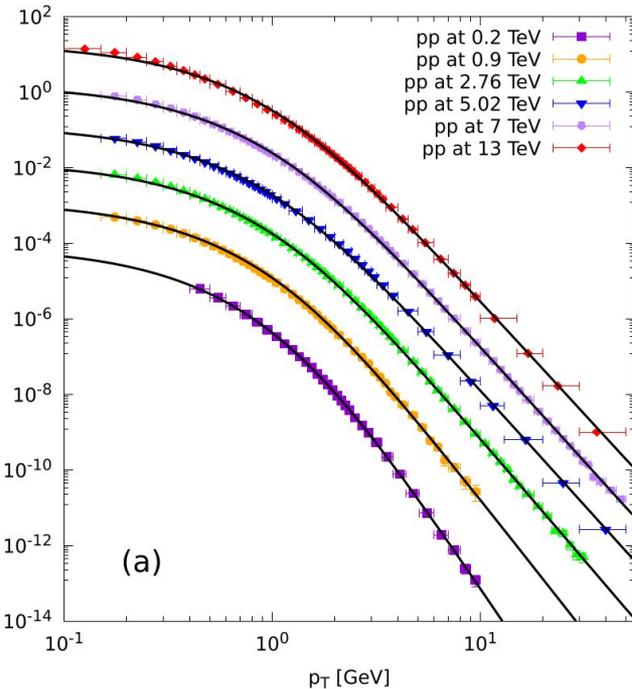


Descripción de las partes soft y hard del espectro de p_T



Jhony E. Ramírez
Cenagro-ICUAP
jhony.ramirezcanino@viep.com.mx

Colaboradores



Dr. Arturo Fernández (FCFM)
Dr. Ricardo Alvarado (FCFM)
M.C. Diana Rosales (FCFM)



Dr. Carlos Pajares

Contenido

- CSPM
 - Motivación
 - Fenomenología
 - Temperatura
- Descripción del TMD
 - Escala soft
 - Escala hard
- Análisis de datos (experimentales)
 - Colisiones pp minimum bias
 - Colisiones pp con clasificación V0
 - Colisiones de iones pesados
 - Producción del boson de Higgs en colisiones pp
- Diagrama de fase en el espacio de parámetros
- Conclusiones

Regular Article - Theoretical Physics

On the relation between the soft and hard parts of the transverse momentum distribution

C. Pajares^{1,a} , J. E. Ramírez^{2,b} 

IOP Publishing

Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics

J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **50** (2023) 125105 (21pp)

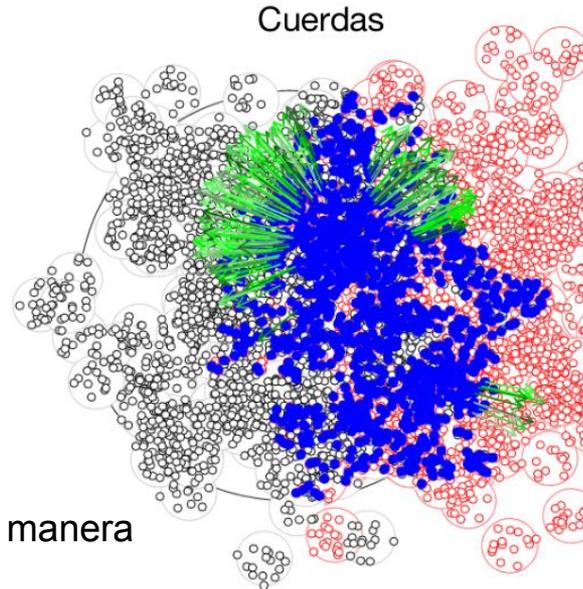
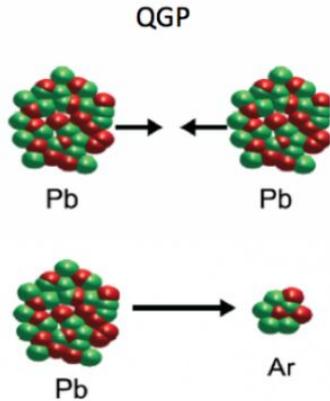
<https://doi.org/10.1088/1361-6471/acffe1>

Soft and hard scales of the transverse momentum distribution in the color string percolation model

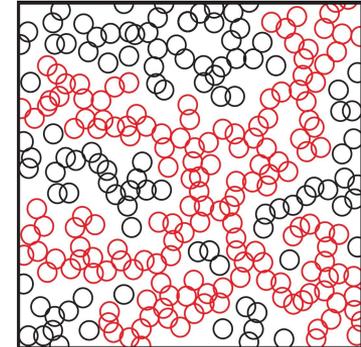
J R Alvarado García¹ , D Rosales Herrera¹ , P Fierro² ,
J E Ramírez^{3,*} , A Fernández Téllez¹  and C Pajares⁴ 

