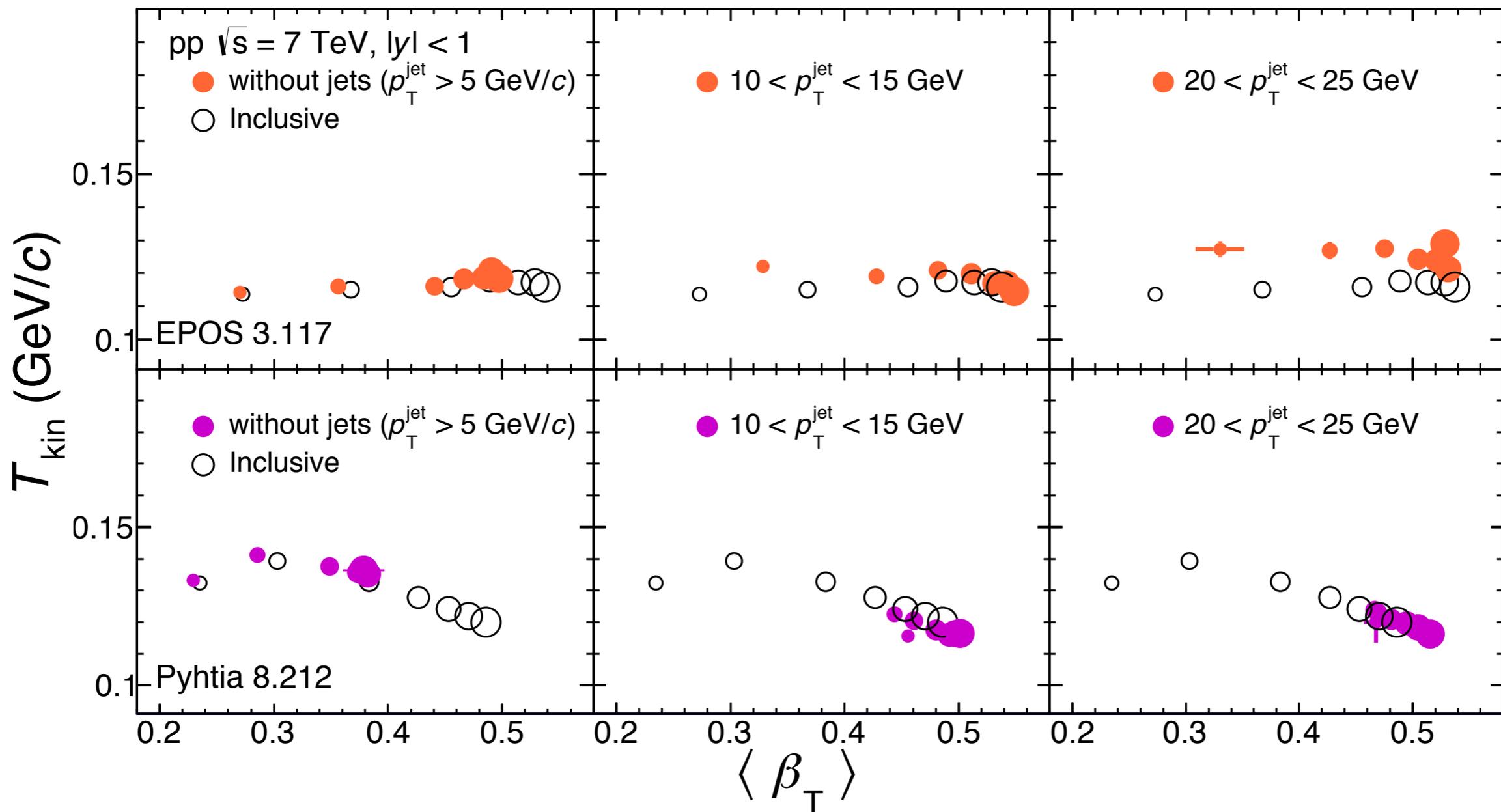


Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
 J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001

Los jets de dispersión dura mueven la elevación del pico a alto p_T en PYTHIA y suprime la elevación en EPOS.

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Parámetros del modelo tipo Blast Wave EPOS 3 vs PYTHIA 8



Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001

Para eventos con jets y en el mismo rango de multiplicidad $\langle \beta_T \rangle$ incrementa con respecto al caso inclusivo. PHYTIA muestra fuerte dependencia con $p_{T\text{jet}}$

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Conclusiones del primer trabajo

- La razón protón-pión muestra una elevación a 3 GeV, una clasificación más diferencial fue hecha usando el momento transverso del jet líder, a baja multiplicidad aparecen patrones de flujo radial con hidrodinámica y los efectos de CR son pequeños.
- Para eventos de alta N_{ch} la composición de partículas difiere en PYTHIA 8 y EPOS 3, visible en la razón protón pión cuando la multiplicidad varía, EPOS 3 cambia y PYTHIA 8 no.
- El BW y el espectro para sabores ligeros mejoran cuando el p_T del jet líder incrementa, sugiriendo la presencia de comportamiento colectividad debido a jets.
- Se encontró que la dependencia de la multiplicidad en la β_T promedio es mayormente afectada por jets en PYTHIA 8 más que en EPOS 3.

Motivados por este análisis se introdujo la variable esferocidad como nueva herramienta en ALICE para controlar el contenido de jets en la medición de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch}

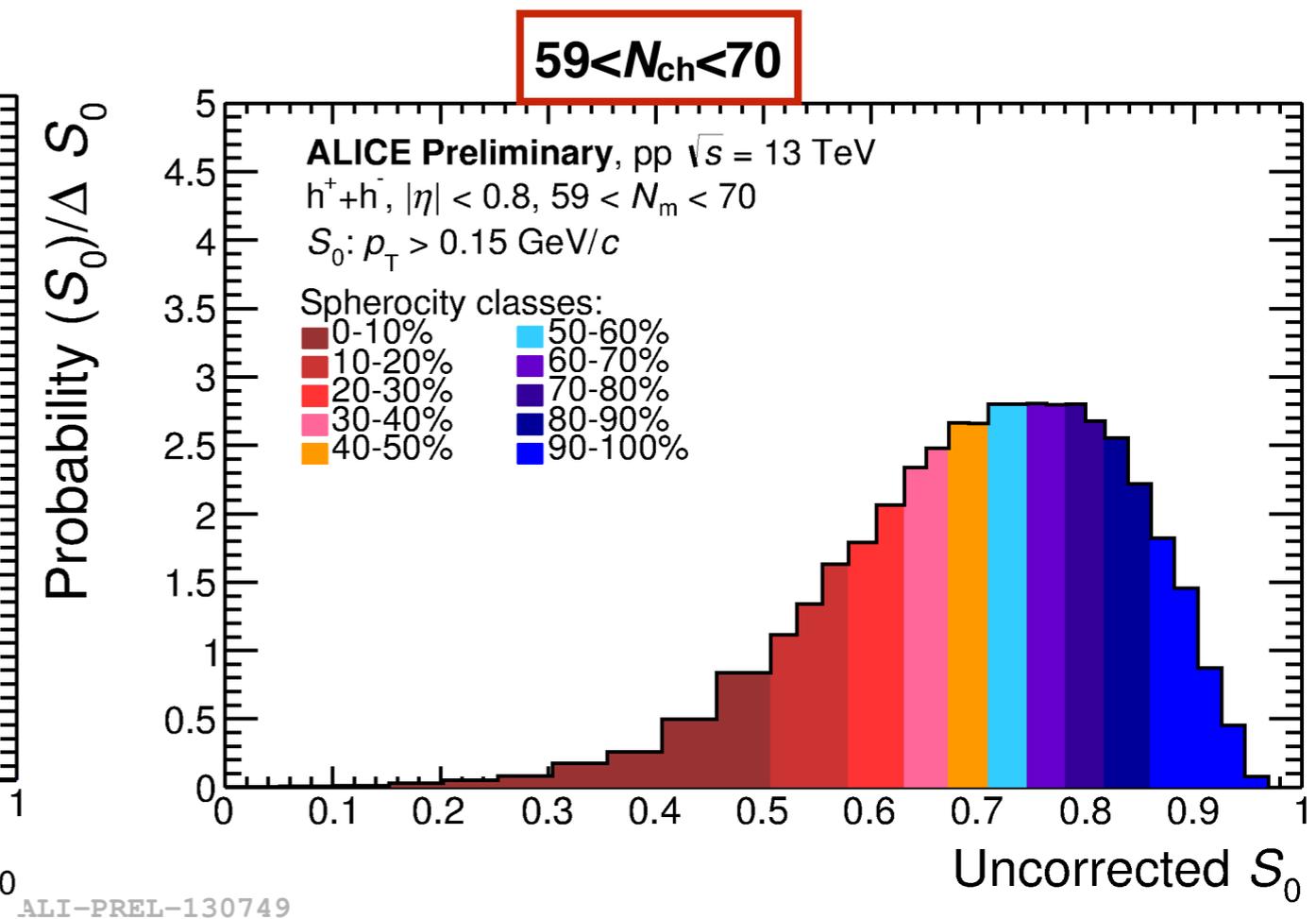
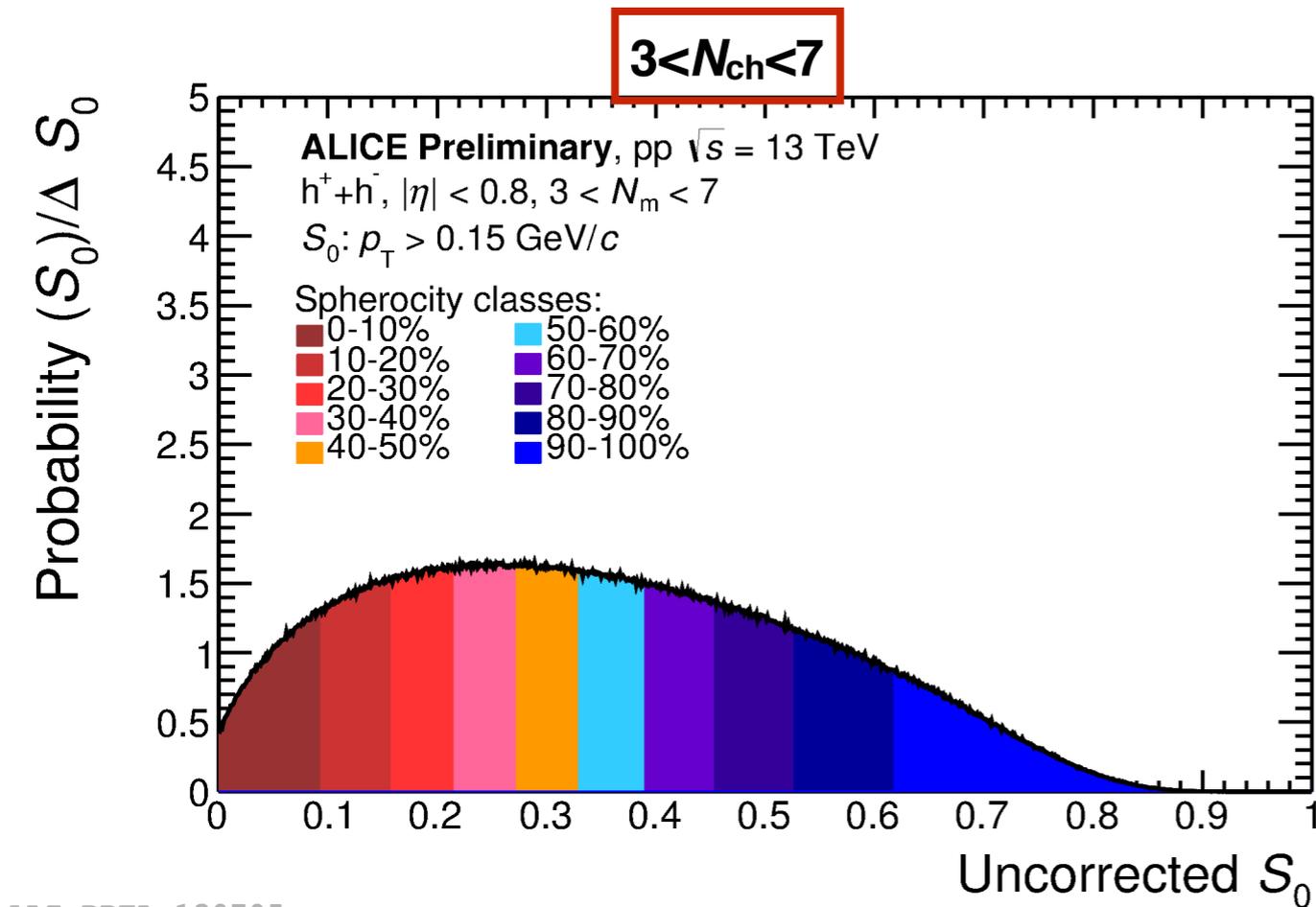
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Detalles del análisis $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} vs S_0

Se usaron datos (Minimum Bias, MB) pp $\sqrt{s} = 13$ TeV (59 millones de eventos)

Selección en multiplicidad (N_{ch}): Trazas de partículas cargadas en $|\eta| < 0.8$

La esferocidad fue calculada requiriendo más de 2 trazas ($p_T > 0.15$ GeV/c, $|\eta| < 0.8$)



ALI-PREL-130705

ALI-PREL-130749

Los eventos son clasificados de acuerdo a su esferocidad percentil, los eventos con forma de dijet (isotrópicos) son representados por la clase 0-10% (90-100%)



dijets

incremento de la multiplicidad

Isotropicos

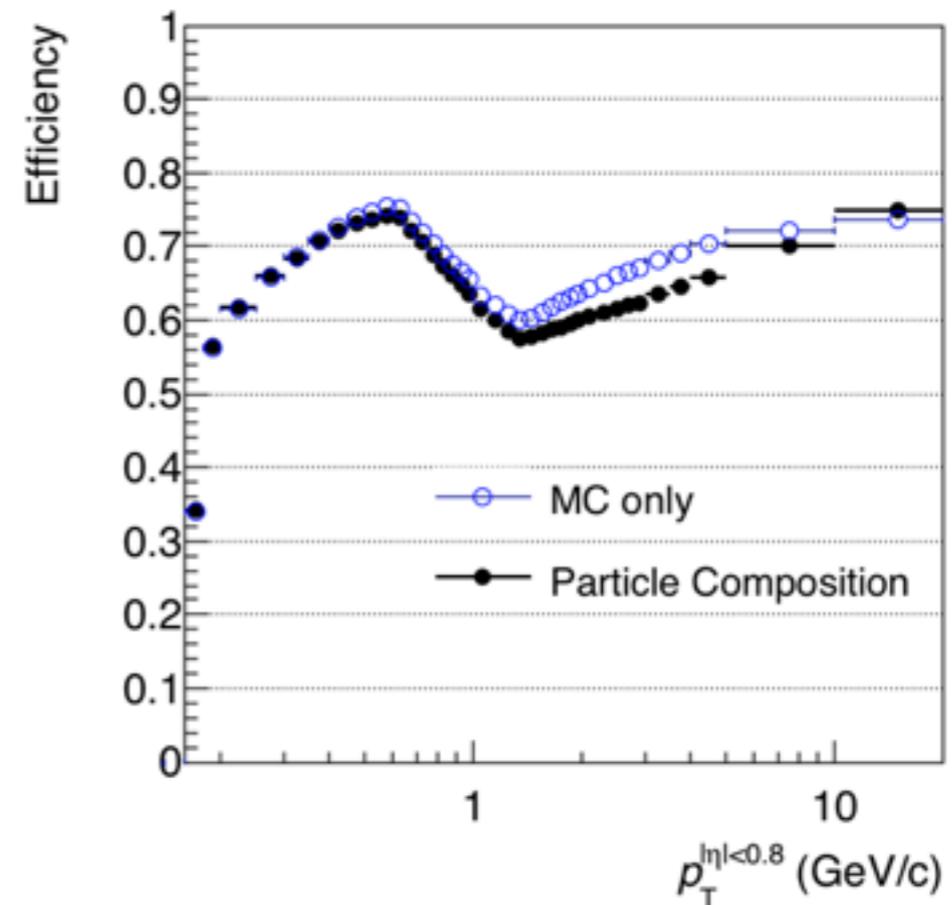
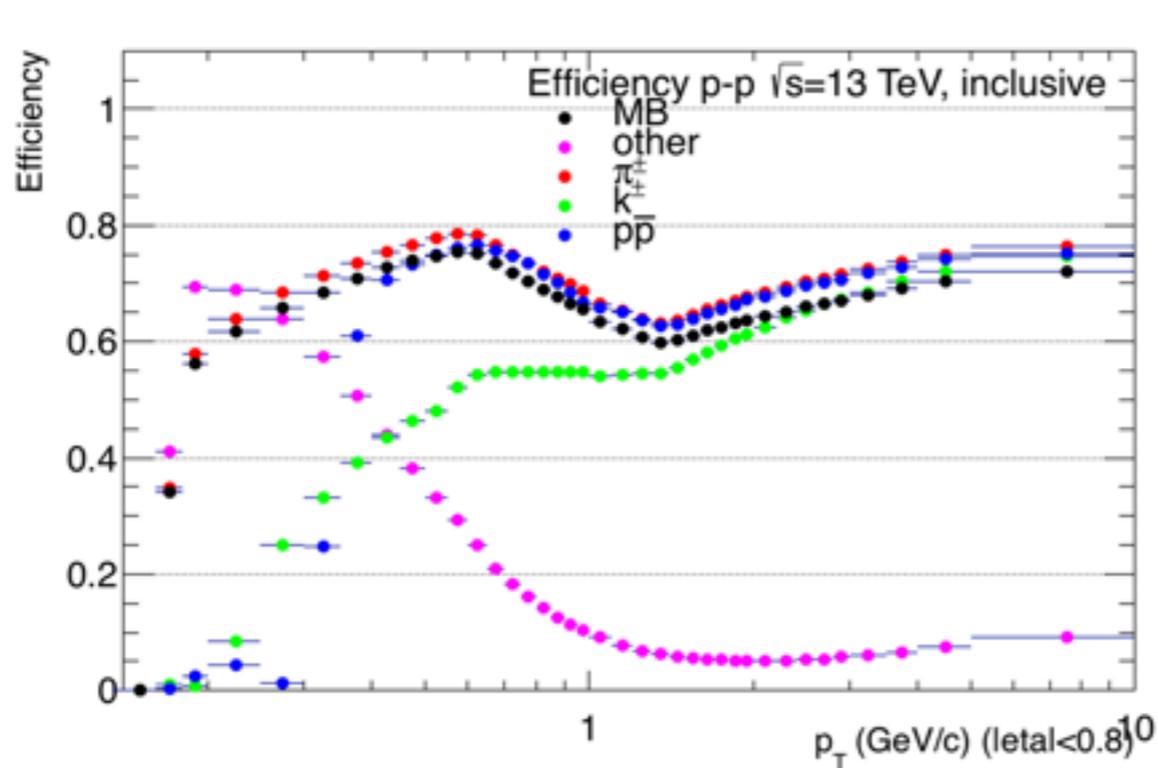


5. Estudios de variables de forma en ALICE

Correcciones por eficiencia.

