

# Título de la tesis: Estudio de fluctuaciones y anisotropía en colisiones p-p y p-Pb a energías del LHC

**Angel Sierra Martínez**

Asesor: Dra. Irais Bautista Guzmán  
Coasesor: Antonio Ortiz Velásquez

# Contenido

- Cronograma de actividades
- Motivación
- Simulaciones
- Datos
- Conclusiones
- Cronograma de actividades (por hacer)

# Cronograma de actividades

- Visita al ICN-UNAM para acordar un plan de trabajo con el coasesor Dr. Antonio Ortiz Domínguez
- Aprendizaje y desarrollo de la teoría y las herramientas de análisis
- Como primera parte, análisis de fluctuación con datos para ambos sistemas (pp y p-Pb) y comparación de la medición con el estimador de referencia y el estimador V0M
- Uso de una observable ( $C^m$ ) para la entender el comportamiento de las correlaciones en las fluctuaciones no estadísticas
- Comparación de estos primeros resultados con Monte Carlo (PYTHIA 8.212)
- Participación en las reuniones semanales en línea (BUAP e ICN-UNAM)
- Presentación de los avances de estos estudios en la XXX REUNIÓN ANUAL DIVISIÓN DE PARTÍCULAS Y CAMPOS

# Motivación

- El detector ALICE es utilizado para estudiar las propiedades del Plasma de Quarks y Gluones (QGP) producido en colisiones de iones pesados
- Se cree que en este medio los quarks y gluones coexisten en un estado cuasi-libre y posteriormente en la transición al gas de hadrones se recombinan en objetos neutros en carga de color
- Tanto en p-p como en p-Pb se han observado efectos del QGP a alta multiplicidad. La motivación es estudiar observables que nos permitan diferenciar el origen de efectos colectivos en sistemas pequeños

# Motivación

- En esta transición de fase ocurren fluctuaciones de cantidades que pueden ser observadas en mediciones evento por evento. Nos interesa medir evento por evento las fluctuaciones en el momento transversal medio de las partículas cargadas como función de la multiplicidad promedio de las mismas. Dichas fluctuaciones pueden ser tanto dinámicas como estadísticas
- Las fluctuaciones dinámicas son el resultado de correlaciones entre el momento transversal de las partículas, e.g. jets, procesos difractivos, etc.

# Fluctuaciones dinámicas

- Para medir las fluctuaciones dinámicas evento por evento utilizamos el correlador ( $C_m$ ) de  $p_T$  para pares de partículas:

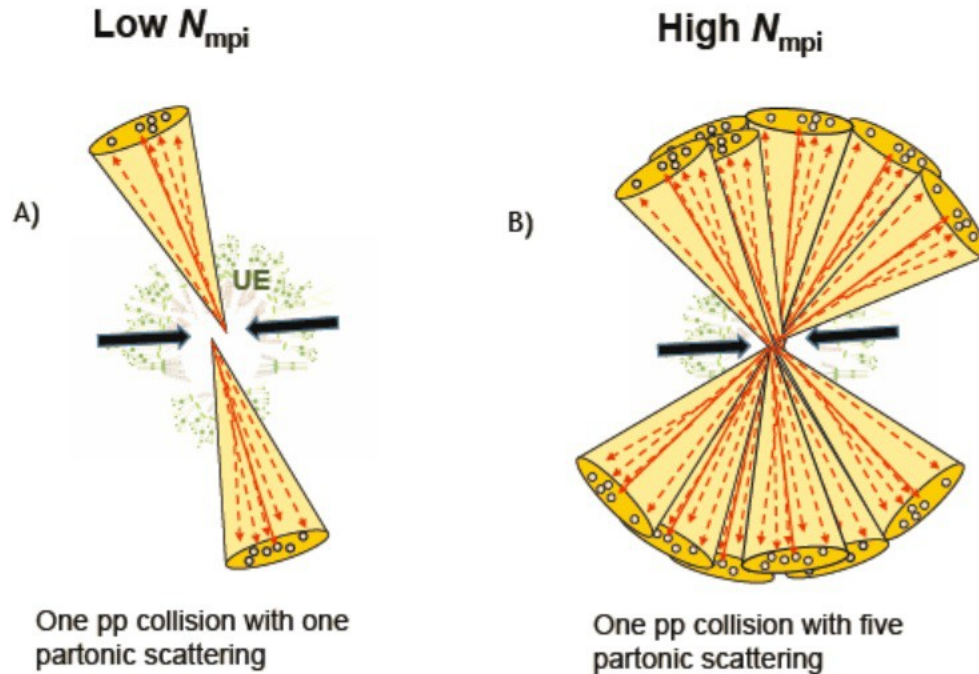
$$C_m = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n_{ev,m}} N_k^{\text{pairs}}} \sum_{k=1}^{n_{ev,m}} \sum_{i=1}^{N_{acc,k}} \sum_{j=i+1}^{N_{acc,k}} (p_T^i - M(p_T)_m)(p_T^j - M(p_T)_m)$$

- Donde  $M(p_T)_m = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n_{ev,m}} N_{acc,k}} \sum_{k=1}^{n_{ev,m}} \sum_{i=1}^{N_{acc,k}} p_T^i$
- Por definición  $C_m$  es cero si sólo hay fluctuaciones puramente estadísticas
- Para presentar los resultados se usa la cantidad adimensional  $\frac{\sqrt{|C_m|}}{M(p_T)_m}$   
(fluctuación dinámica relativa)