Color String Percolation Model (CSPM)

String percolation model



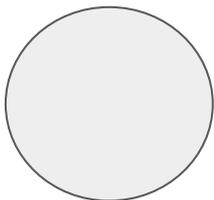
Continuum percolation



- Las cuerdas no decaen de manera independiente
- Representa las condiciones iniciales para la evolución del sistema

Fenomenología del CSPM

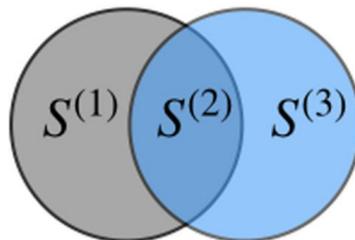
Cuerda



Propiedades

- *Carga de color Q_0
- *Área (circular) S_1
- *Momento cuadrático $\langle p_T^2 \rangle_1$
- *Multiplicidad μ_1

Racimo de dos cuerdas



Propiedades

- *Cada región emite de manera independiente
- *Multiplicidad:

$$\mu/\mu_1 = 2(S^{(1)}/S_1) + \sqrt{2}(S^{(2)}/S_1)$$
- *Momento transverso:

$$\frac{\langle p_T^2 \rangle}{\langle p_T^2 \rangle_1} = \frac{2(S^{(1)}/S_1) + \sqrt{2}\sqrt{2}(S^{(2)}/S_1)}{2(S^{(1)}/S_1) + \sqrt{2}(S^{(2)}/S_1)}$$

Racimo de n cuerdas



*Multiplicidad:

$$\mu_n = \sqrt{\frac{nS_n}{S_1}} \mu_1,$$

*Momento transverso:

$$\langle p_T^2 \rangle_n = \sqrt{\frac{nS_1}{S_n}} \langle p_T^2 \rangle_1$$

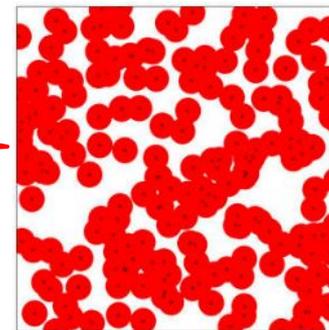
$$\mu = NF(\eta)\mu_1,$$

$$\langle p_T^2 \rangle = \frac{\langle p_T^2 \rangle_1}{F(\eta)}.$$

con

$$F(\eta) = \sqrt{\frac{\phi(\eta)}{\eta}}$$

$$\phi(\eta) = 1 - e^{-\eta}$$



Área que cubren los discos en percolación

Temperatura en el CSPM

Momento de las partículas
producidas (Mecanismo de
Schwinger)

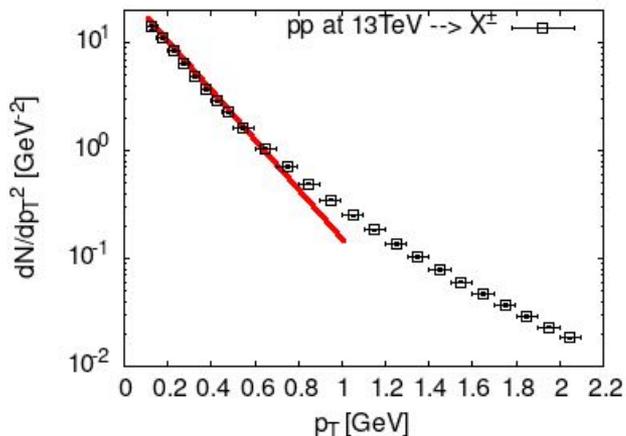
Fluctuaciones en la tensión
de las cuerdas (x)

Distribución de Boltzmann

$$\frac{dN}{dp_T^2} \sim e^{-\pi p_T^2/x^2} \quad \mathbf{+} \quad P(x) \sim e^{-\frac{x^2}{2\langle x^2 \rangle}} \quad \mathbf{\rightarrow}$$

$$\frac{dN}{dp_T^2} \sim \exp\left(-p_T \sqrt{\frac{2\pi}{\langle x^2 \rangle}}\right)$$

$$\text{con } \langle x^2 \rangle = \pi \langle p_T^2 \rangle_1 / F(\eta)$$



Define la temperatura del sistema

$$T(\eta) = \sqrt{\frac{\langle p_T^2 \rangle_1}{2F(\eta)}}$$

Descripción del TMD (completo)