Para la corrección de eficiencia usamos una aproximación usando datos (data driven), donde la eficiencia por composición de partículas es dada por:

$$\epsilon_{\text{PartComp}} = \frac{\sum_{i=\pi,K,p} \epsilon_{\text{MC}}^i \cdot (dN/dp_T^i)_{\text{data}} + \epsilon_{\text{MC}}^{\text{rest}} \cdot (dN/dp_T)_{\text{MC}}^{\text{rest}}}{\sum_{i=\pi,K,p} (dN/dp_T^i)_{\text{data}} + (dN/dp_T)_{\text{MC}}^{\text{rest}}}$$

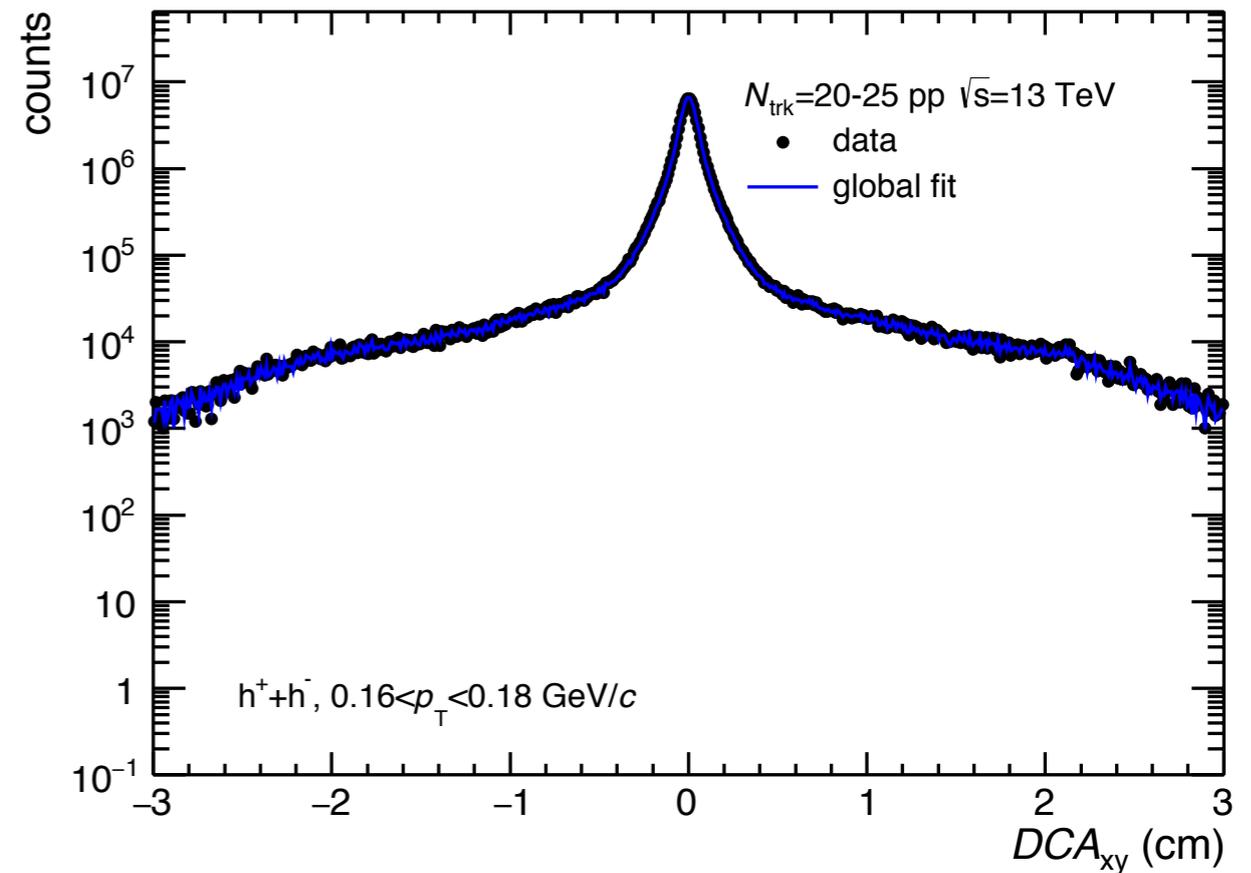
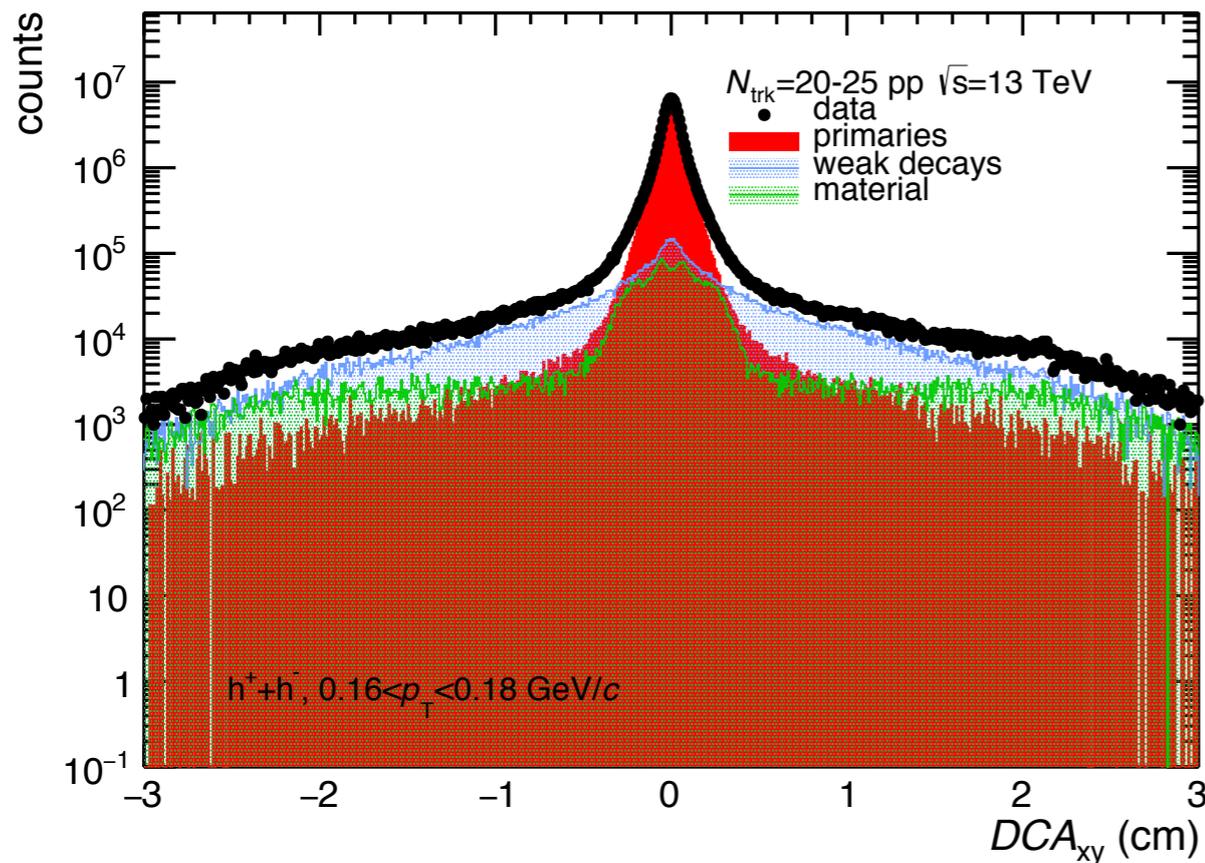


5. Estudios de variables de forma en ALICE

Correcciones por contaminación de partículas secundarias.

Para la corrección por contaminación de partículas secundarias usamos la parametrización del DCA_{xy} usando ajustes múltiples dada por:

$$DCA_{xy}^{data} = \alpha \cdot DCA_{XYsec-mat}^{MC} + \beta \cdot DCA_{XYsec-weakdecay}^{MC} + \gamma \cdot DCA_{XYprim}^{MC}$$



5. Estudios de variables de forma en ALICE

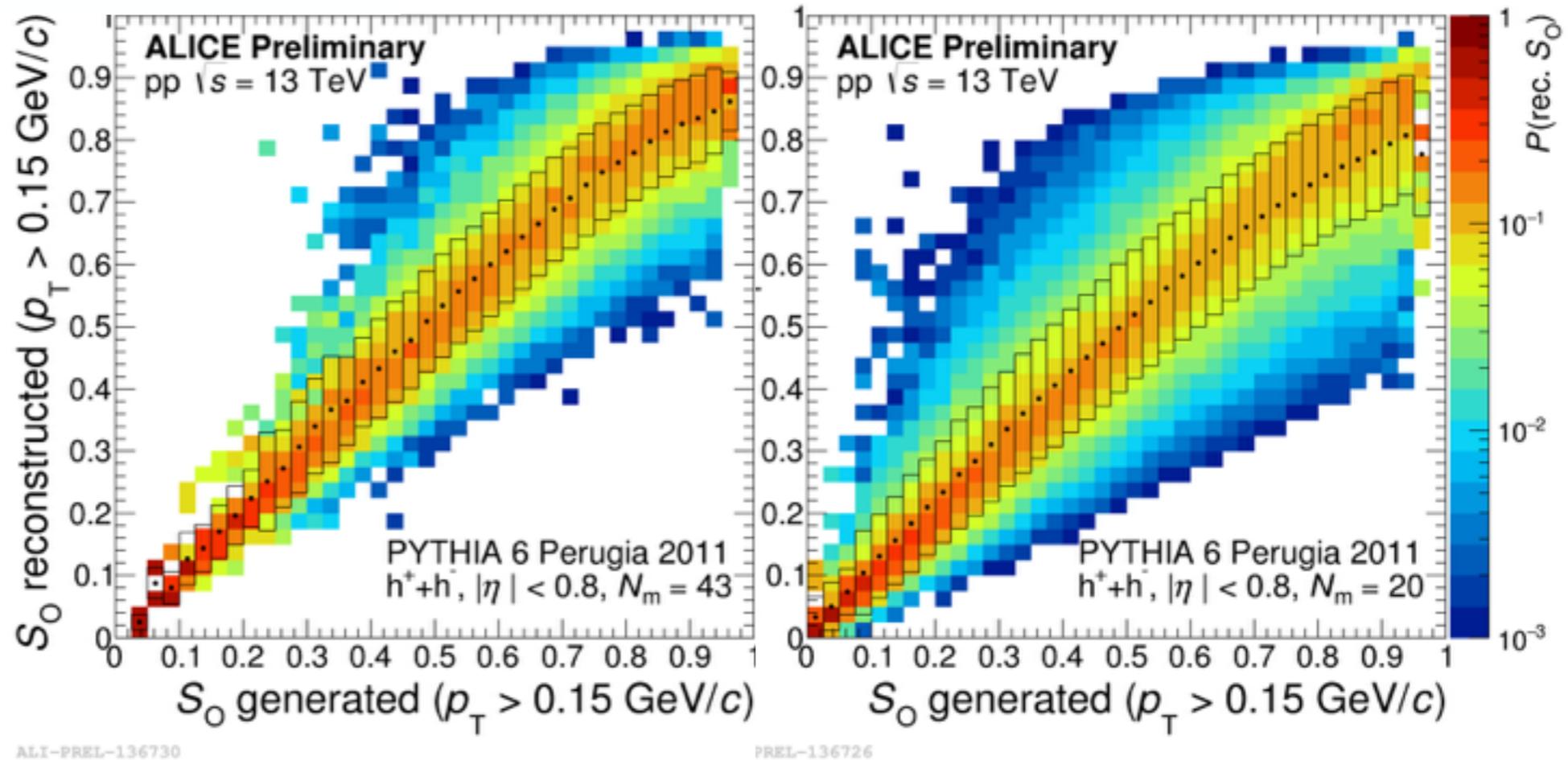
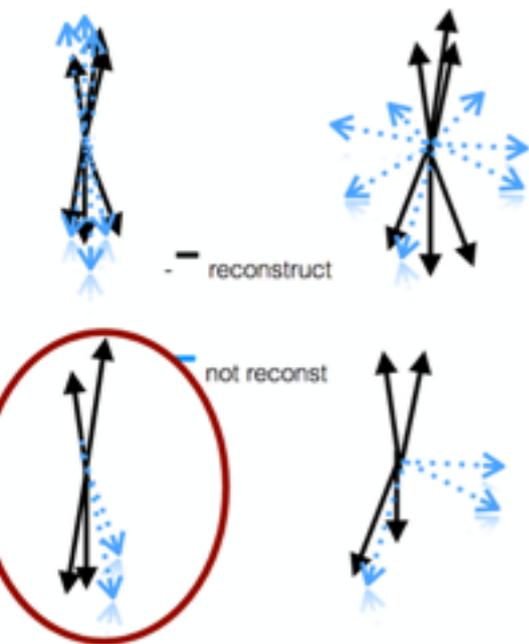
Correcciones por respuesta del detector.

El $\langle p_T \rangle$ es obtenido del espectro de momento transverso corregido (por eficiencia y contaminación de partículas secundarias).

Corrección por esferocidad es aplicado al $\langle p_T \rangle$ usando el promedio pesado dado por:

$$\langle p_T \rangle(N_m, S_{0,t}) = \sum_m \langle p_T \rangle(N_m, S_{0,m}) R(S_{0,t}, S_{0,m})$$

con $\sum_{S_{0,m}=1}^n R(S_{0,t}, S_{0,m}) = 1$



**Mejor resolución para eventos tipo jetty.
La respuesta del detector mejora conforme aumenta la multiplicidad**

5. Estudios de variables de forma en ALICE

Correcciones por respuesta del detector.

El $\langle p_T \rangle$ es obtenido del espectro de momento transverso corregido (por eficiencia y contaminación de partículas secundarias).

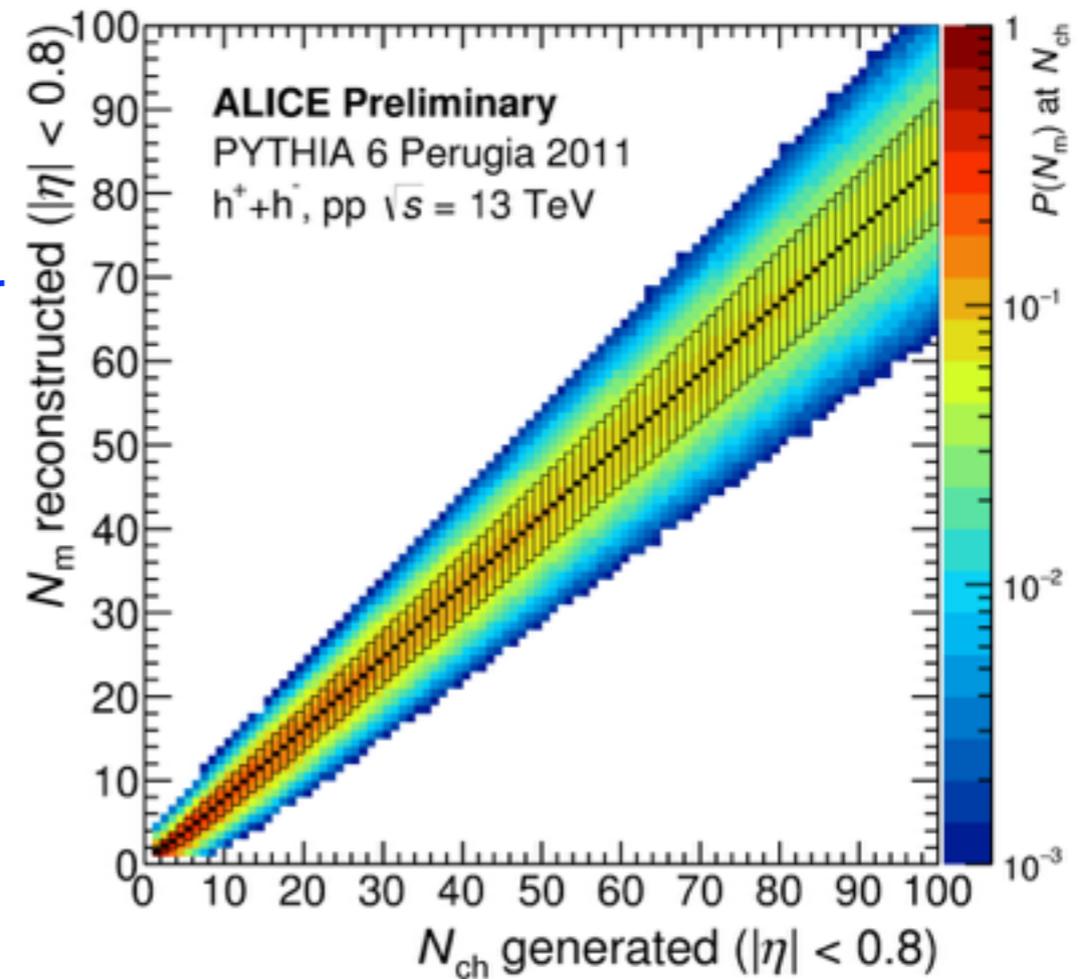
Corrección por esferocidad es aplicado al $\langle p_T \rangle$ usando el promedio pesado dado por:

$$\langle p_T \rangle(N_m, S_{0,t}) = \sum_m \langle p_T \rangle(N_m, S_{0,m}) R(S_{0,t}, S_{0,m})$$

Además es necesario aplicar una corrección por multiplicidad de manera similar:

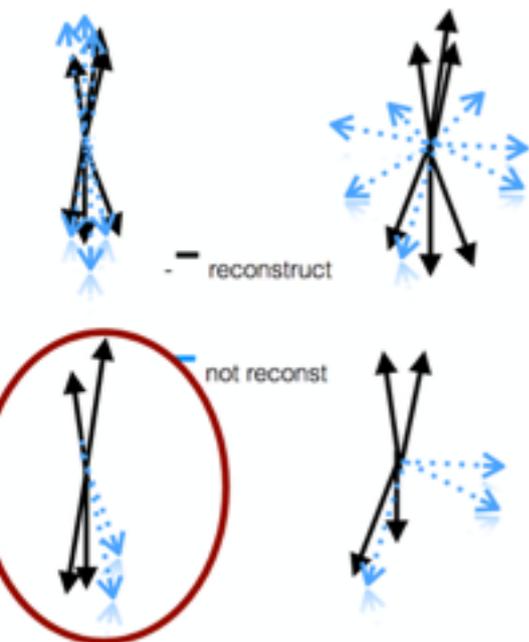
$$\langle p_T \rangle(N_{ch}) = \sum_m \langle p_T \rangle(N_m) R(N_{ch}, N_m)$$

$$\sum_{N_m=1}^n R(N_{ch}, N_m) = 1$$



ALI-PREL-136722

La matriz de respuesta del detector es regularizada basado en ajustes gaussianos a altas multiplicidades para remover fluctuaciones estadísticas.