# Simulaciones

- Colisiones p-p a  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
- 400 M de eventos
- Tune: Monash 2013 Pythia 8.212
- Los eventos fueron seleccionados usando tres criterios:
  - $N_{ch}$  contadas a pseudo-rapidez,  $|\eta| < 0.8$
  - $N_{ch}$  contadas a forward-backward  $\eta$ ,  $2.8 < \eta < 5.1$  &  $-3.6 < \eta < -1.7$
  - Número de interacciones multi-partónicas  $N_{mpi}$
- La fluctuación dinámica  $\frac{\sqrt{|C_m|}}{M(p_T)_m}$  relativa se estudia como función de  $\left\langle \frac{dN_{ch}}{d\eta} \right\rangle_{|\eta| < 0.8}$

# Simulaciones

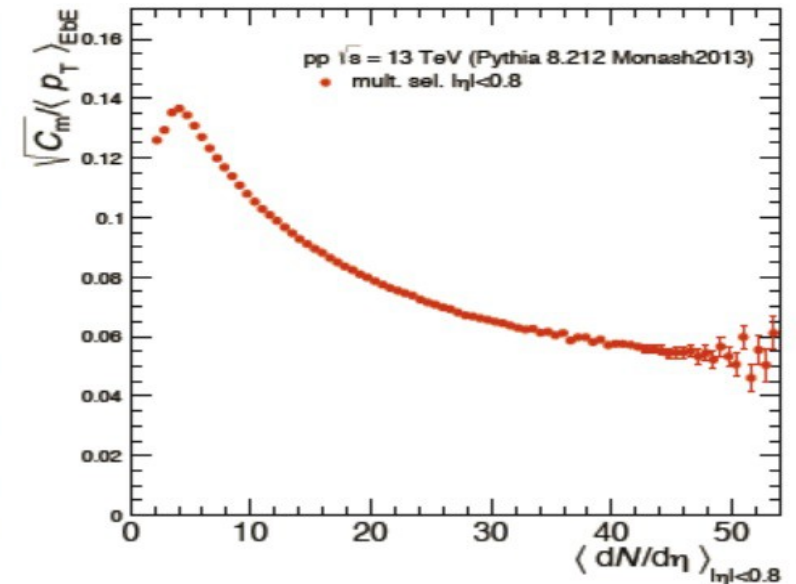
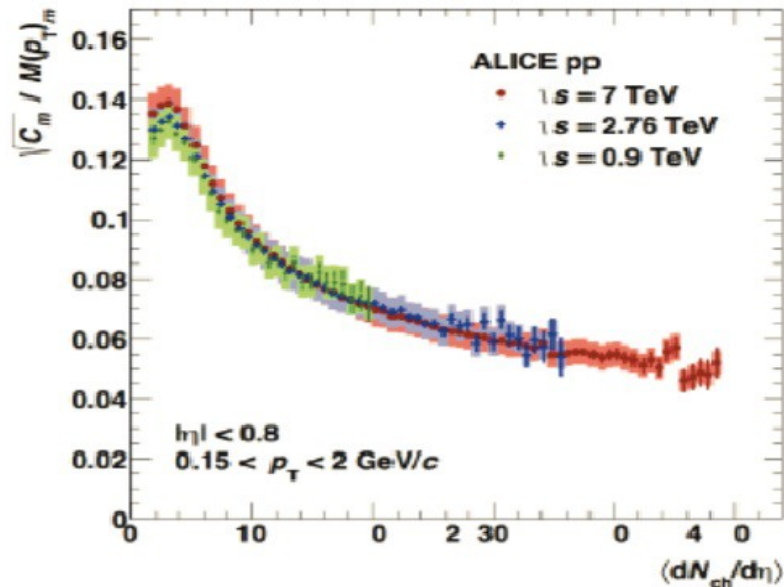


A) Sólo una fuente de correlación de  $p_T$ , se espera que el  $p_T$  de todas las partículas esté corelacionado

B) con un número mayor de dispersiones partónicas hay más número de fuentes y se espera que se reduzcan las correlaciones entre el  $p_T$  de las partículas

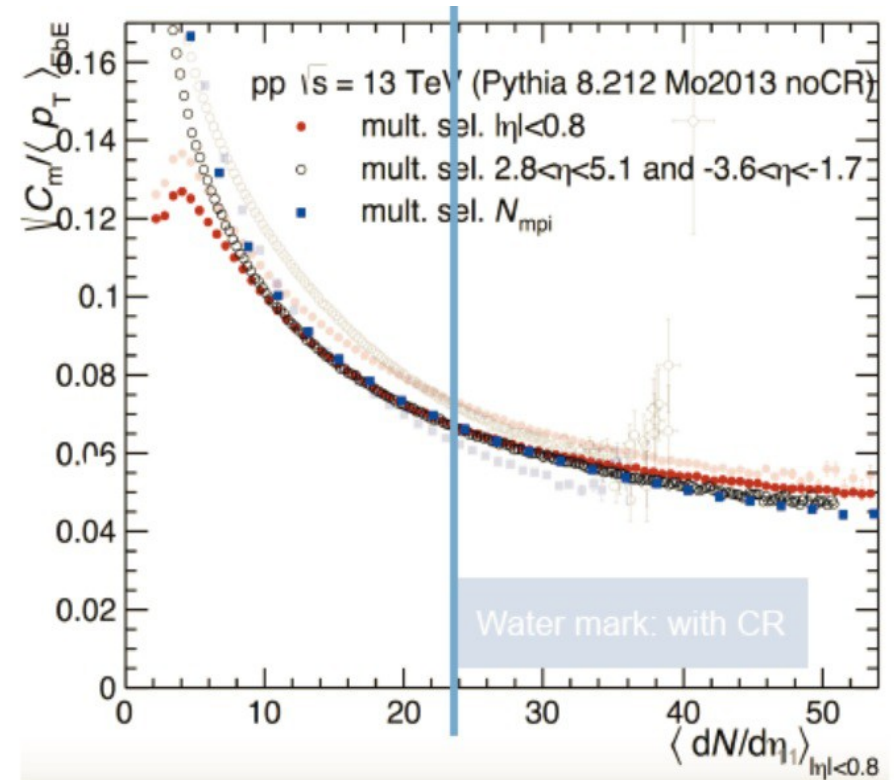
# Fluctuación dinámica relativa

La dependencia en multiplicidad es muy similar a la medida por ALICE para colisiones p-p a energías más bajas