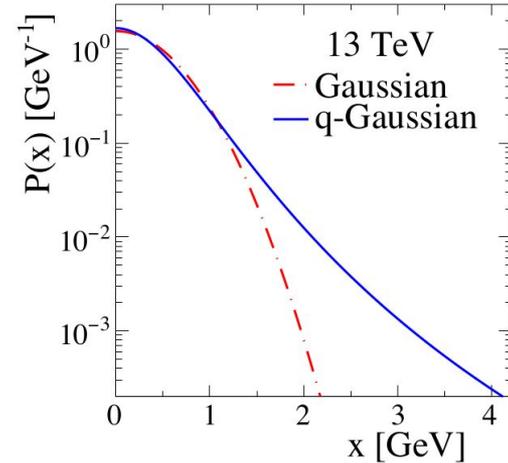
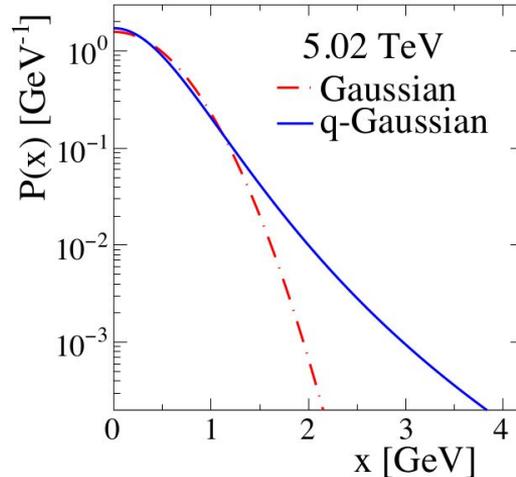
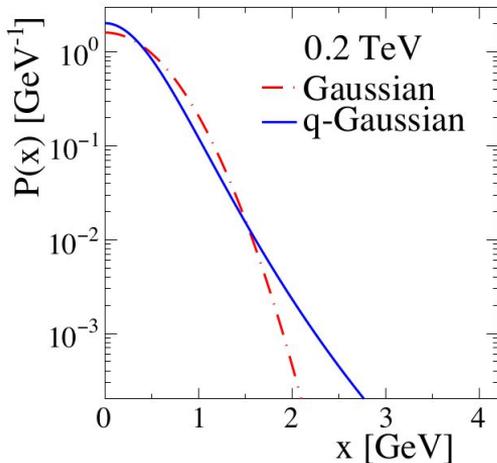
Modificamos las fluctuaciones en la tensión de las cuerdas (x)

Previa: Gaussiana

Propuesta: q-Gaussiana

$$P(x) \sim e^{-\frac{x^2}{2\langle x^2 \rangle}}$$

$$P(x) \sim \left(1 + \frac{(q-1)x^2}{2\sigma^2}\right)^{\frac{1}{1-q}}$$



Descripción del TMD (completo)

Asumiendo fluctuaciones q-Gaussianas de la tensión de la cuerda, encontramos

$$\frac{dN}{dp_T^2} \sim \Gamma\left(\frac{1}{q-1}\right) U\left(\frac{1}{q-1} - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \pi p_T^2 \frac{q-1}{2\sigma^2}\right)$$

Siendo U la función de Tricomi (función hipergeométrica confluyente):

$$U(a, b, z) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_0^\infty e^{-zt} t^{a-1} (1+t)^{b-a-1} dt$$

Comportamientos asintóticos: bajo p_T

A bajo p_T , el TMD puede aproximarse como:

$$\frac{dN}{dp_T^2} \sim \exp \left(- \frac{\sqrt{2\pi(q-1)} \Gamma \left(\frac{1}{q-1} \right) p_T}{\Gamma \left(\frac{1}{q-1} - \frac{1}{2} \right) \sigma} \right)$$

Se identifica la temperatura efectiva como:

$$T_{th} = \sigma \frac{\Gamma \left(\frac{1}{q-1} - \frac{1}{2} \right)}{\sqrt{2\pi(q-1)} \Gamma \left(\frac{1}{q-1} \right)}$$