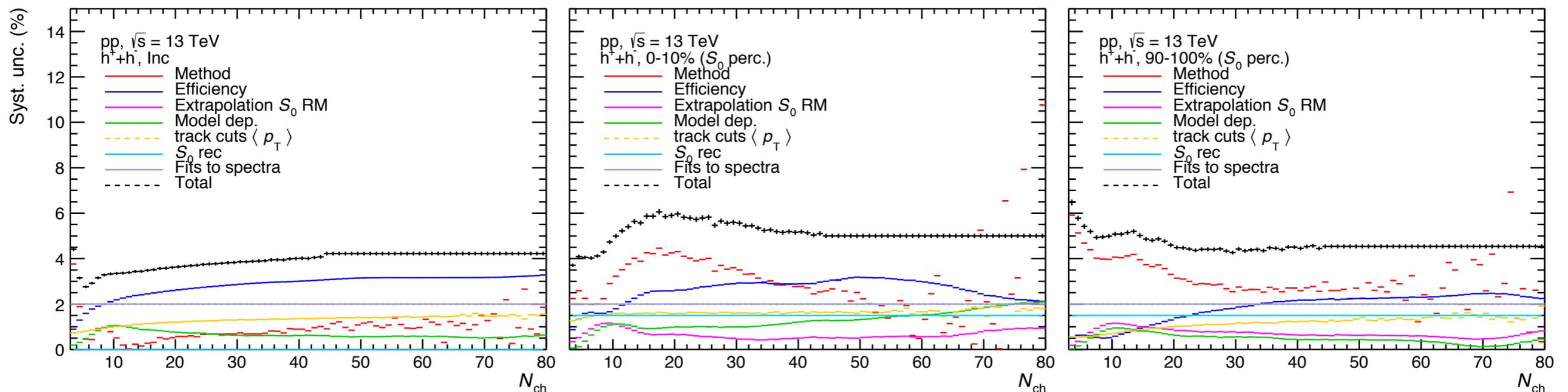
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Incertidumbre sistemáticas

Las fuentes de incertidumbres sistemáticas:

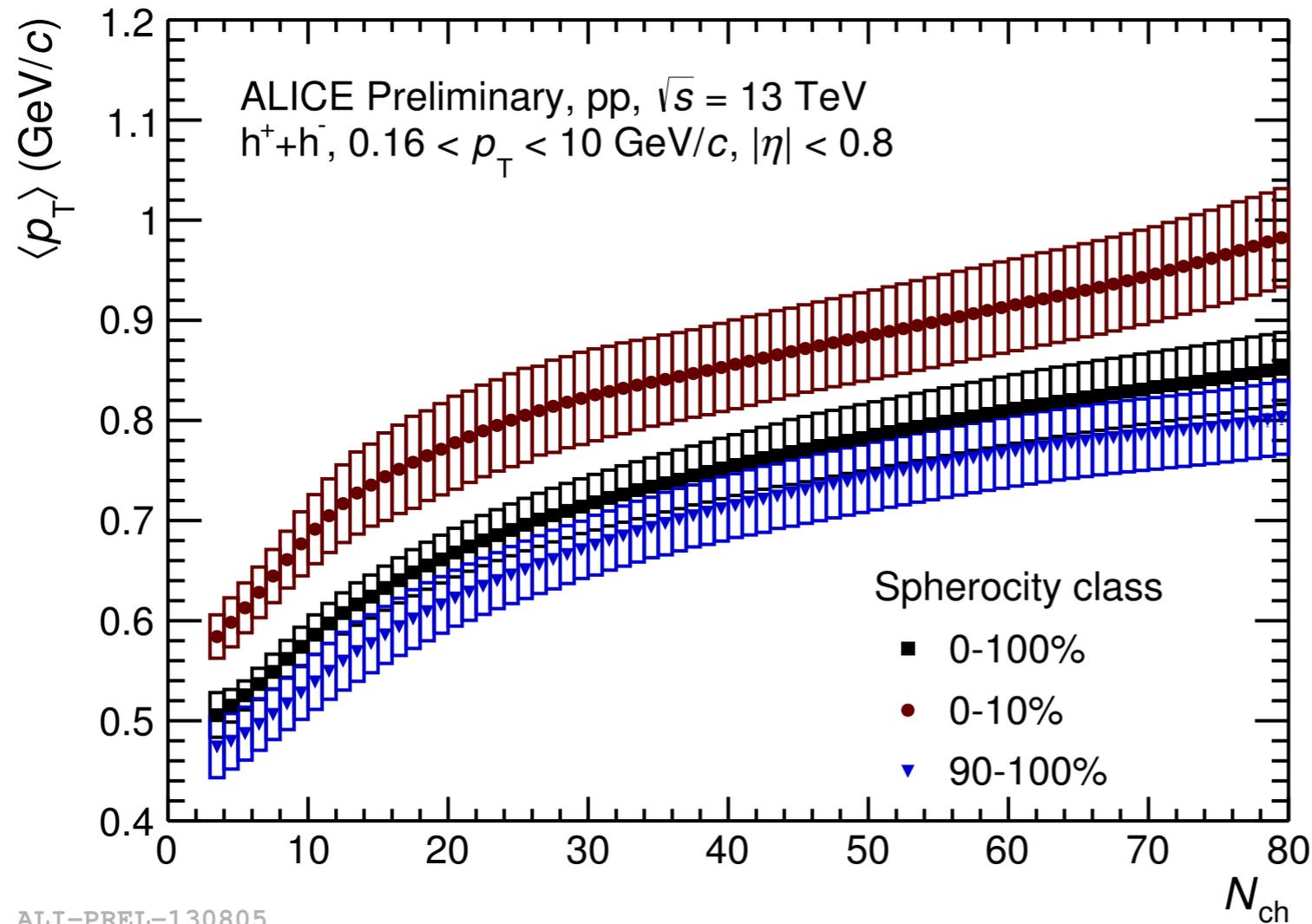
- método corrección (cerradura)
- dependencia de la N_{ch} en la eficiencia
- extrapolación de la matriz de respuesta de S_0
- dependencia del modelo para corregir
- cortes de las trazas
- reconstrucción de trazas de S_0
- ajustes al DCA

Las incertidumbres sistemáticas totales son:



6. Resultados y discusión

Dependencia en esferocidad de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch}



ALI-PREL-130805

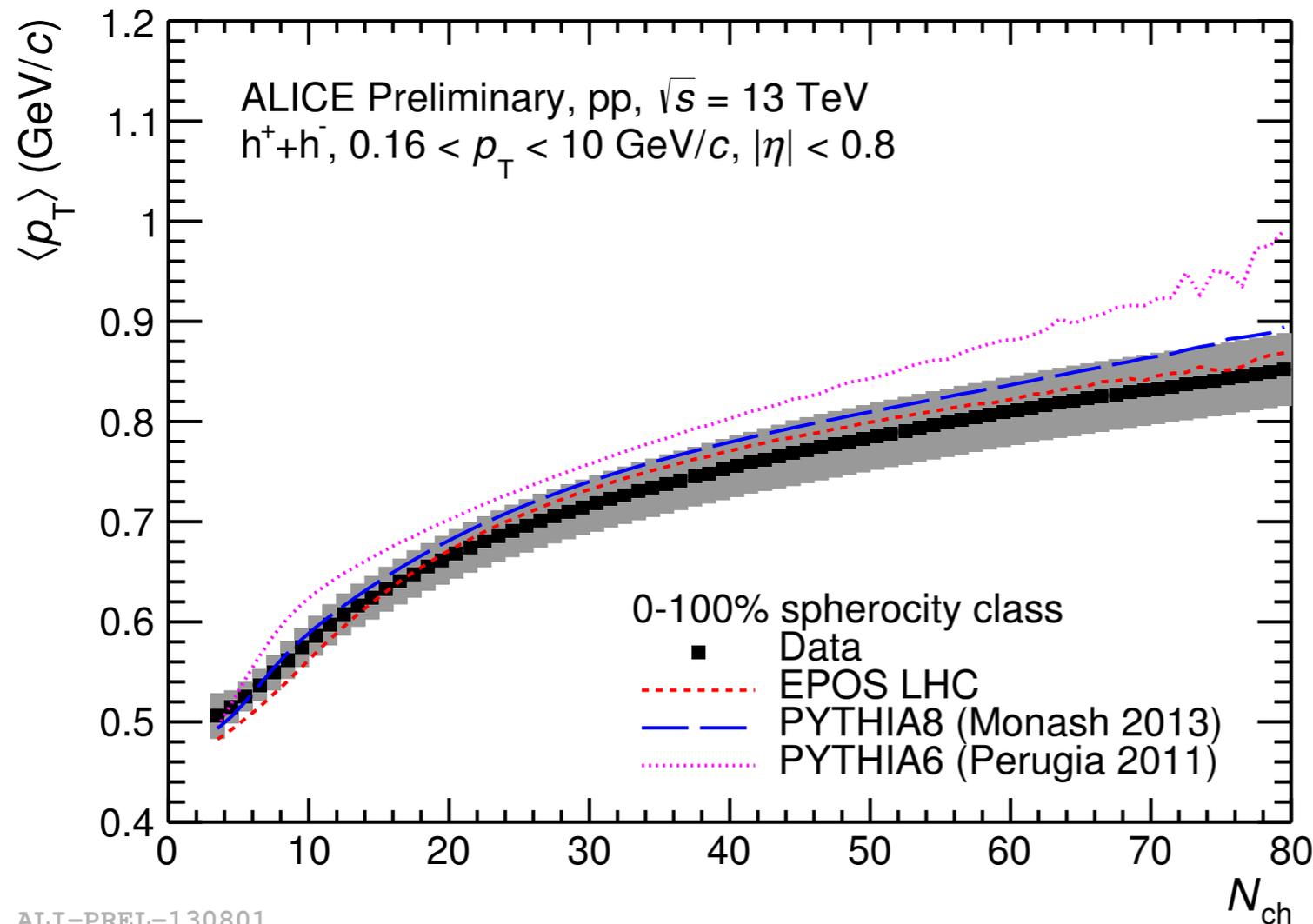
dijets

Isotropicos

A alta multiplicidad el aumento de $\langle p_T \rangle$ es más pronunciado en eventos de dijets que en eventos isotrópicos

6. Resultados y discusión

Dependencia en esferocidad de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} comparación con modelos



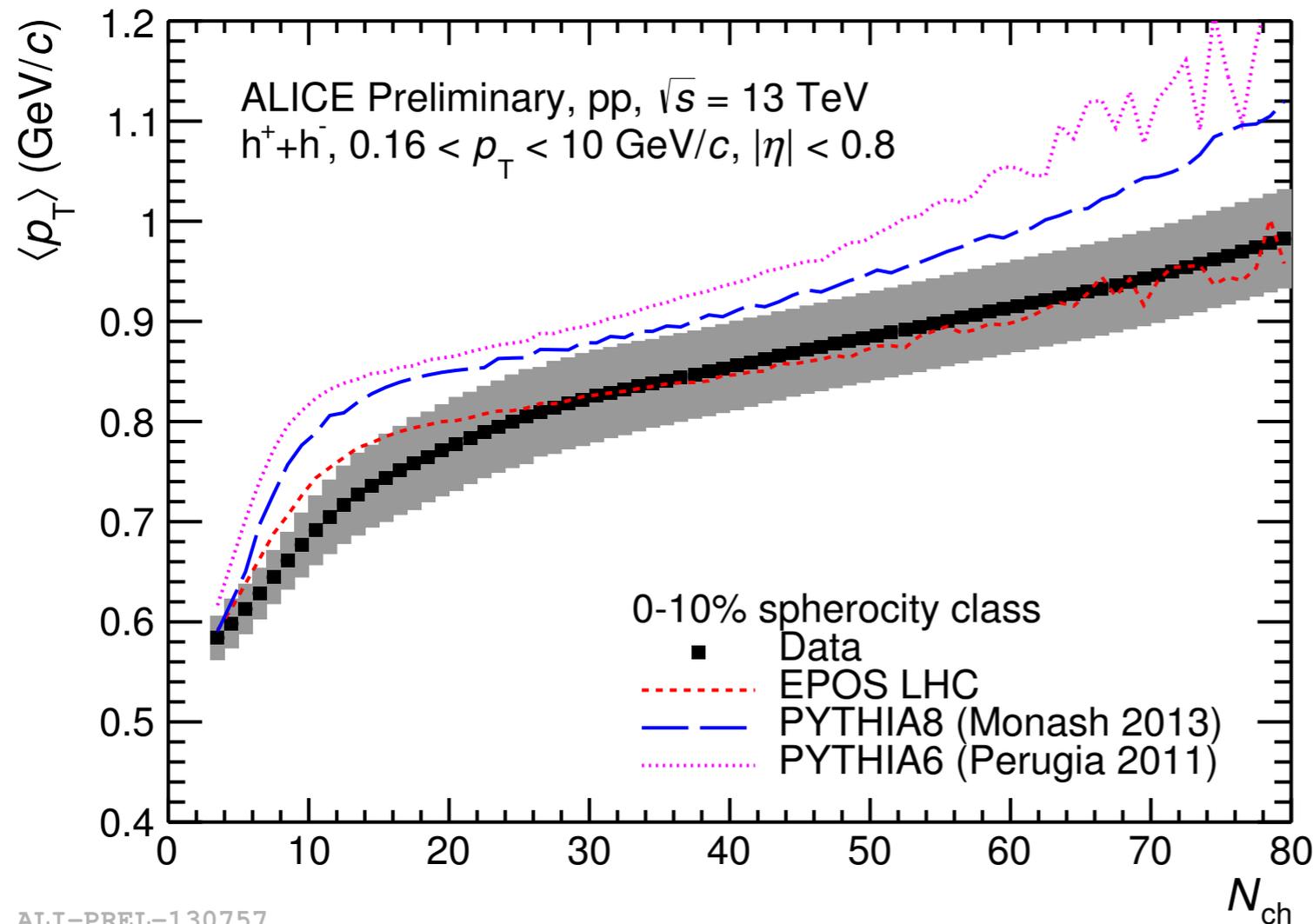
ALI-PREL-130801

Dentro de las incertidumbres, EPOS LHC y PYTHIA 8 describen bien los datos para la muestra inclusiva (sin selección en esferocidad)

En PYTHIA la elevación del $\langle p_T \rangle$ con respecto a N_{ch} se observa solo si reconexión por color (CR) es activado