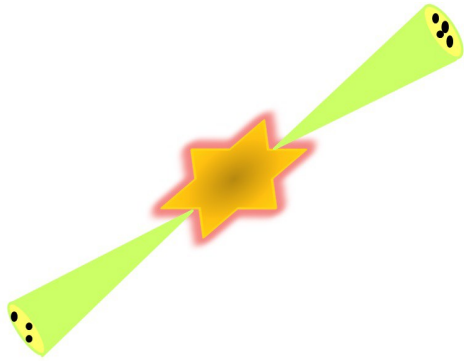
# Con y sin Color Reconnection

Sin CR hay una reducción en la fluctuación debido a que se remueve una fuente de correlaciones de  $p_T$ , los mayores efectos se observan a baja multiplicidad

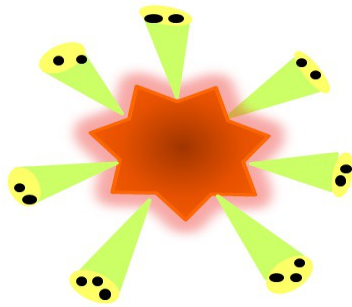


# Esferocidad

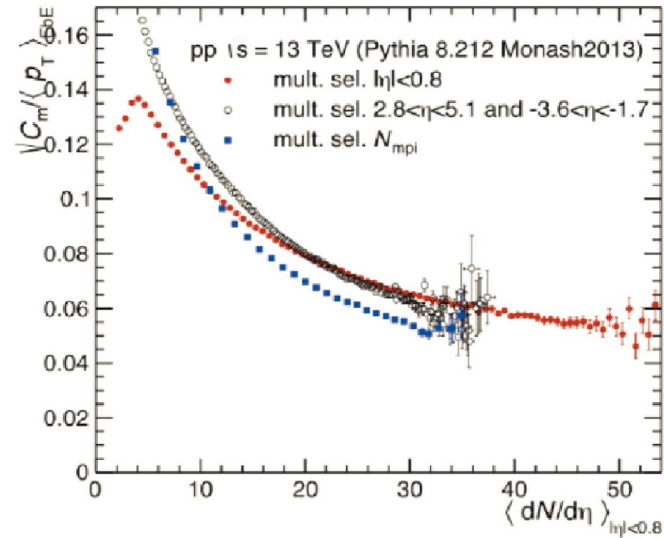
$$S_{OT} = (\min \hat{\mathbf{n}}) \frac{\pi^2}{4} \left( \frac{\sum_j |\vec{p}_T \times \hat{\mathbf{n}}|}{\sum_j p_{T,j}} \right)^2$$



$$S_{OT} \approx 0$$



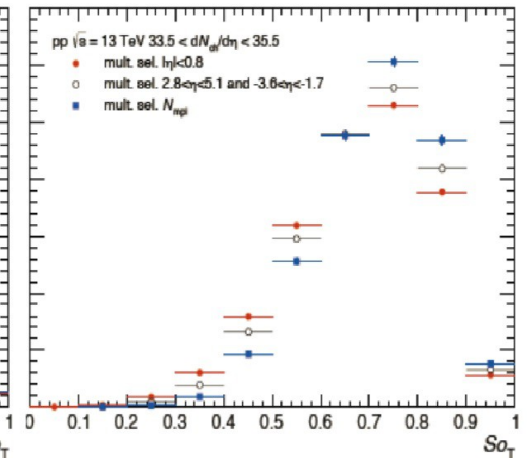
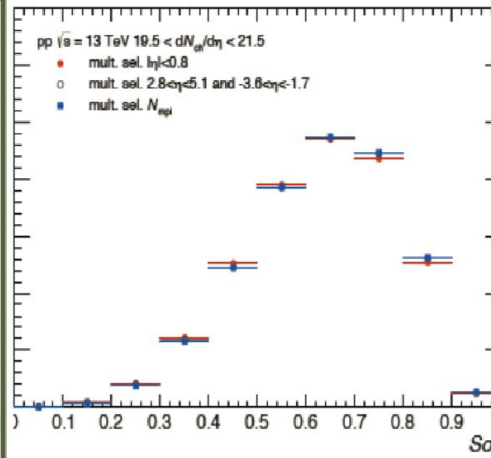
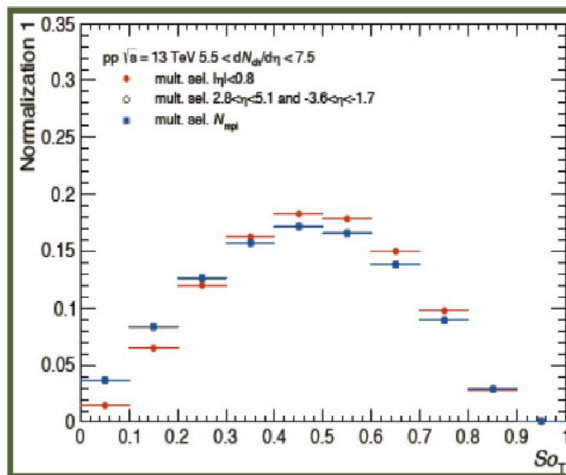
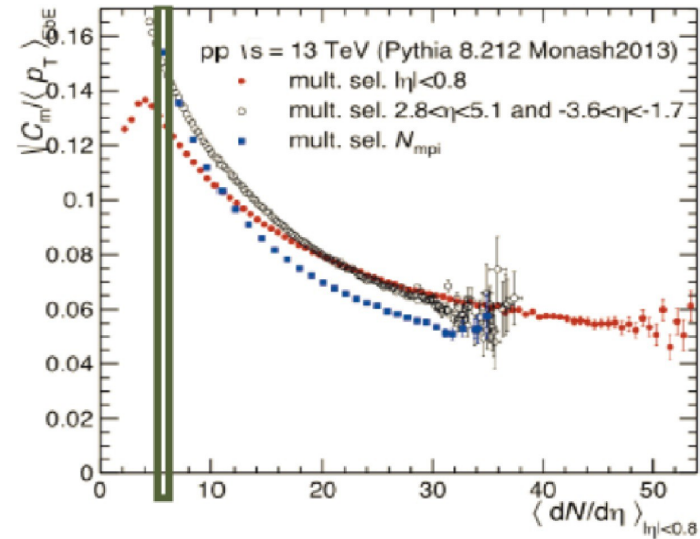
$$S_{OT} \rightarrow 1$$