Comportamientos asintóticos: alto p_T

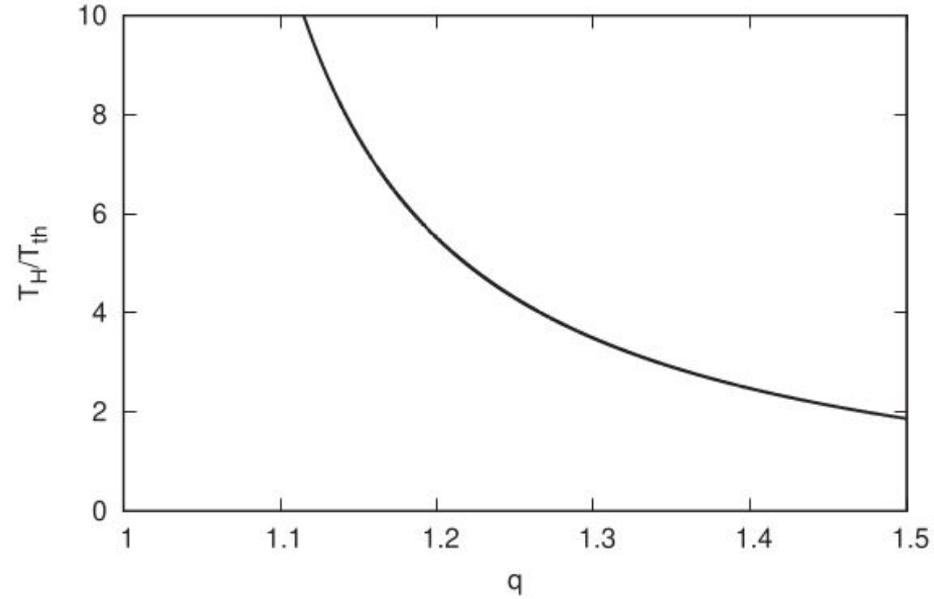
A alto p_T , el TMD puede aproximarse como:

$$\frac{dN}{dp_T^2} \sim \frac{\Gamma\left(\frac{1}{q-1}\right)}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\pi p_T^2 (q-1)}{2\sigma^2}\right)^{\frac{1}{2} - \frac{1}{q-1}}$$

Se identifica la escala hard como:

$$T_H = \sigma \sqrt{\frac{2}{\pi(q-1)}} \left(\frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma\left(\frac{1}{q-1}\right)}\right)^{\frac{q-1}{q-3}}$$

Comportamientos asintóticos

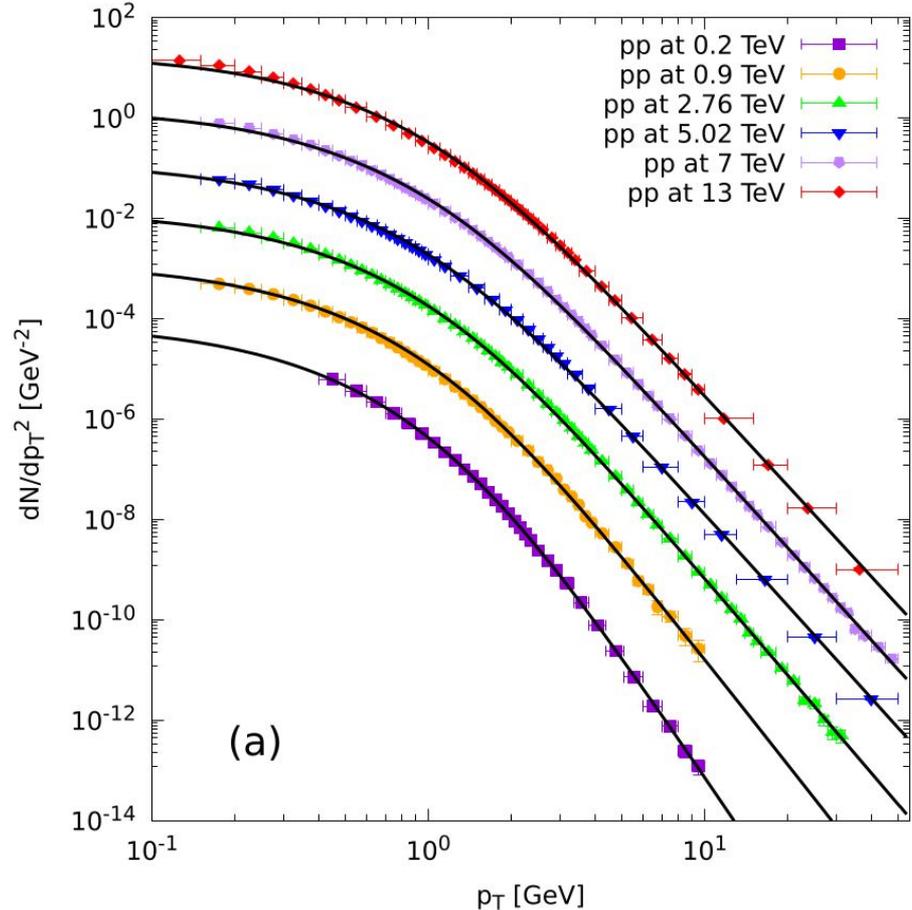


$1 \leq q < 1.5$ para que se pueda reproducir el TMD y $\langle pT \rangle$ sea finito