6. Resultados y discusión

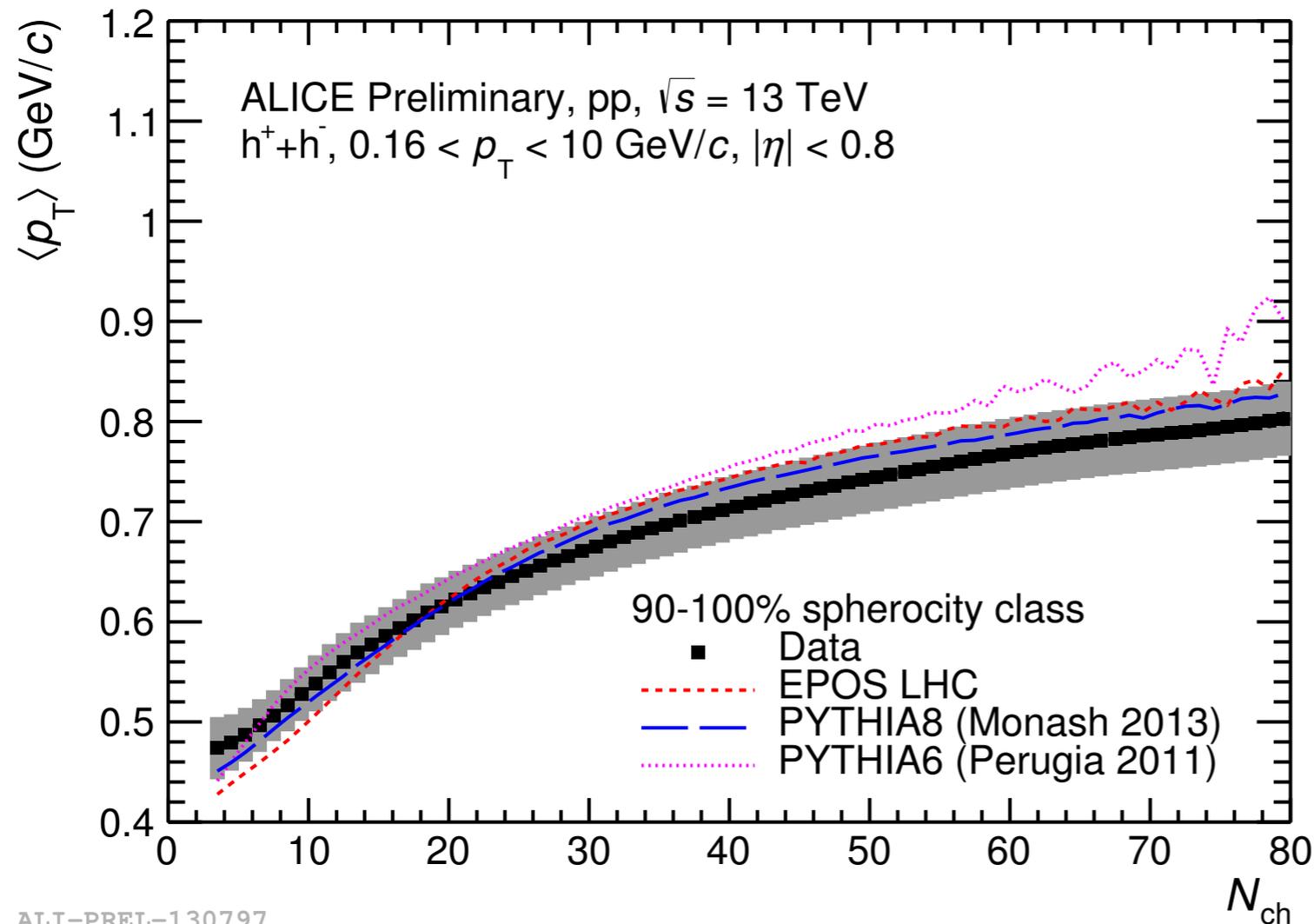
Dependencia en esferocidad de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} comparación con modelos



**Para eventos tipo dijet:
PYTHIA sobreestima el
 $\langle p_T \rangle$ en un amplio rango
de multiplicidad.
Este es un importante
resultado para restringir
modelos con CR**

6. Resultados y discusión

Dependencia en esferocidad de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} comparación con modelos



ALI-PREL-130797

**Para eventos isotrópicos:
Existe un mejor acuerdo.
EPOS LHC ligeramente
subestima el $\langle p_T \rangle$ ($N_{ch} < 10$)
PYTHIA 6 sobreestima el $\langle p_T \rangle$
(Alta N_{ch})**

6. Resultados y discusión

Todo esto ha sido documentado en una nota de análisis de ALICE:

Hector Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz and Guy Paic, Sphericity analysis for the average transverse momentum versus multiplicity in pp collisions at 13 TeV, [ALICE-ANA-3959 Mayo 2017.](#)

Y la propuesta del paper ha sido aprobada en ALICE:

Related paper draft: (In preparation)
Insight into inclusive charged particle production using multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5$ and 13 TeV [ALICE-paperdraft-4105](#)

Insight into inclusive charged particle production using multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5$ and 13 TeV

Submitted by paic on 27 November, 2017 - 11:26

Article Information

Link to corresponding Note: <https://aliceinfo.cern.ch/Notes/node/564>
<https://aliceinfo.cern.ch/Notes/node/634>

Submission Form

ID number: 4105
PWG: PWG-LF
e-group: alice-paperdraft-4105
Paper Committee members:
Fernandez Tellez, Arturo
Paic, Guy
Ortiz Velasquez, Antonio
Iga Bultron, Sergio Arturo
Cuaute Flores, Eleazar
Bello Martinez, Hector
Paper Committee members's email:
Arturo.Fernandez.Tellez@cern.ch
Guy.Paic@cern.ch
Antonio.Ortiz.Velasquez@cern.ch
sergio.arturo.iga.bultron@cern.ch
Eleazar.Cuaute.Flores@cern.ch
hector.bello.martinez@cern.ch
Format: Regular Paper
Approved by PB: 02/11/2017 (All day)
System: p-p
Energy: 5.02 TeV
13 TeV
Keywords: sphericity
Multiplicity
power law exponent
transverse momentum spectra.

Abstract Plain Text:

We present a study of inclusive charged particle production in pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5$ and $\sqrt{s_{NN}} = 13$ TeV. The transverse momentum (p_T) spectra are studied using two multiplicity estimators - the mid-pseudorapidity, and the forward detectors based one, respectively. The behavior of the multiplicity dependent spectra at high p_T is parametrized with a power law function. The results obtained in function of the mid-pseudorapidity multiplicity show a very pronounced variation of the power law exponent, for both energies reported, in function of the multiplicity. The second part of the results consists of an analysis using a selection based on event shapes. The average p_T as a function of multiplicity and transverse sphericity are reported. Going from high- to low- sphericity events, the average p_T exhibits an important increase. The results are compared with MC generators.

7. Conclusiones

Efectos de tipo flujo han sido descubiertos en el LHC, efectos que pueden ser sesgados por los jets. Discutimos la necesidad de desarrollar nuevas herramientas e ideas para hacer una separación de eventos (isotrópicos y dijets) que permiten el aislamiento de efectos de nueva física, proponiendo la variable esfericidad. Así se promovió un análisis diferencial para los datos de colisiones pp para la corrida 2.

De este análisis podemos concluir que:

- Para el caso inclusivo, todos los modelos (EPOS LHC, PYTHIA 6 y 8) parecen reproducir los datos dentro de las incertidumbres sistemáticas.
- En eventos tipo dijet el $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} muestra una elevación con la multiplicidad comparado con eventos isotrópicos y es bien modelado por EPOS LHC dentro de las incertidumbres sistemáticas, pero con PYTHIA fallan pues sobreestima el $\langle p_T \rangle$.
- El resultado para eventos isotrópicos muestra una saturación del $\langle p_T \rangle$ a alta N_{ch} , el comportamiento es cuantitativamente bien modelado por PYTHIA 8.
- El $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch} es una medición útil para restringir modelos fenomenológicos de producción de partículas, e.g. modelos con CR pueden ser ajustados.

8. Resultados entregables del doctorado

Durante el doctorado se realizaron algunas actividades importantes:

- Se participó en shifts del detector ACORDE así como el beam test para los nuevos módulos.
- Se realizó el service task mediante un análisis QA con el detector VZERO para datos de la run 2.
- Se obtuvieron las siguientes publicaciones:
 - ★ Proceeding: J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033, Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
 - ★ Paper: J.Phys. G44 (2017) no.6, 065001 Antonio Ortiz, Gyula Bencedi, Héctor Bello
 - ★ Analysis Note: Sphericity analysis for the average transverse momentum versus multiplicity in pp colisions at 13 TeV, ALICE-ANA-3959 Mayo 2017, Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz and Guy Paic
 - ★ ALICE Paper Draft: Insight into inclusive charged particle production using multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5$ and 13 TeV ALICE-paperdraft-4105, Guy Paic, Antonio Ortiz, Arturo Fernández, Eleazar Cuautle, Héctor Bello and Sergio Iga
- Los resultados han sido presentados en las siguientes conferencias:
 - ★ International Conference on QCD challenges from pp to AA, 2017, Puebla, Mexico, “Revealing the source of radial flow patterns in proton proton collisions using hard probes”.
 - ★ 4th International Conference on the Initial Stages in High-Energy Nuclear Collisions, sept 2017, Krakow, Poland, “A double differential study of particle production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using transverse sphericity and multiplicity with ALICE”.
 - ★ CERN-Latin American School for High Energy Physics.may. 2016, Queretaro, Mexico, “Revealing the source of radial flow patterns in proton proton collisions using hard probes”.
 - ★ XXX Anual meeting of the particles and fields division, Puebla México, “Jet effects in high multiplicity events in pp collisions”.

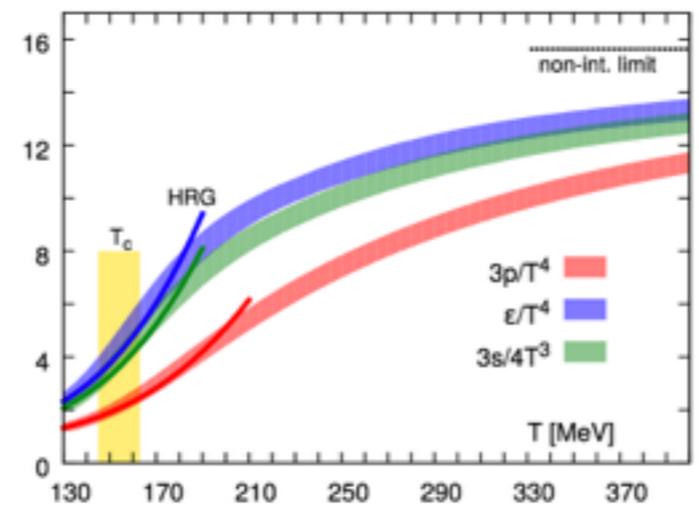
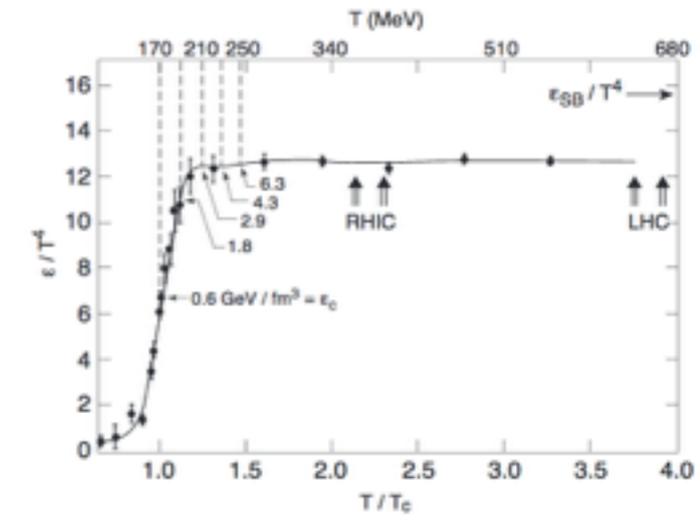
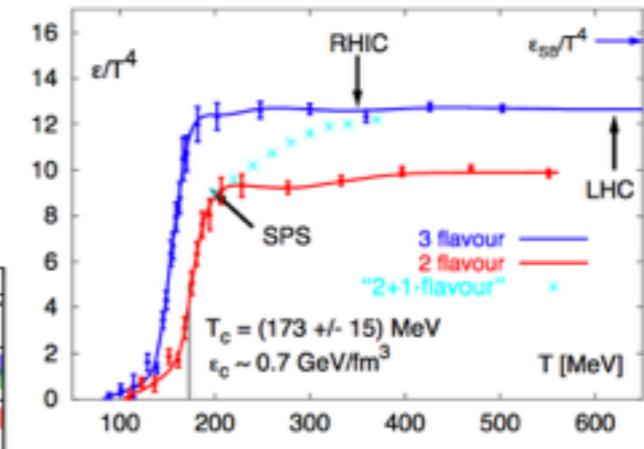
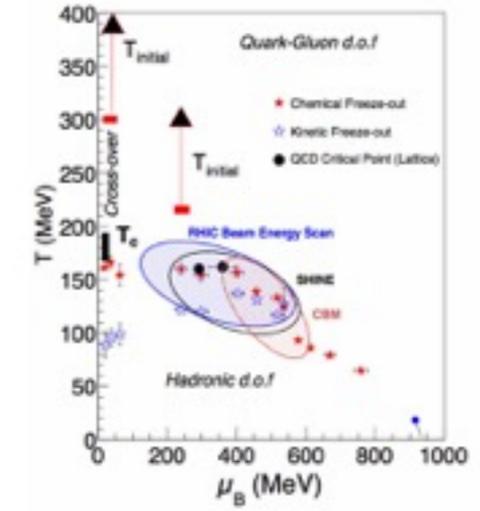
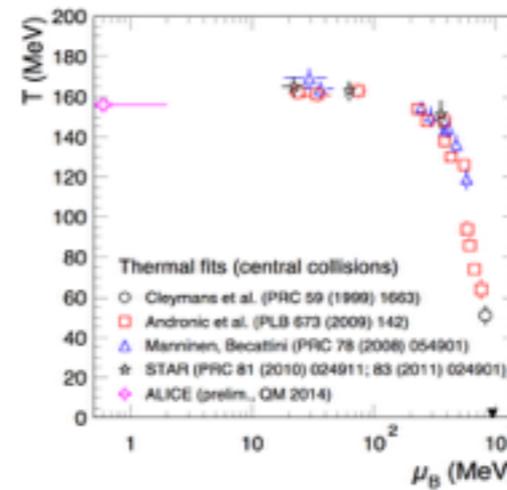
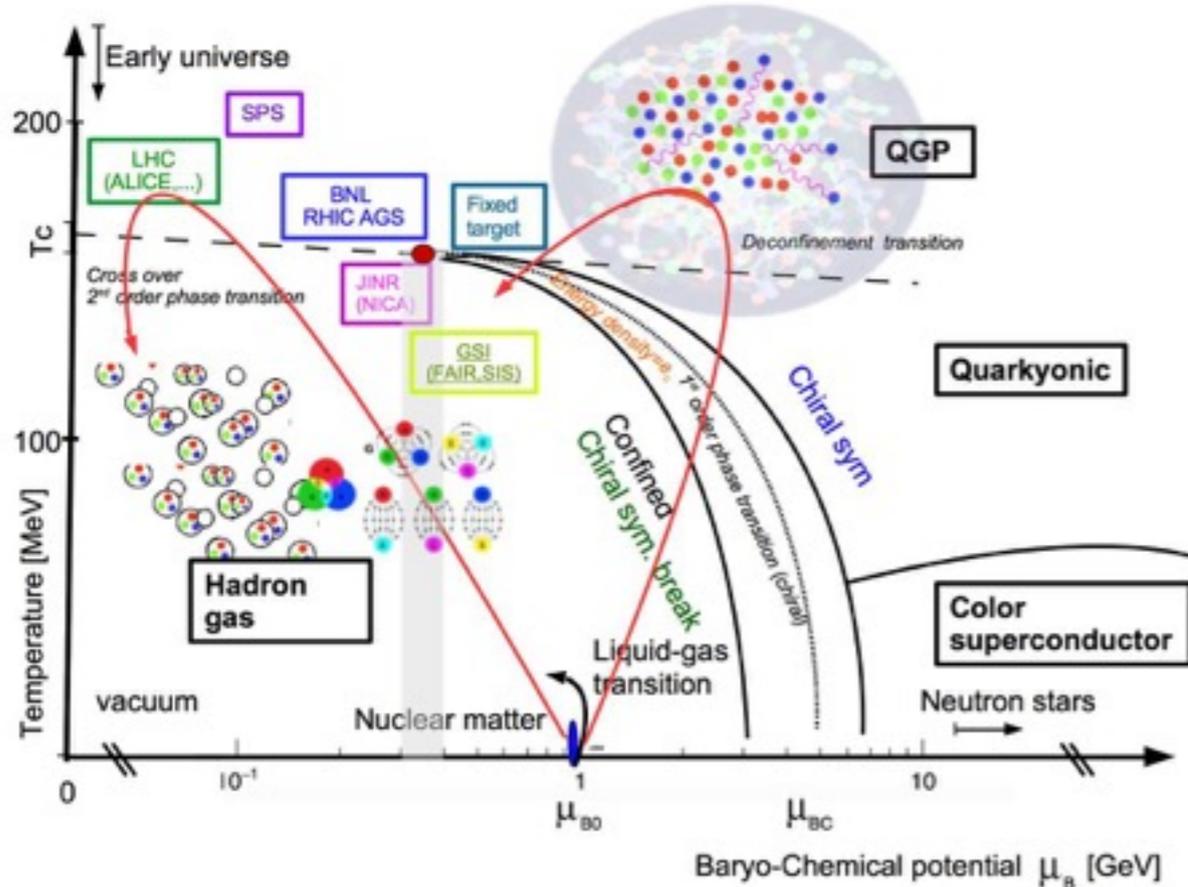
Reconocer no es bifronte como Roma a mi ...
Ciencia madre, hecha esta de errores y aciertos,
equivocarse no es malo, es ingenuidad,
hacerlo de la misma forma es necesidad,
el experto se ha equivocado con diferente actitud
cada lucha y caída, será historia grande, tu.
(Hector Bello)

Muchas Gracias !

Backup

2. QGP (Quark-Gluón Plasma)

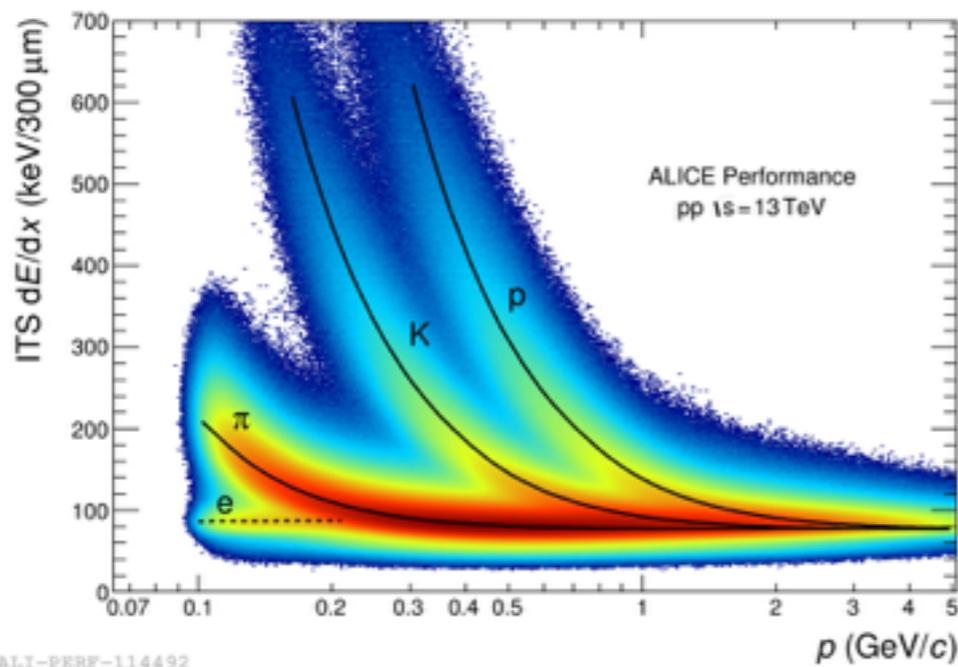
La colaboración STAR en RHIC: El plasma de quarks y gluones es definido como un estado de la materia térmicamente equilibrado (de manera local) en el cual los quarks y gluones están deconfinados de los hadrones, tal que los grados de libertad de color, se manifiestan sobre el volumen nuclear.