Nucl. Phys. A941 (2015) 78-86

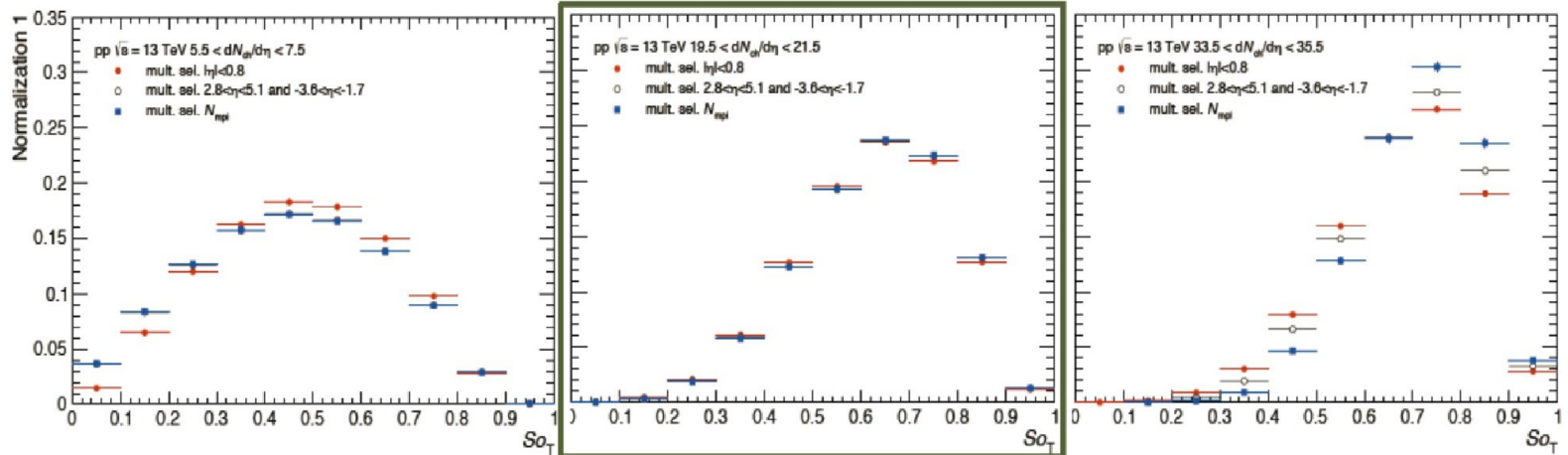
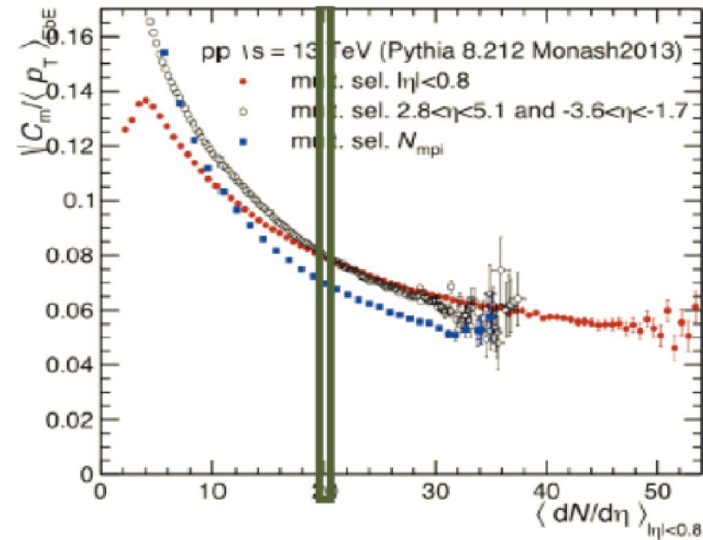
# Esferocidad

Baja  $\langle dN/d\eta \rangle$ : Si la selección se hace con la aceptación de VZERO o  $N_{\text{mpi}}$  los eventos son más del tipo jet