2. ALICE (PID)

ITS
rastreo de trazas
y reconstrucción
de vértices

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{Z^2}{\beta^2} \ln(a\beta^2\gamma^2)$$



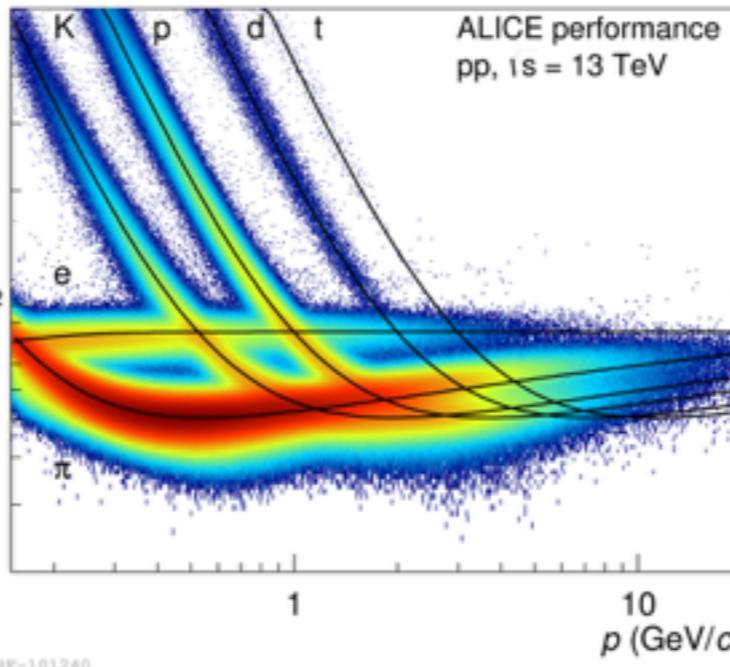
ALI-PERF-114492

parametrización PHOBOS

$$\frac{dE}{dx}(\beta\gamma) = p_0 \frac{p_1 + 2\ln\gamma - \beta^2}{\beta^2} \rho(\gamma)$$

$$\rho(\beta\gamma) = \begin{cases} p_4 + (\beta\gamma - p_3)^2 & \text{for } \beta\gamma < p_2 \\ p_4 + (p_2 - p_3)^2 & \text{for } \beta\gamma > p_2 \end{cases}$$

TPC
rastreo de trazas
e identificación
de partículas



ALI-PERF-101240

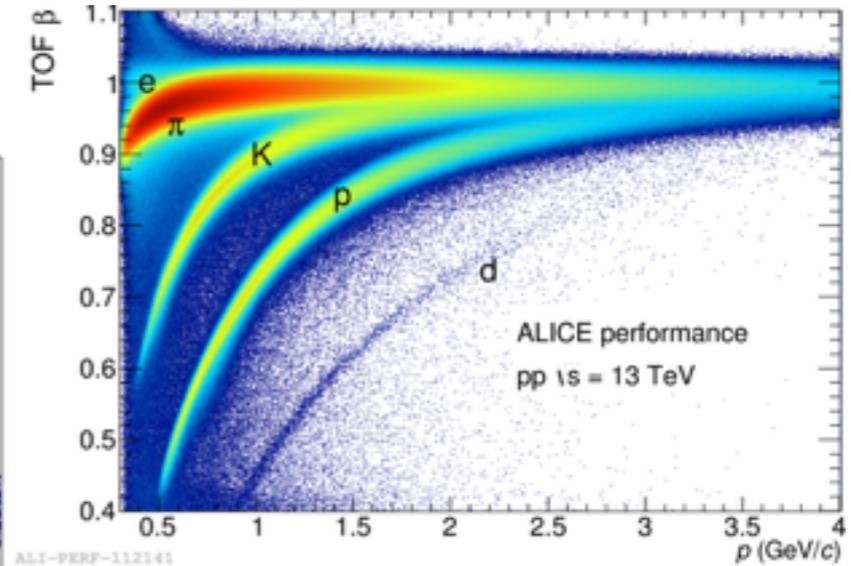
parametrización ALEPH

$$f(\beta\gamma) = \frac{P_1}{\beta^{P_4}} \left(P_2 - \beta^{P_4} - \ln\left(P_3 + \frac{1}{(\beta\gamma)^{P_5}}\right) \right)$$

$$w_i(p) = \langle \frac{dE_i}{dx}(\beta\gamma) \cdot (1 + N\sigma); \frac{dE_i}{dx}(\beta\gamma) \cdot (1 - N\sigma) \rangle$$

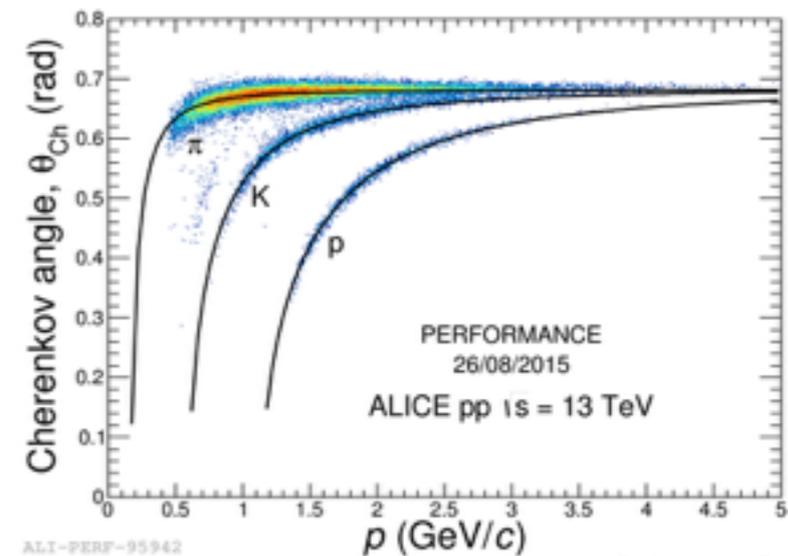
TOF
identificación
de partículas

$$m = p \sqrt{\left(\frac{ct_{TOF}}{L}\right)^2 - 1}$$



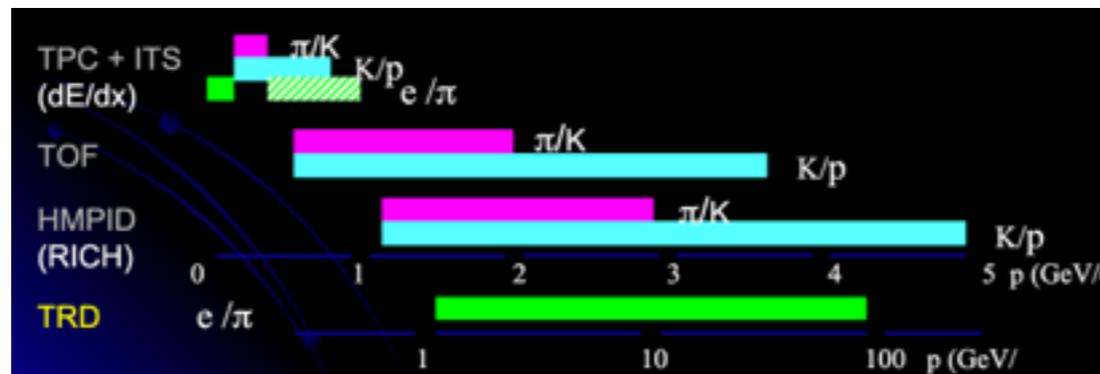
ALI-PERF-112141

HMPID
identificación de partículas
de alto momento



ALI-PERF-95942

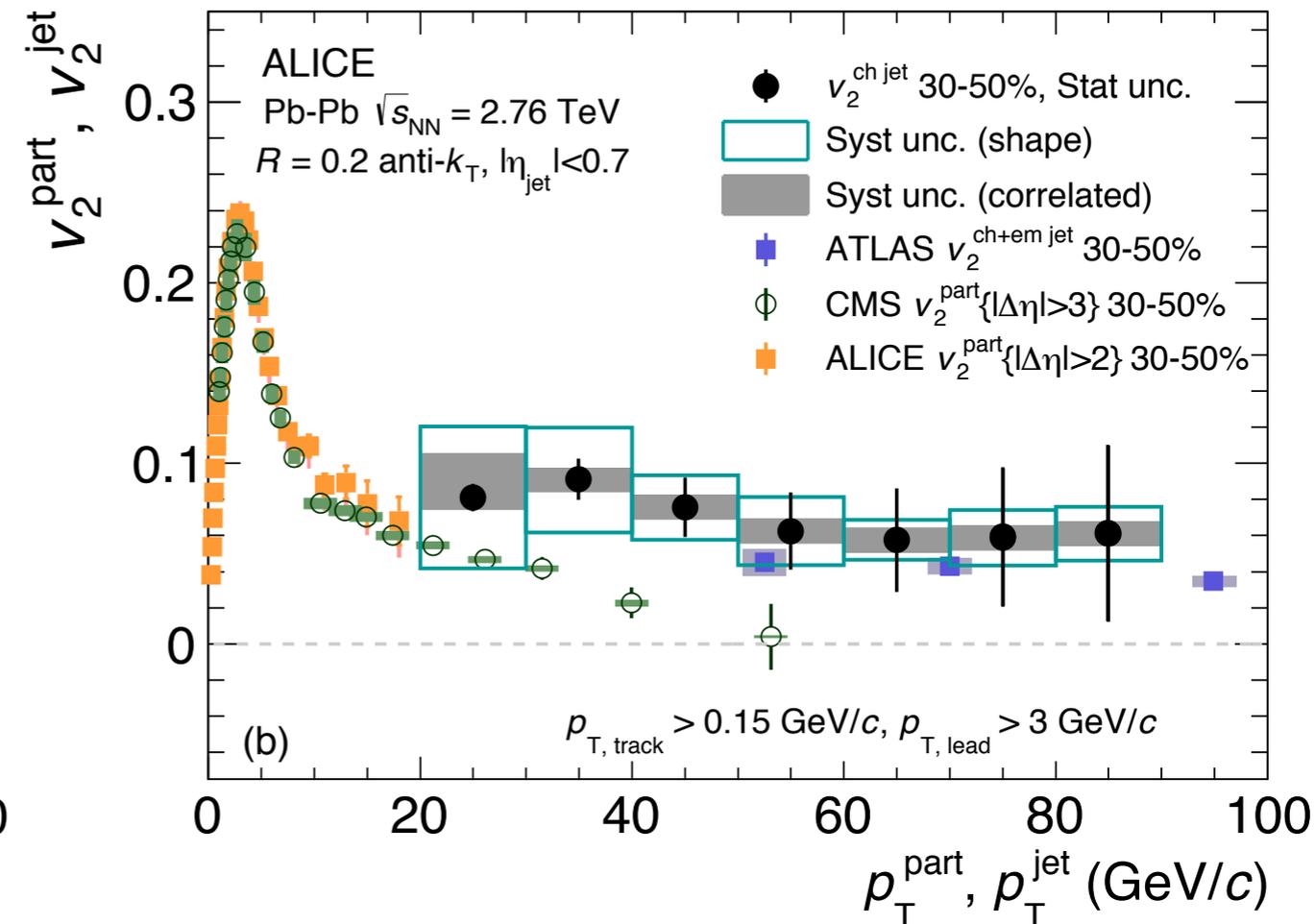
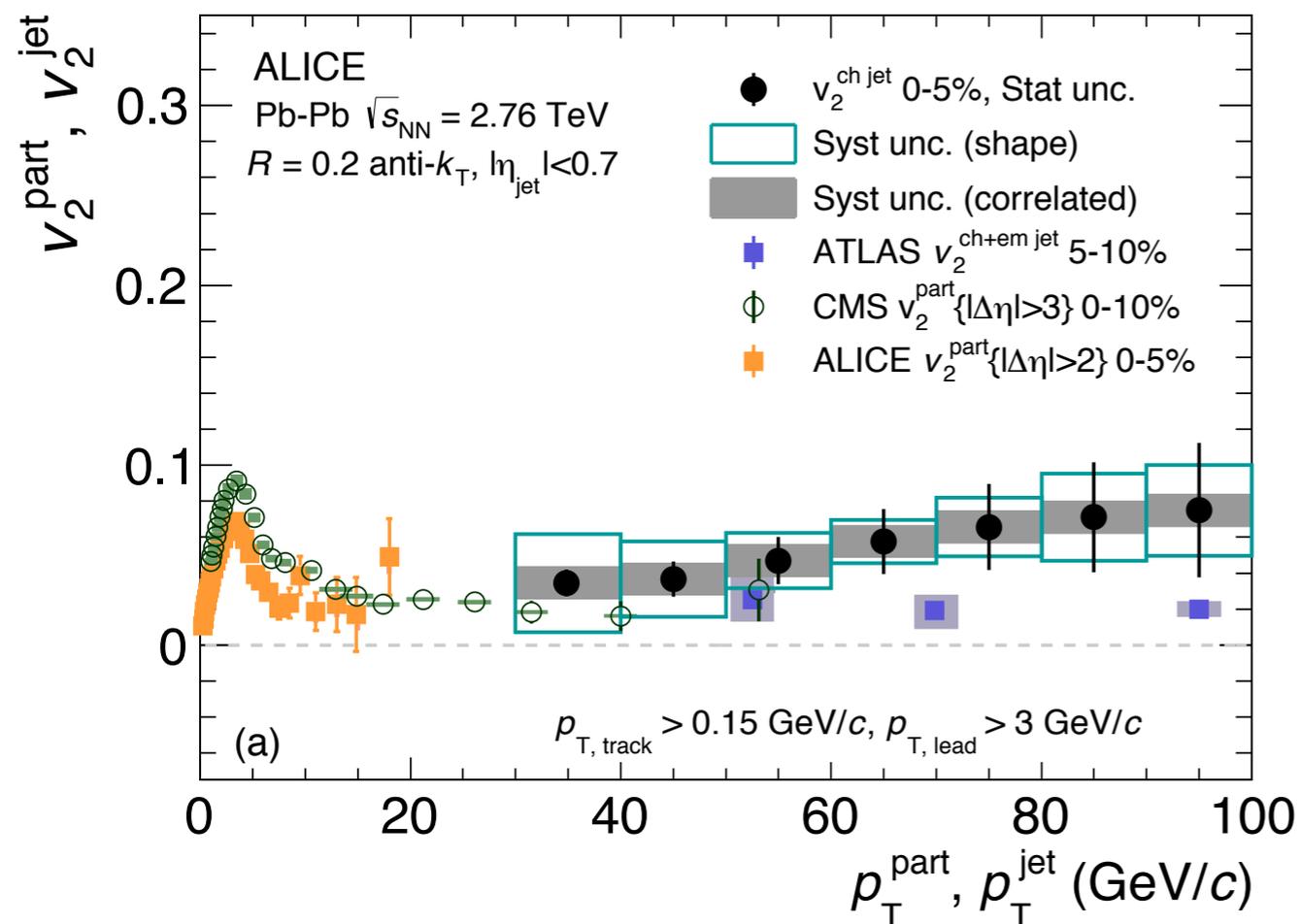
$$m = p \sqrt{[c \cdot n \cos(\theta_c)]^2 - 1}, \quad \theta_c = \arccos \left[\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{m}{p}\right)^2}}{c \cdot n} \right]$$



3. Resultados recientes de ALICE: QGP en sistemas pequeños

Estudio de jets

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



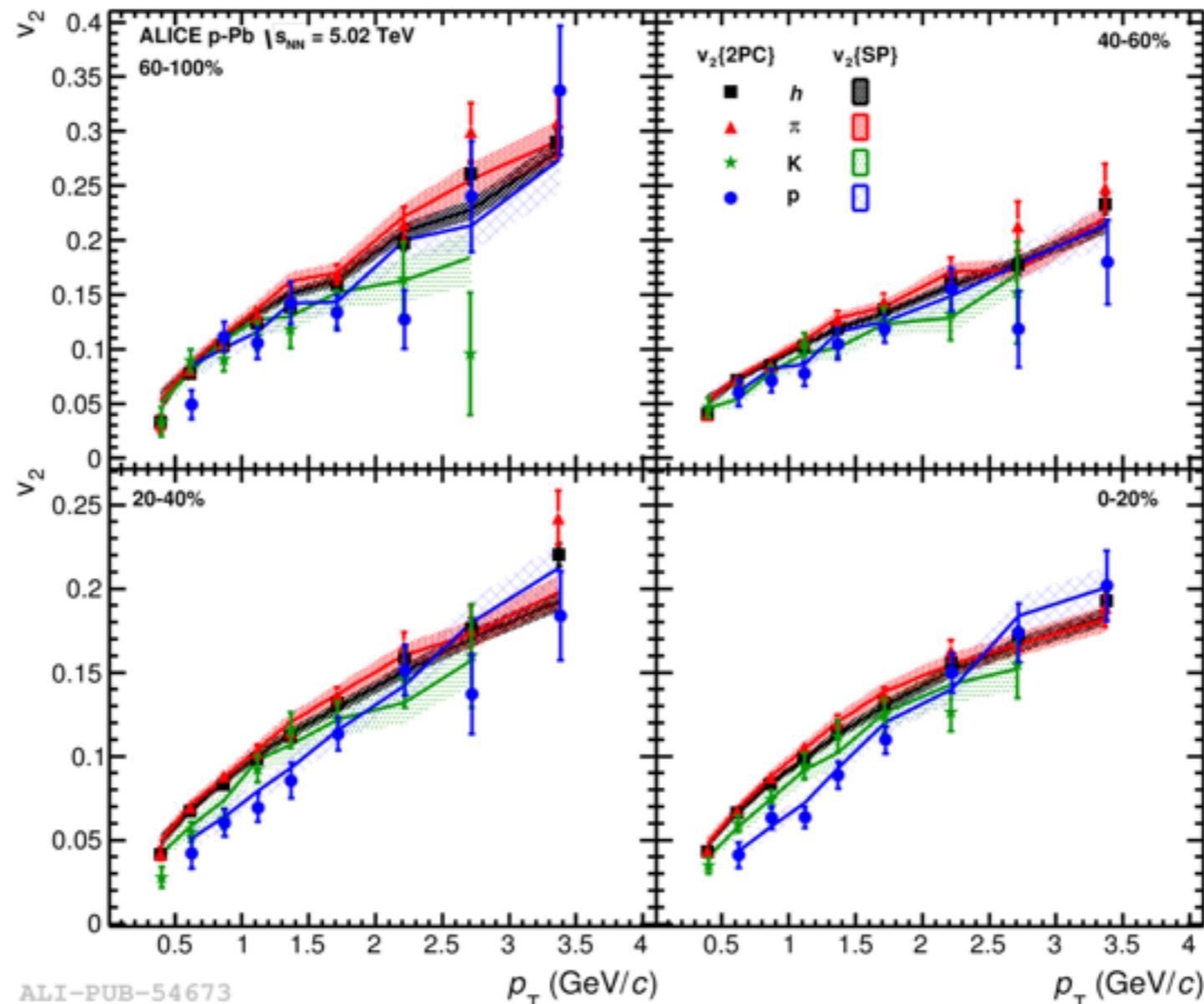
El flujo elíptico tan alto para jets en colisiones semi-centrales proporciona una clara evidencia de la pérdida de energía de partones dependiente de la longitud de camino

3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Flujo hidrodinámico y análisis de expansión de onda (BW, por siglas de Blast Wave)

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz, J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



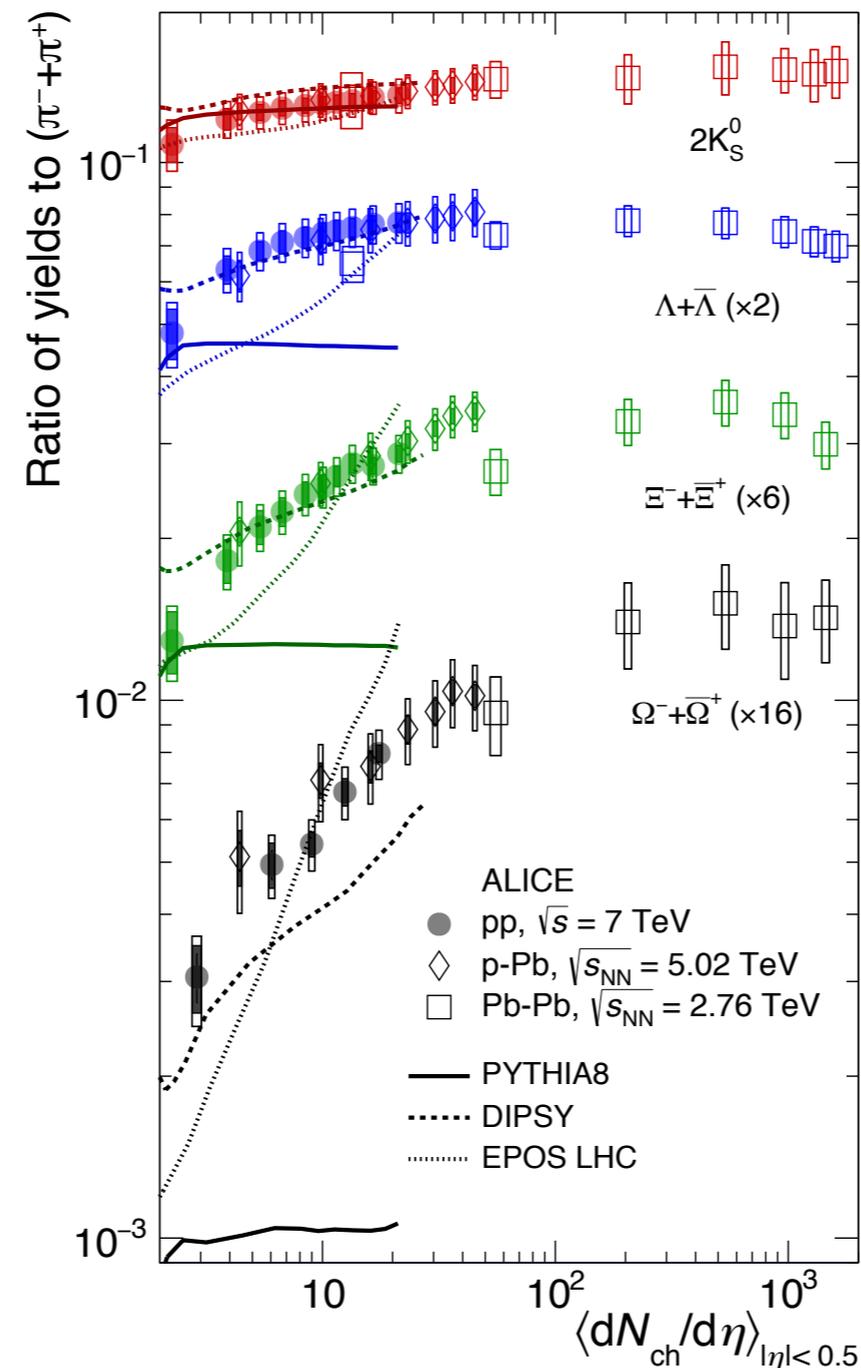
El flujo elíptico en pPb da evidencia de colectividad en sistemas pequeños, a alta multiplicidad hay un orden de masa característico de colisiones PbPb.

3. Resultados recientes de ALICE:

QGP en sistemas pequeños

Comportamiento de tipo flujo en sistemas pequeños

Héctor Bello, Arturo Fernandez, Antonio Ortiz,
J.Phys.Conf.Ser. 761 (2016) no.1, 012033



El incremento de extrañeza sugiere que es característica de la actividad de los eventos.

4. Hadrones de sabor ligero

Hadrones de sabor ligero es decir aquellos cuyos quarks constituyentes son:

$$m_u \approx 2.2 \text{ MeV}, m_d \approx 4.7 \text{ MeV}, m_s \approx 96 \text{ MeV} < \Lambda_{\text{QCD}} \ll m_c \approx 1.3 \text{ GeV}$$

$$\Lambda_{\text{QCD}} \sim 213 \text{ MeVs}$$

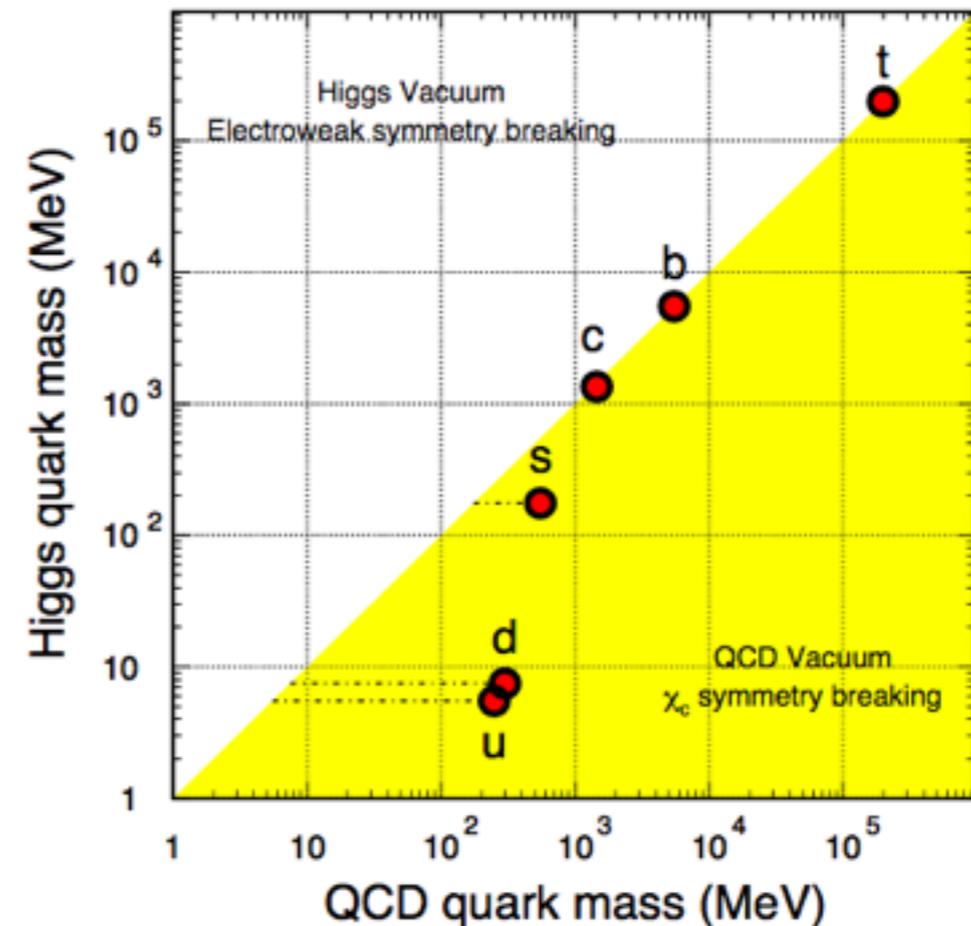
Yamawaki Koichi, Harada Masayasu, Kikukawa Y - 2002 - WorldScience

$$\Lambda_{\text{IR}} \sim 170 \text{ GeVs}$$

Barbara Schrempp, Phys. Lett. B344:193-200, 1995

$$\Lambda_{\text{QED}} \sim 246 \text{ GeVs}$$

Gunion, J.F.; Haber, H.E. (2003) Phys. Rev. D. 67 (hep-ph): 075019.



Algoritmo en fast jet

4.3 Anti- k_t jet algorithm

This algorithm, introduced and studied in [14], is defined exactly like the standard k_t algorithm, except for the distance measures which are now given by

$$d_{ij} = \min(1/p_{ti}^2, 1/p_{tj}^2) \Delta R_{ij}^2 / R^2, \quad (7a)$$

$$d_{iB} = 1/p_{ti}^2. \quad (7b)$$

While it is a sequential recombination algorithm like k_t and Cambridge/Aachen, the anti- k_t algorithm behaves in some sense like a ‘perfect’ cone algorithm, in that its hard jets are exactly circular on the y - ϕ cylinder [14]. To use this algorithm, define

```
JetDefinition jet_def(antikt_algorithm, R);
```

Algoritmo en fast jet

La teoría de Regge desarrollada por Tullio Regge en 1957 estudia las propiedades analíticas de la dispersión como función del momento angular, donde el momento angular no es restringido a ser entero y permite valores complejos. Una pregunta que resuelve la teoría de Regge para los procesos de dispersión es: ¿Qué ocurre en el canal t de intercambio de resonancias para una partícula con spin mayor a 1 ?

La amplitud de dispersión para una resonancia con spin j es de la forma[68]:

$$A(s, t = -q_t^2) = g_1 g_2 \frac{(4s)^j}{q_t^2 + m_R^2}, \quad (12)$$

La amplitud para una resonancia en el canal t (para la reacción con energía \sqrt{t}) es[68]:

$$A(s, t) = (2j + 1)g_1(t)g_2(t) \frac{P_j(z)}{t - M_R^2 - i\Gamma}, \quad (13)$$

donde para un desarrollo asintótico, A es proporcional a $s^j e^{-m_R b}$ para grandes valores de s . Usando el Teorema óptico y la constricción de unitaridad[69] es posible demostrar que a altas energías $\text{Im}A(s, t = 0)$ es proporcional a s^{2j-1} . Generalizando este resultado para dos partículas de intercambio con spin j_1 y j_2 se encuentra que la sección eficaz total σ es proporcional a $s^{j_1+j_2-2}$.

Esta expresión es muy instructiva cuando discutamos la contribución de diferentes intercambios a altas energías. Se puede observar que el intercambio de resonancias con spin mayores a cero conduce a la violación definitiva del teorema de Froissart[68]. Cuando uno considera el intercambio de resonancias con spin j uno tiene que incluir también todas las excitaciones con spin $j + 2, j + 4, \dots$ etc. Estas partículas pertenecen a una trayectoria de Regge $\alpha_R(t)$ (una función compleja $\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha' \cdot t$) con $\alpha_R(t = M_j^2) = j$. La contribución a la amplitud de dispersión de intercambio de todas las resonancias pueden ser descritos como un intercambio de un nuevo objeto el Reggeon (ver fig. 6) y su contribución a la amplitud de dispersión es dado por:

$$A_R(s, t) = g_1(m_1, M_1, t)g_2(m_2, M_2, t) \frac{s^{\alpha(t)} \pm (-s)^{\alpha(t)}}{\text{sen}\pi\alpha(t)} \quad (14)$$

$\alpha(t)$ es una función del momento transferido el cual es llamado como trayectoria del Reggeon. El Reggeon da la amplitud de Breit-Wigner de la contribución a la resonancia a $t > 4M_0$, donde el ancho de la resonancia es $\Gamma = \frac{\text{Im}\alpha(t_0)}{\alpha'(t_0)}$.

El Reggeon describe una familia de resonancias que pertenecen a la misma trayectoria $\alpha(t)$. Lo cual da una nueva forma de clasificar resonancias, el cual es un poco diferente a la clasificación usual de SU(3). La figura

Algoritmo en fast jet

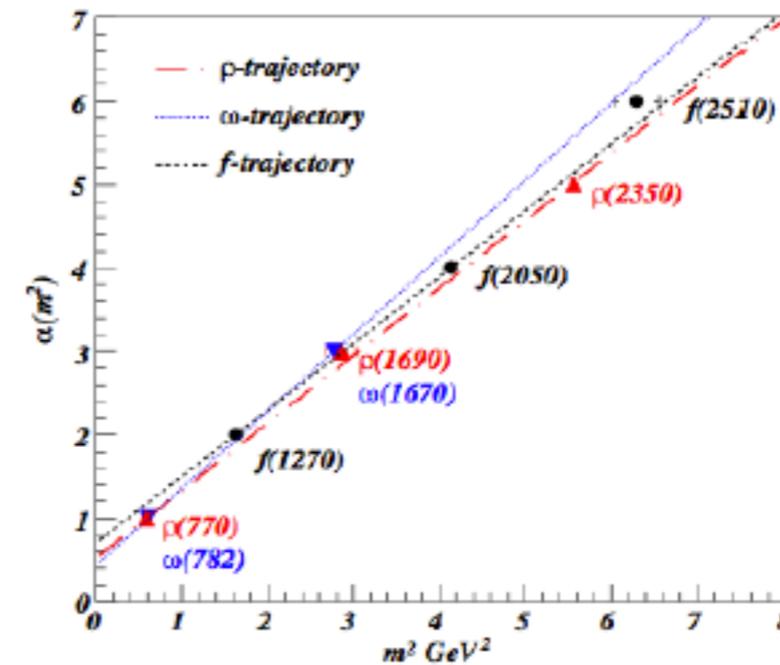
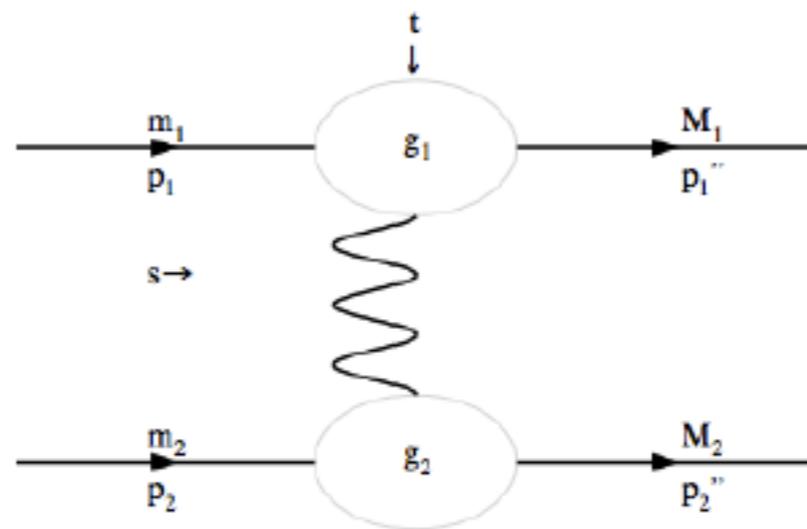


Figura 6: a) Intercambio de Reggeon, b) Gráfica de Chew-Frautschi, trayectorias de ρ , f y ω [69].