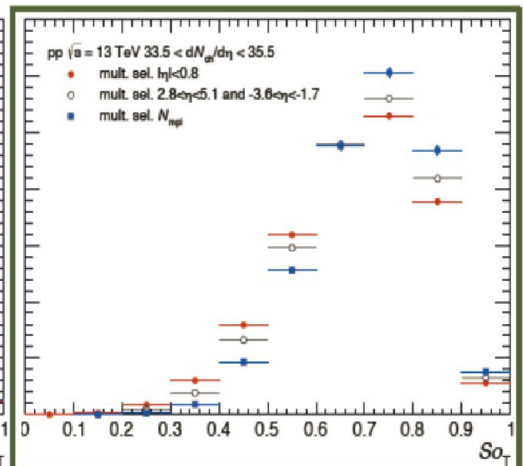
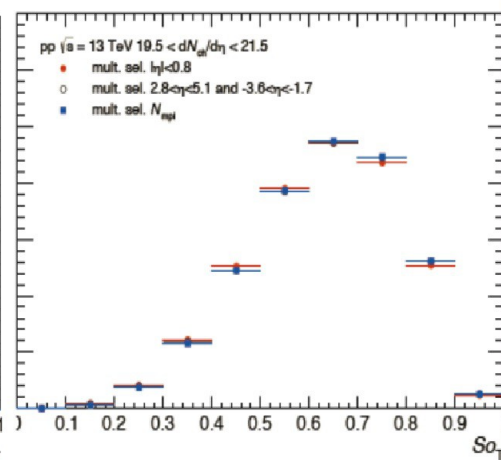
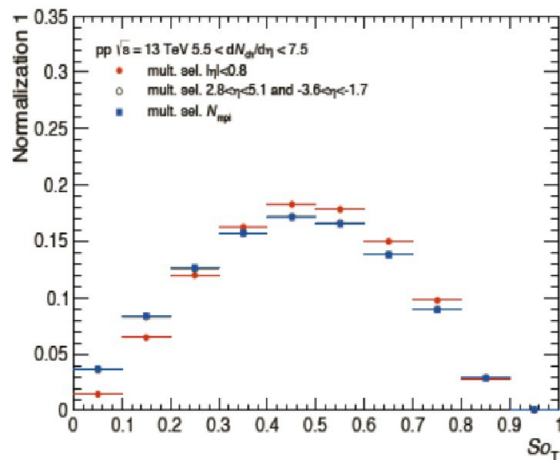
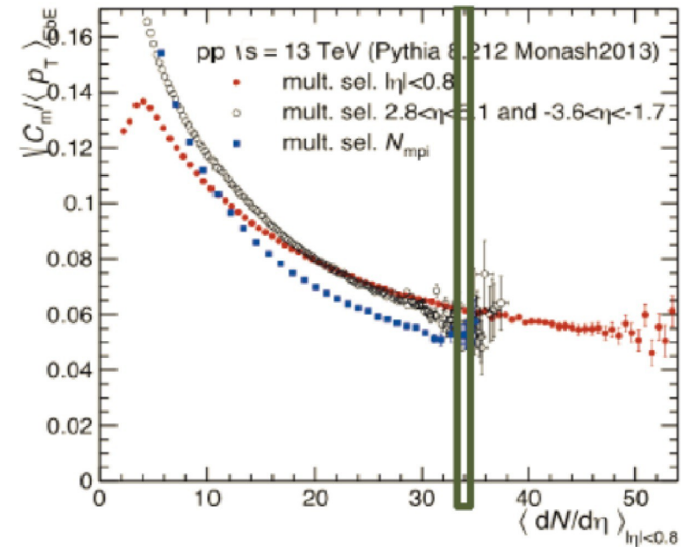
# Esferocidad

$\langle dN/d\eta \rangle$  intermedia: En este caso los tres selectores tienen distribuciones de  $S_{OT}$  similares