4. Nueva herramienta para revelar el nuevo fenómeno en sistemas pequeños

Conclusiones del primer trabajo

- Estudiamos los mecanismos de física subyacente (hidrodinámica y CR) usando EPOS 3 y PYTHIA 8, para la razón protón pión y el análisis de BW.
- La razón protón a pión muestra una elevación a 3 GeV, una clasificación más diferencial fue hecha usando el momento transverso del jet líder, a baja multiplicidad aparecen patrones de flujo radial cuando usamos hidrodinámica y los efectos de CR son pequeños.
- Para eventos de alta multiplicidad la composición de partículas es diferente en PYTHIA 8 y EPOS 3, visible en la razón protón pión cuando la multiplicidad varía, EPOS 3 cambia mientras que PYTHIA 8 no.
- El blast-wave y el espectro para sabores ligeros mejoran significativamente cuando se incrementa el p_T del jet líder, también encontrado en eventos de baja multiplicidad sugiriendo la presencia de comportamiento colectivo debido a jets.
- Se encontró que la dependencia de la multiplicidad en la β_T promedio es mayormente afectada por jets en PYTHIA 8 mas que en EPOS 3

Motivados por este análisis se introdujo la variable esferocidad como nueva herramienta en ALICE para controlar el contenido de jets en la medición de la correlación $\langle p_T \rangle$ vs N_{ch}

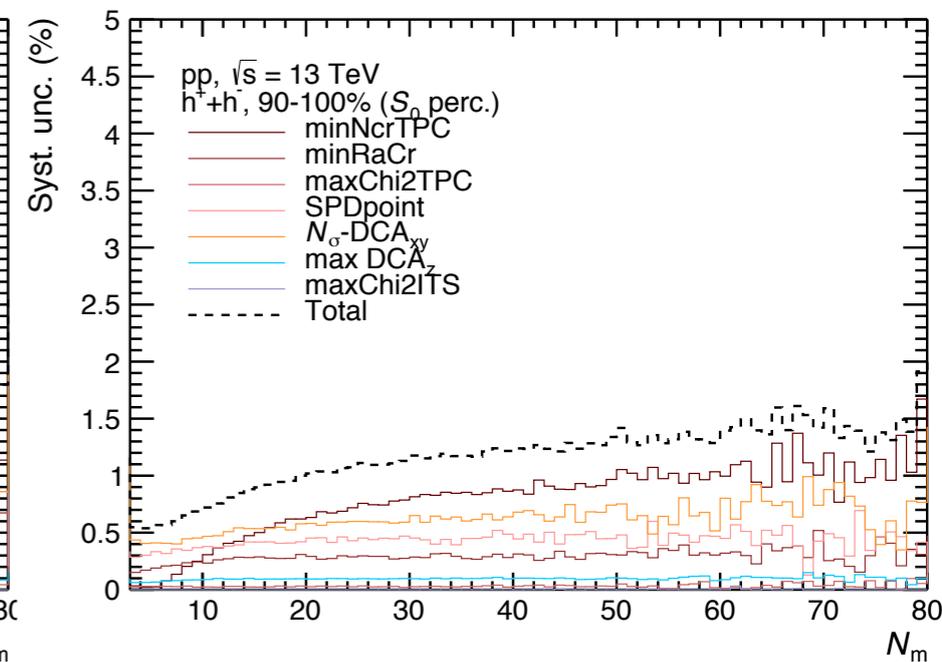
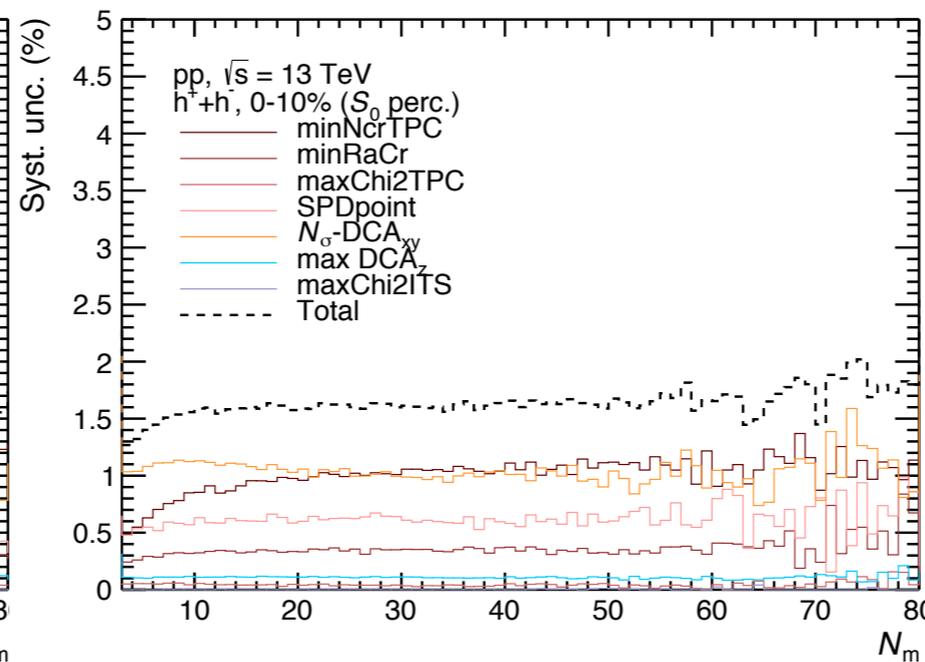
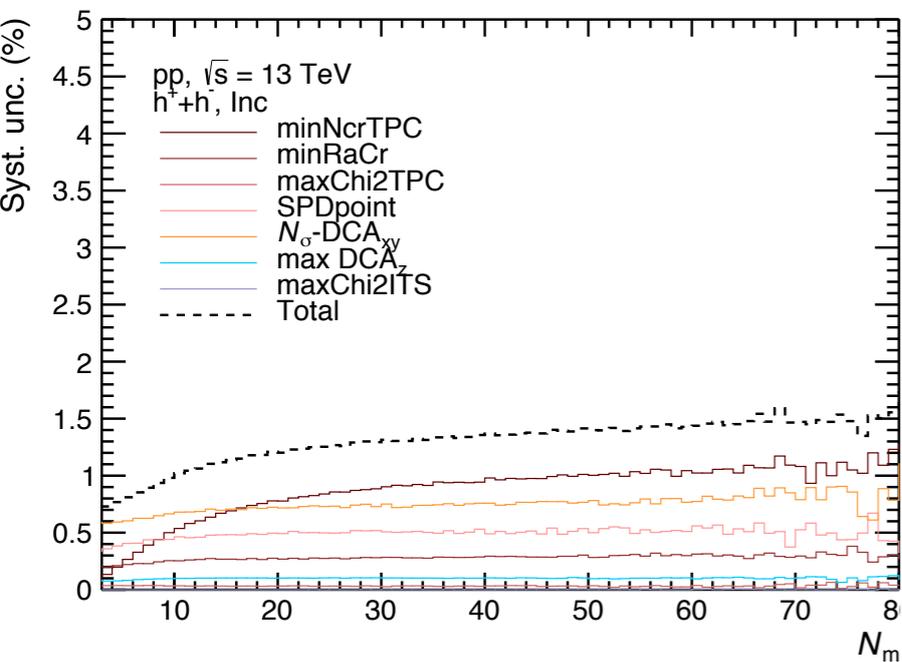
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Incertidumbre sistemáticas

Las incertidumbres sistemáticas debido a los cortes de traza son:

Track cut	Nominal value	Lower value	Higher value
Min. num crossed rows	70	60	100
Min. ratio crossed rows over findable TPC cluster	0.8	0.7	0.9
Max χ^2 per cluster in TPC	4	3	5
Max χ^2 per cluster in ITS	36	25	49
SPD point	required	not required	not required
DCA _{xy}	7 σ	4 σ	10 σ
DCA _z	2	1	5

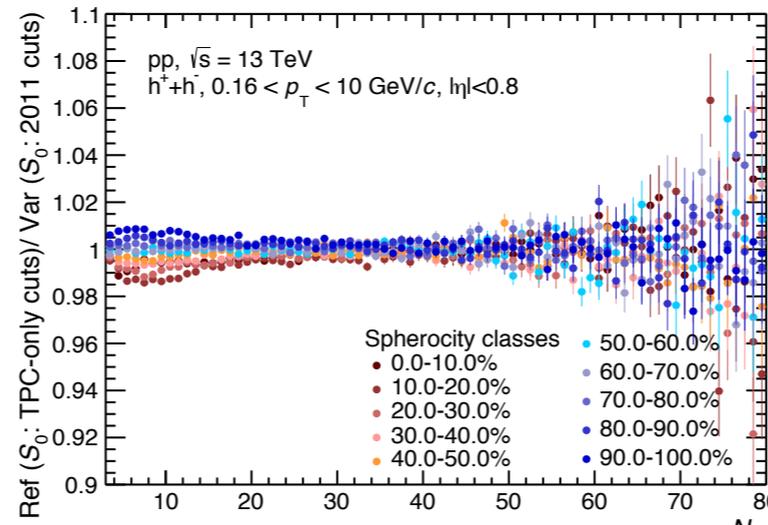
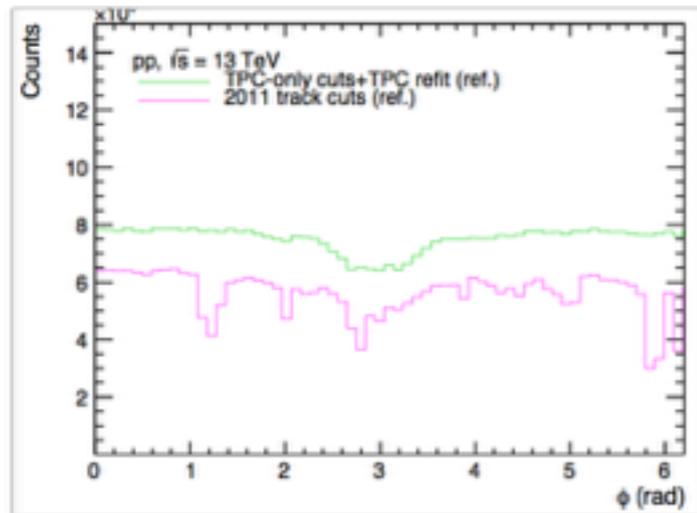
Table 5.1: Track cuts variations for systematics calculation for mean transverse momentum.



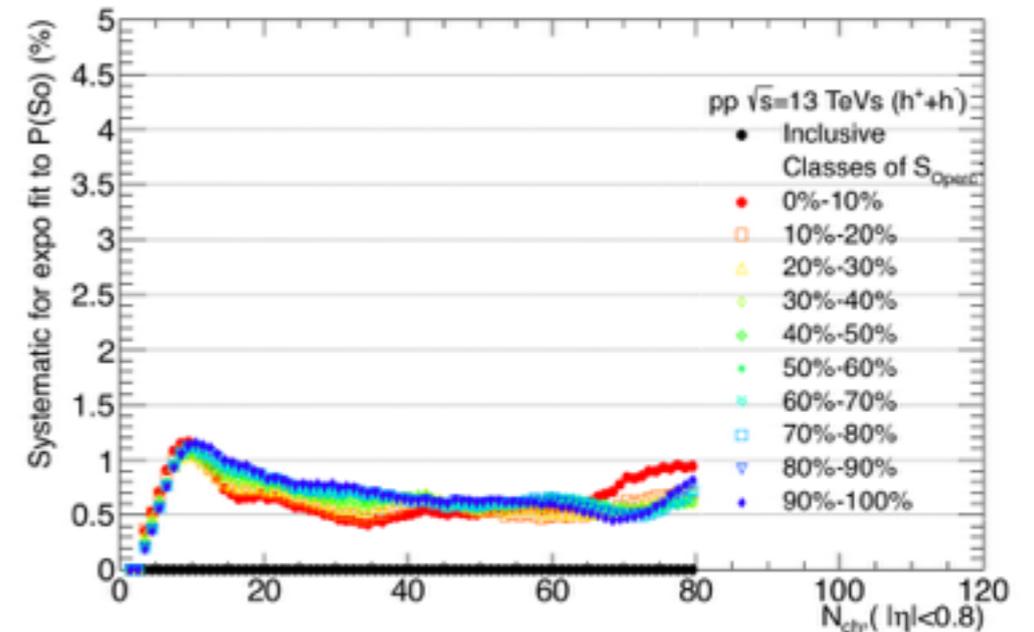
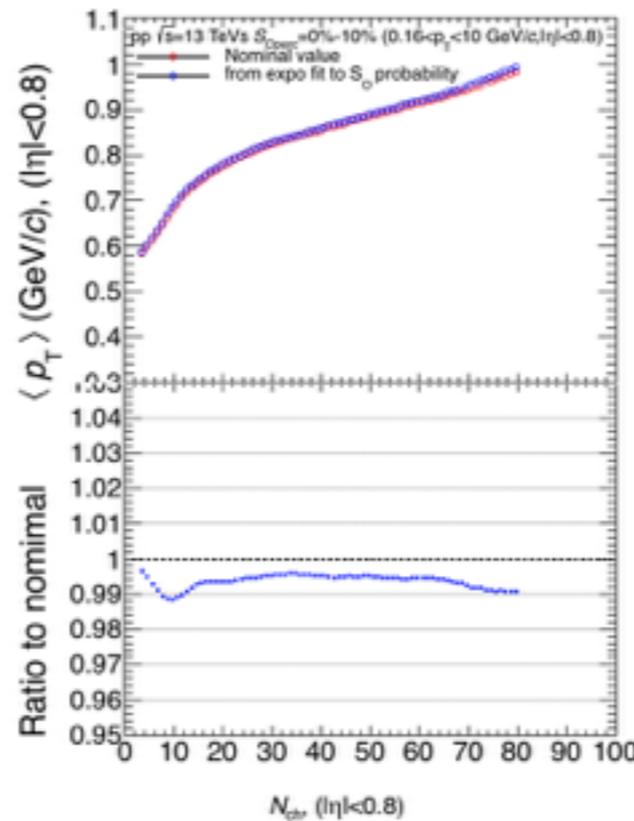
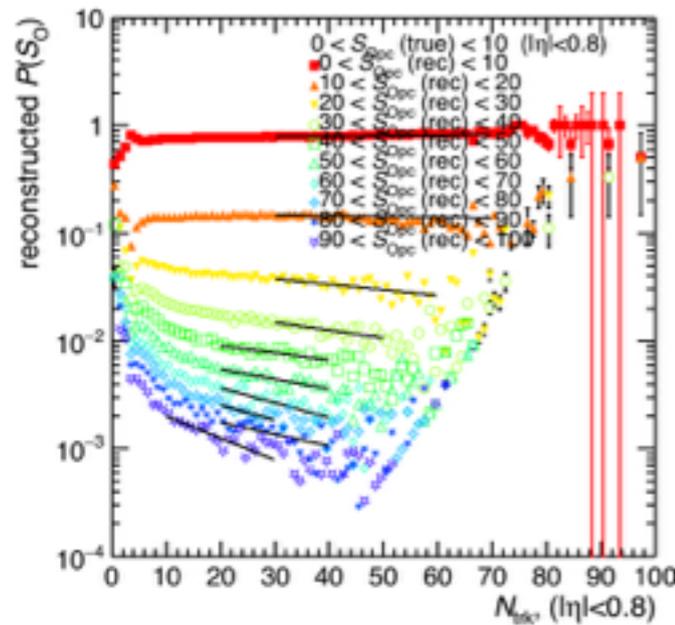
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Incertidumbre sistemáticas

Las respectivas debido a la selección de trazas para esferocidad:



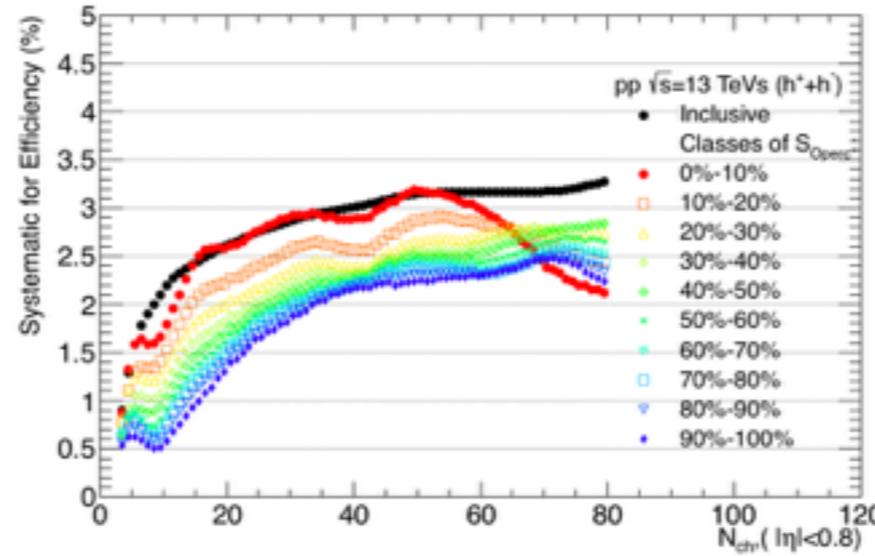
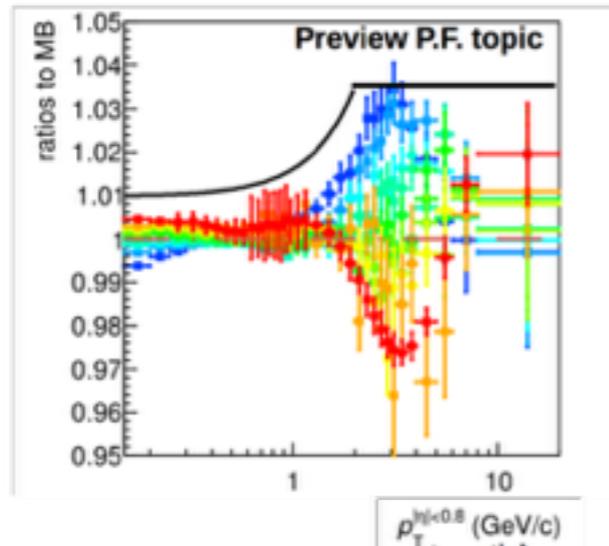
Las respectivas debido a la extrapolación de las matrices de respuesta de esferocidad