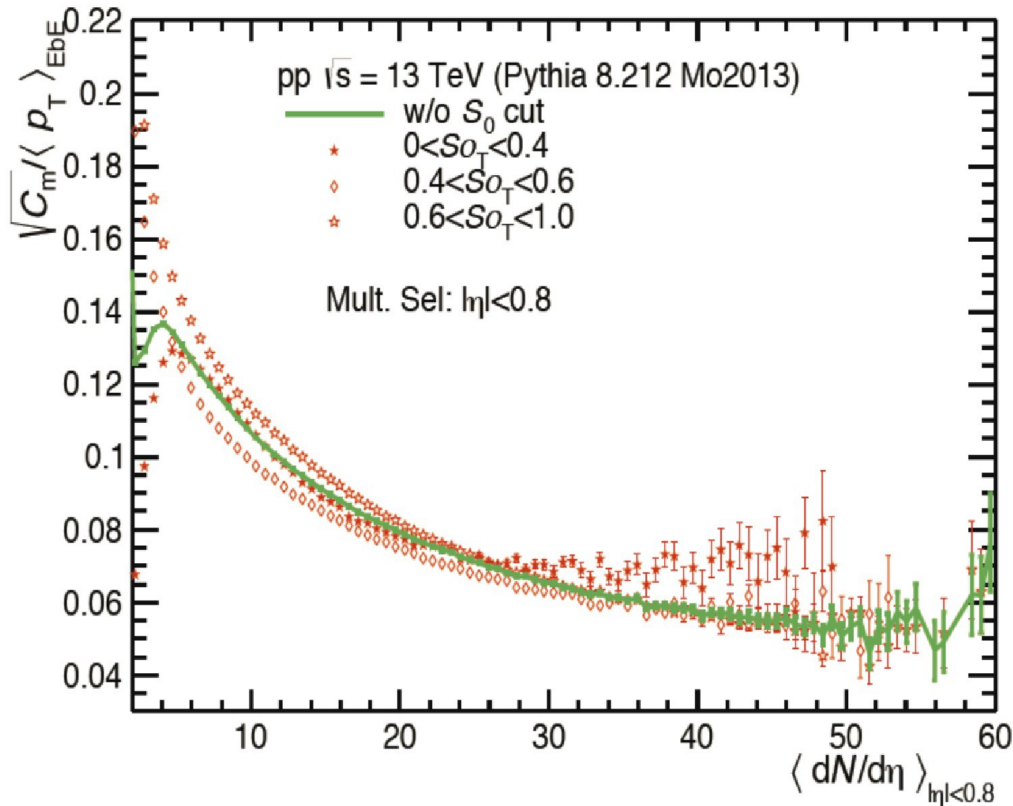


# Esferocidad

Alta  $\langle dN/d\eta \rangle$ : el selector de rapidez central da más eventos tipo jet que el basado en  $N_{\text{mpi}}$



# Estudio de fluctuaciones como función de la esferocidad

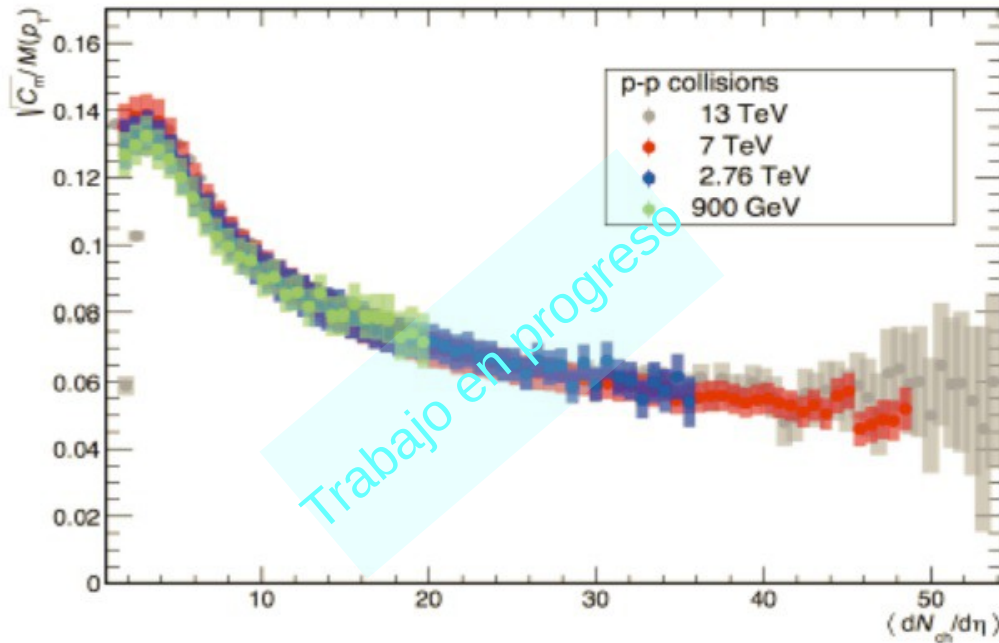


Usando esferocidad vemos que para eventos de alta multiplicidad tipo jet se obtienen fluctuaciones mayores

# Datos

- **p-p a 13 TeV** periodo LHC15f pass 2
- Runs (good runs,  $\mu < 1$ ):  
225026,225031,225035,225037,225041,225043,225050,225051,225052,225578,225716,  
226220,226500,225106,225305,225307,225309,225310,225313,225314,225315,225322,  
225576,225579,225580,225582,225586,225587,225705,225707,225708,225709,225710,  
225717,225719,225753,225757,225762,225763,225766,225768,226062,226170,226225,  
226444,226445,226452,226466,226468,226472,226476,226483,226495
- **P-Pb a 5.02 TeV** periodo LHC13c pass2
- Runs (good runs,  $\mu < 1$ ):  
195567, 195568,195593,195596,195675
- Selección de eventos:
  - Trigger kINT7, SPD vertex ( $|vtx_z| < 10cm$ ), SPD pile-up rejection, background rejection usando los cortes en SPD clusters vs. Tracklets
- Selección de tracks:
  - ITSTPCTackCuts2011(kTRUE,1)
  - $0.15 < p_T < 2 \frac{GeV}{c}$
- Selectores de multiplicidad:
  - Estimador de referencia ( $|\eta| < 0.8$ )
  - VOM

# Fluctuaciones en $p_T$ promedio, comparación con resultados publicados

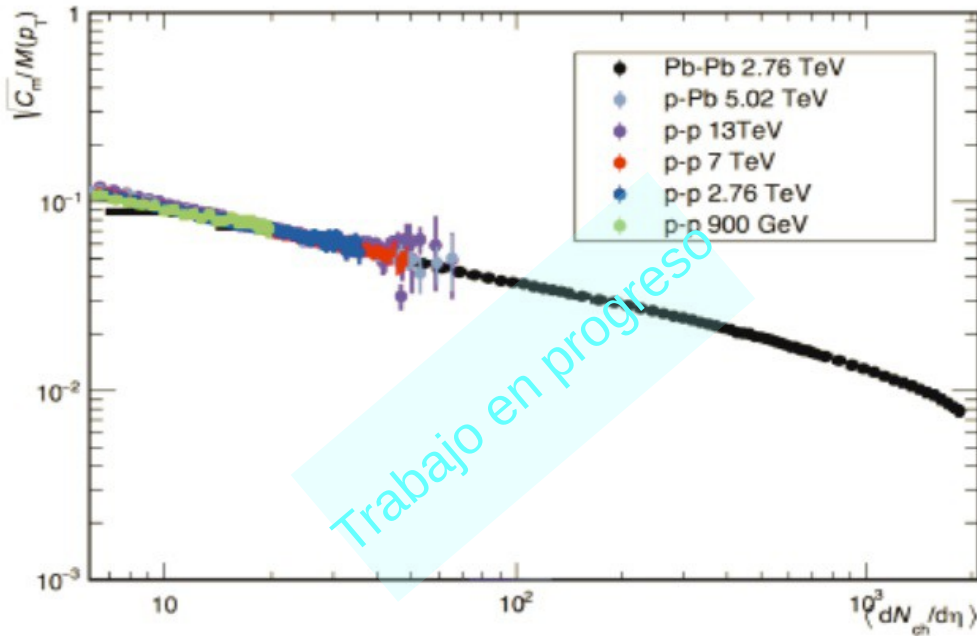


p-p a 13 TeV:  
fluctuaciones dinámicas  
no corregidas

Sistemáticamente hay  
una pequeña dependencia  
en la energía

Data from: ALICE Collaboration (Betty Bezverkhny Abelev (LLNL, Livermore) et al.). Jul 21, 2014. 15 pp. Published in Eur.Phys.J. C74 (2014) no.10, 3077

# Fluctuaciones en $p_T$ promedio, comparación con resultados publicados

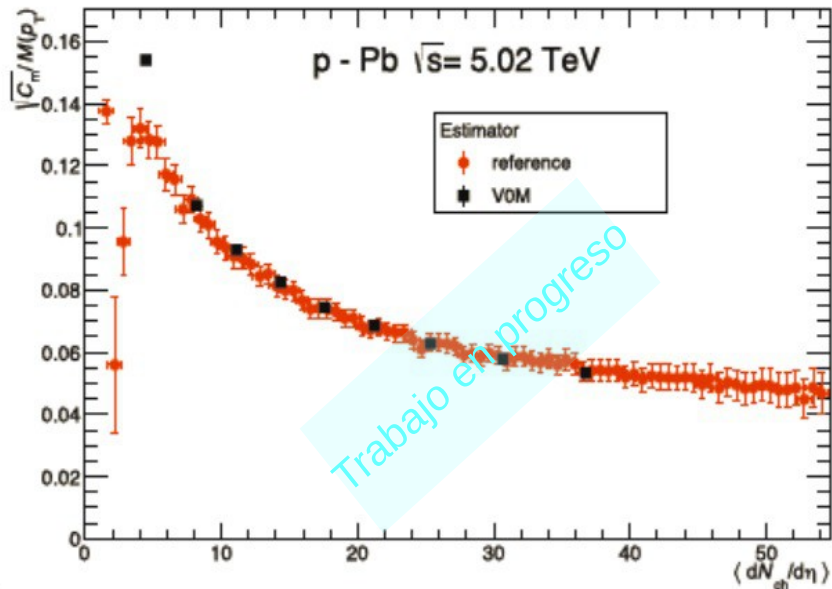


p-p a 13 TeV y p-Pb a 5.02  
TeV: fluctuaciones dinámicas  
no corregidas

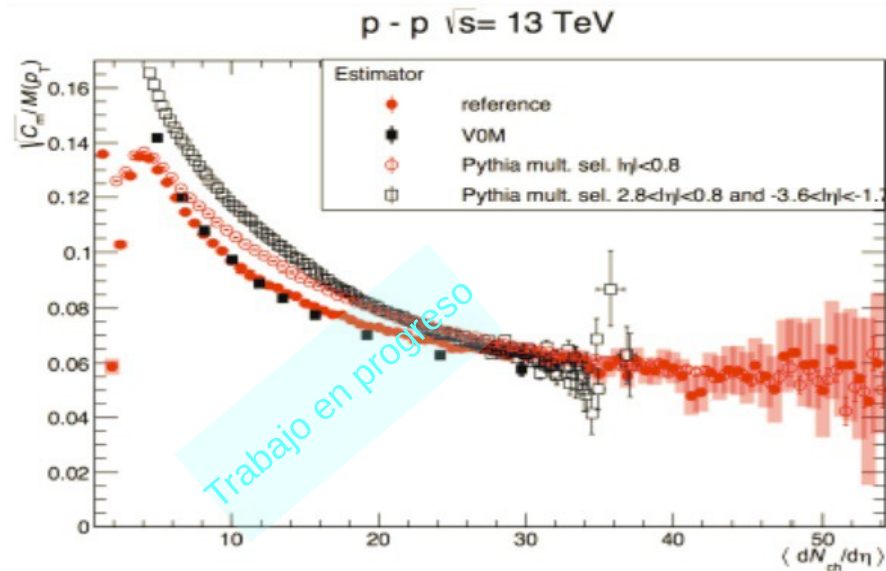
Parece no haber dependencia en  
el tamaño del sistema

Data from: ALICE Collaboration (Betty Bezverkhny Abelev (LLNL, Livermore) et al.). Jul 21, 2014.  
15 pp. Published in Eur.Phys.J. C74 (2014) no.10, 3077