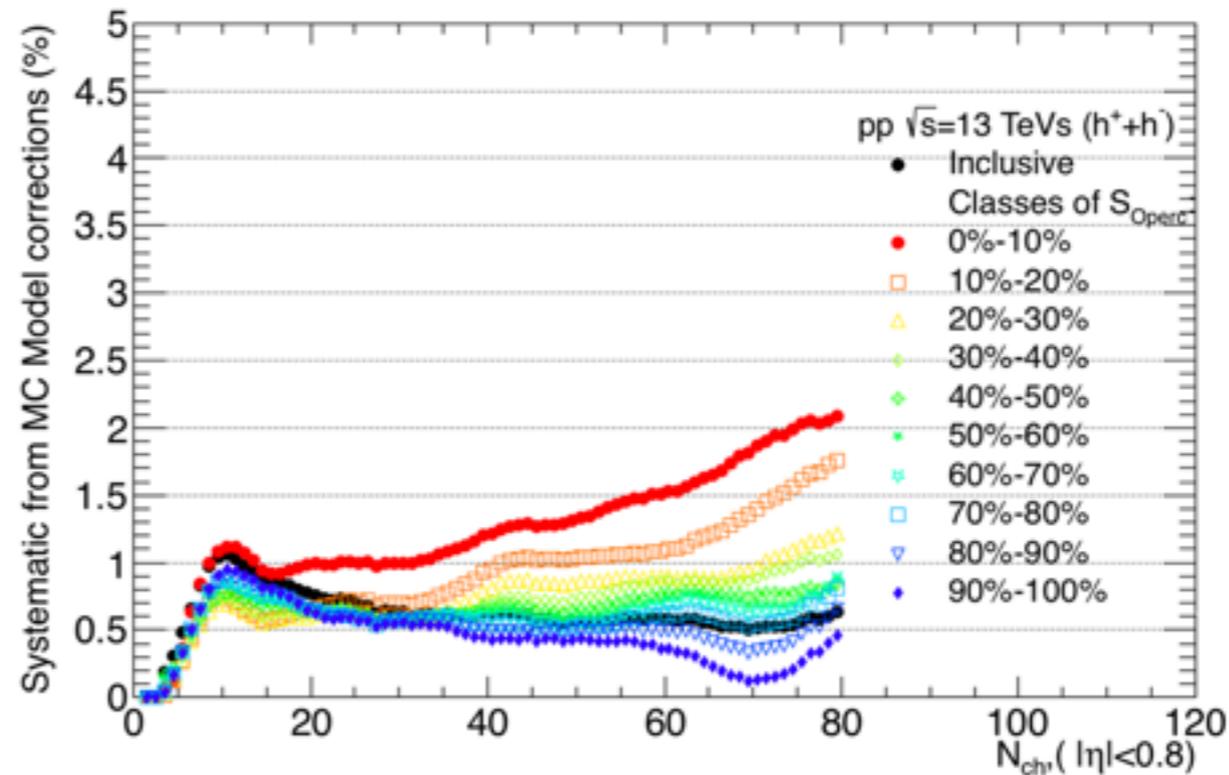
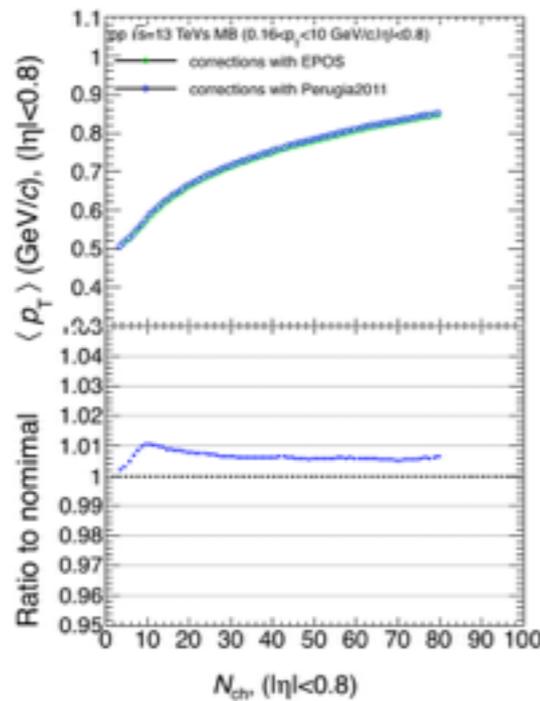
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Incertidumbre sistemáticas

Las respectivas debido a la dependencia de la multiplicidad en la eficiencia



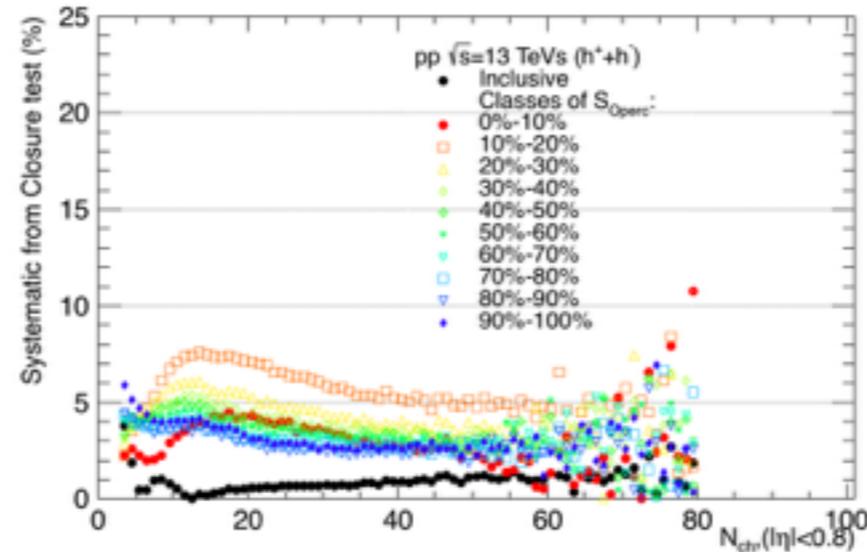
Las respectivas debido al modelo usado para la corrección



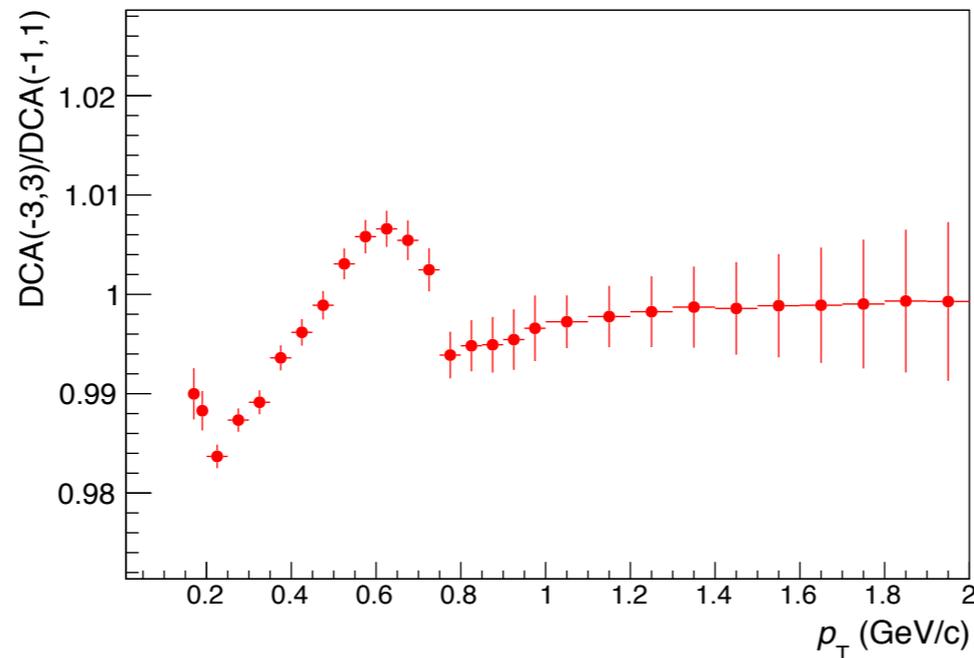
5. Estudios de variables de forma en ALICE

Incertidumbre sistemáticas

Las respectivas debido al procedimiento de corrección (non-closure)



Las respectivas debido al ajuste al DCA para la contaminación de secundarias

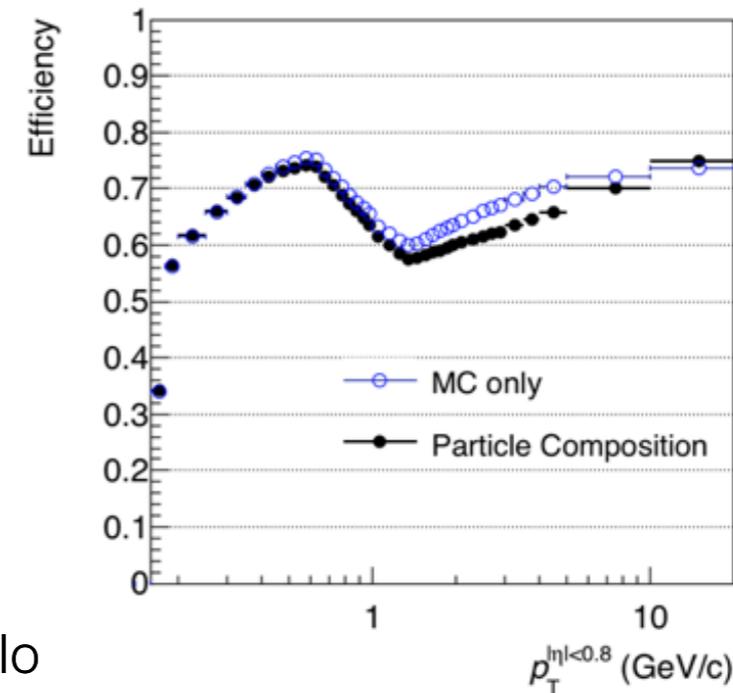
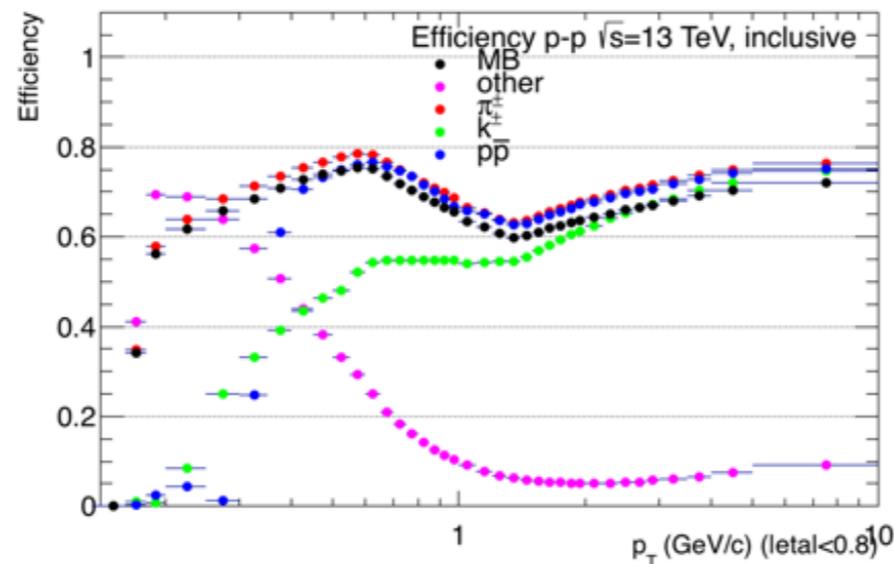
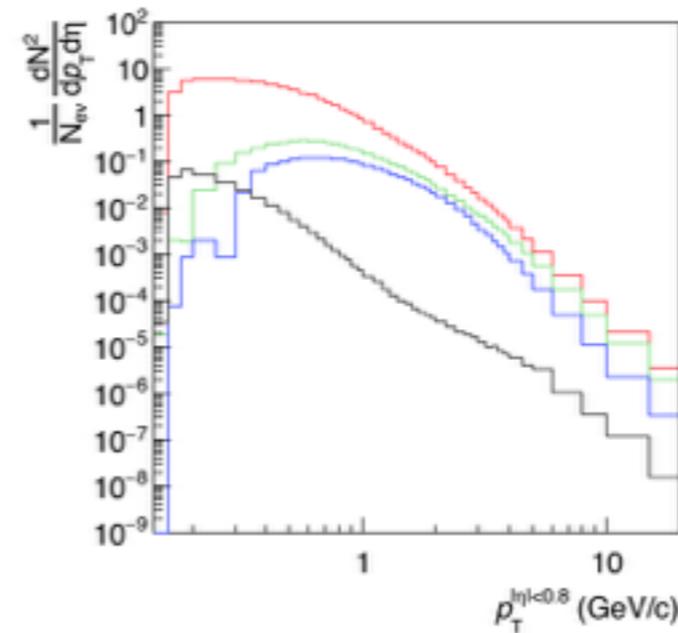
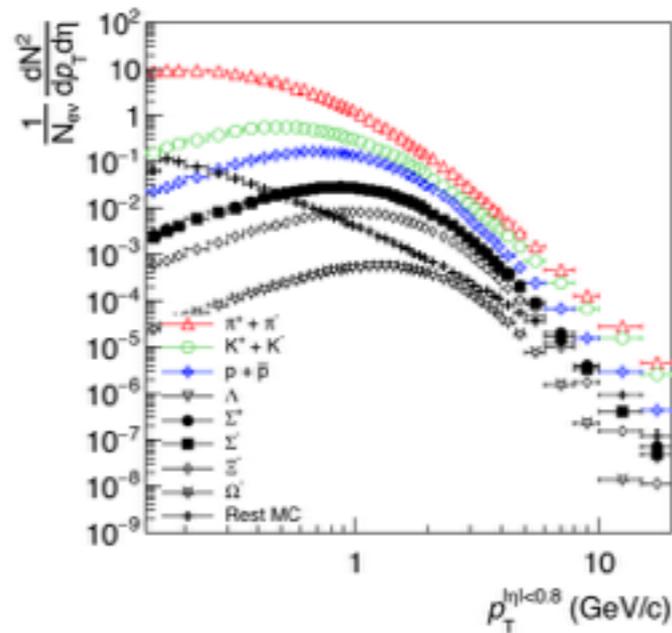


5. Estudios de variables de forma en ALICE

Correcciones por eficiencia.

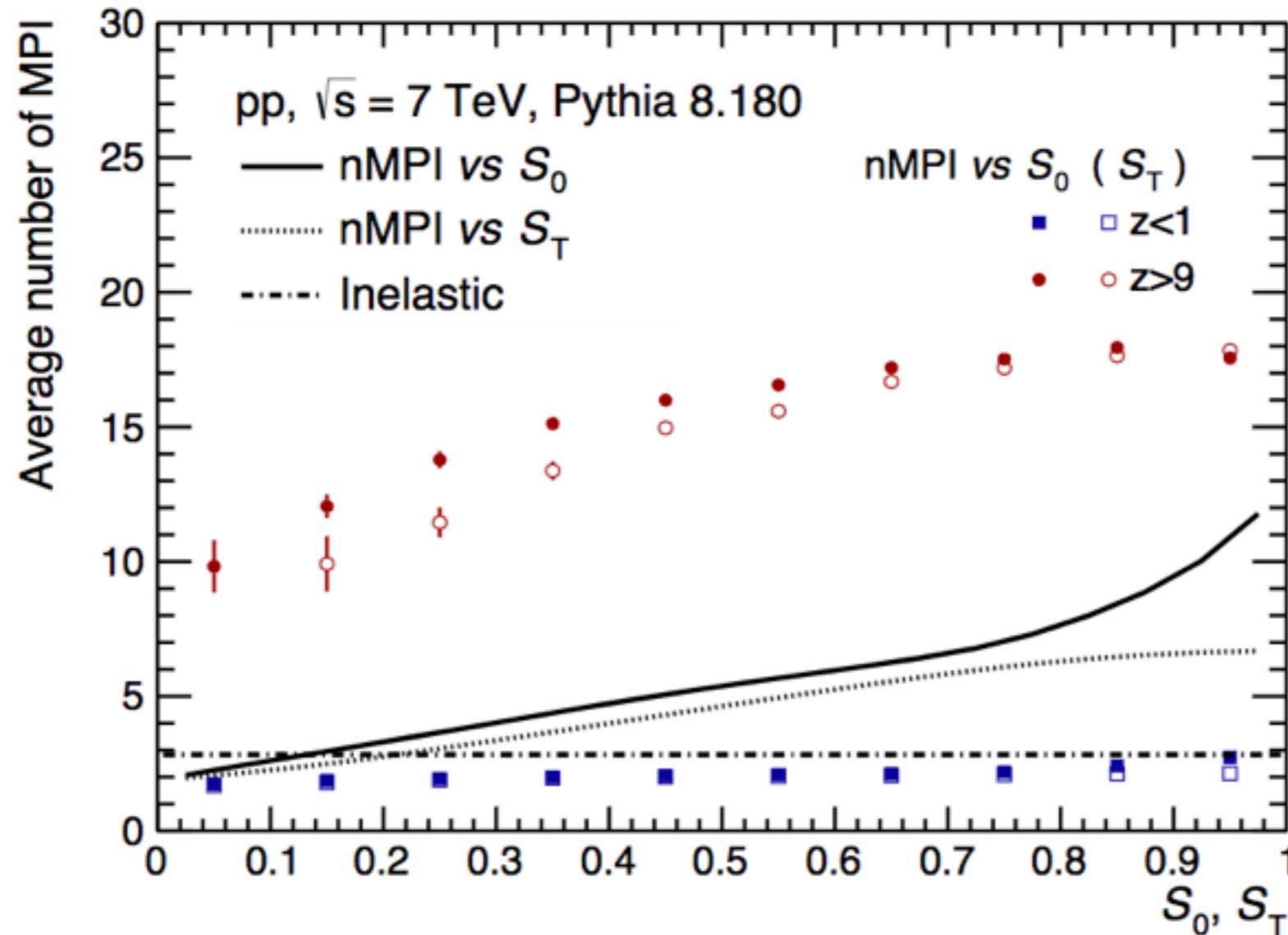
Para la corrección de eficiencia usamos una aproximación usando datos (data driven), donde la eficiencia por composición de partículas es dada por:

$$\epsilon_{\text{PartComp}} = \frac{\sum_{i=\pi,K,p} \epsilon_{\text{MC}}^i \cdot (dN/dp_T^i)_{\text{data}} + \epsilon_{\text{MC}}^{\text{rest}} \cdot (dN/dp_T)_{\text{MC}}^{\text{rest}}}{\sum_{i=\pi,K,p} (dN/dp_T^i)_{\text{data}} + (dN/dp_T)_{\text{MC}}^{\text{rest}}}$$



5. Comparación esfericidad y esferocidad

La esferocidad es sensible a interacciones multipartónicas para eventos tipo dijet de alta multiplicidad



Disentangling the soft and hard components of the
pp collisions using the sphero(i)city approach
Eleazar Cuautle, Raul Jimenez, Ivonne Maldonado,
Antonio Ortiz, Guy Paic, Edgar Perez, arXiv:1404.2372 [hep-ph]

Héctor Bello