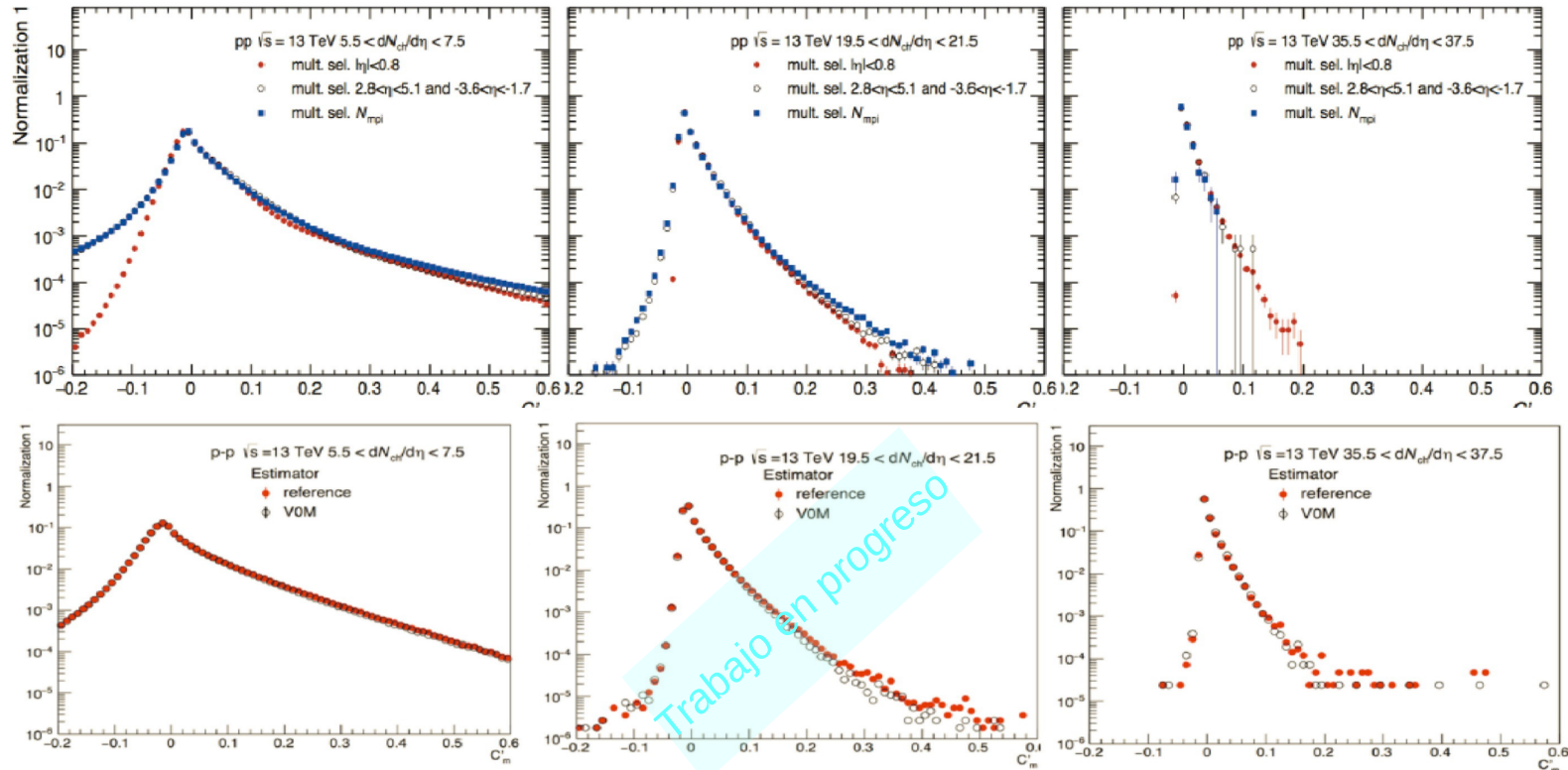
# Fluctuaciones en $p_T$ promedio, comparación entre los datos y Pythia



Se observa una pequeña diferencia cuando se comparan los dos estimadores en datos, y una diferencia mayor cuando se comparan en Pythia



# Perfiles del correlador



$$C'_m = \frac{1}{M(p_T)_m} \frac{\sum_{i=1}^{N_{acc,k}} \sum_{j=i+1}^{N_{acc,k}} (p_T^i - M(p_T)_m)(p_T^j - M(p_T)_m)}{N_m^{pairs}}$$

# Conclusiones

- El estudio de las fluctuaciones dinámicas relativas del  $p_T$  promedio usando el estimador VOM y datos a diferente energía en el c.m. luce prometedor
- Podemos aprender acerca del efecto de CR Y MPI en las fluctuaciones
- Es interesante estudiar la distribución del correlador

Agradecemos:  
Inputs de Guyla Bencedi  
Discusiones con Guy Paic y Arturo Fernández

# Cronograma de actividades

- Cálculo de errores sistemáticos
- Más estudios diferenciados
- Estancia en el CERN

# Apéndice

- Para medir las fluctuaciones evento por evento utilizamos la fluctuación dinámica definida como:

- $$\sigma^2_{p_T,dyn} = \langle (M(p_T) - \mu_{M(p_T)})^2 \rangle - \frac{\langle (p_T - \mu_{p_T})^2 \rangle}{\langle N_{ch} \rangle}$$

- La cual se deriva de:
- Variancia de la distribución de  $p_T$  de una partícula  $\langle (p_T - \mu_{p_T})^2 \rangle$
- Varianza de la distribución de evento transversal evento por evento del momento transversal medio  $\langle (M(p_T) - \mu_{M(p_T)})^2 \rangle$
- El promedio de partículas cargadas por evento  $\langle N_{ch} \rangle$

CERES, Nucl. Phys. A811 (2008) 179–196