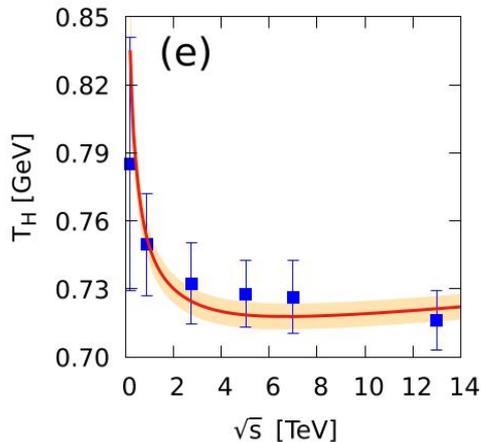
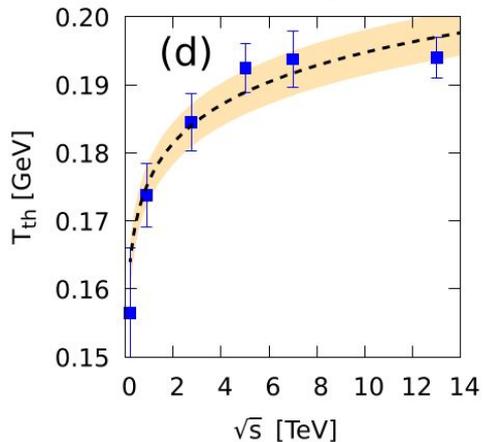
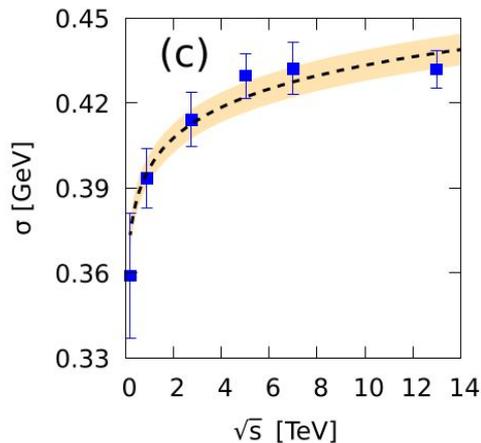
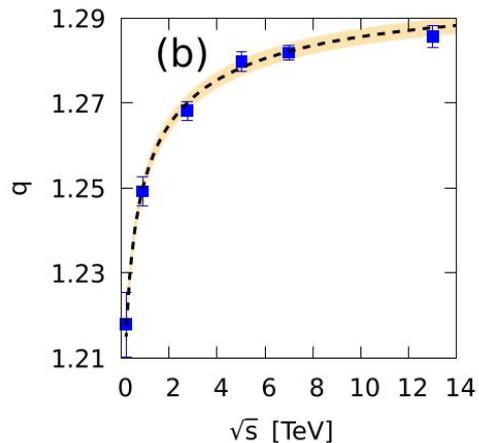
Análisis de datos: colisiones pp minimum bias

Se ajustan tres parámetros: A, q, y sigma

$$\frac{dN}{dp_T^2} = A U \left(\frac{1}{q-1} - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \pi p_T^2 \frac{q-1}{2\sigma^2} \right)$$



Análisis de datos: colisiones pp minimum bias



$$q(\sqrt{s}) = a_q \left(\ln \left(\sqrt{\frac{s}{s_0}} \right) - \ln(0.2) \right)^{0.75} + c_q$$

$$a_q = 0.0247(5), c_q = 1.218(8)$$

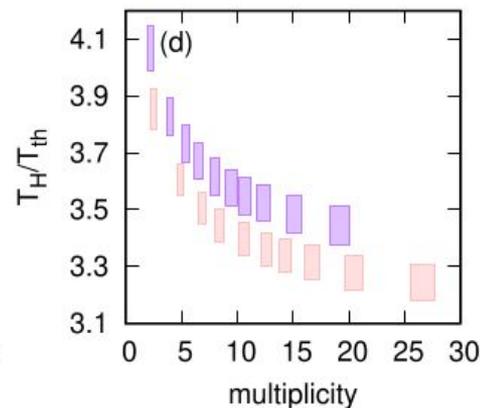
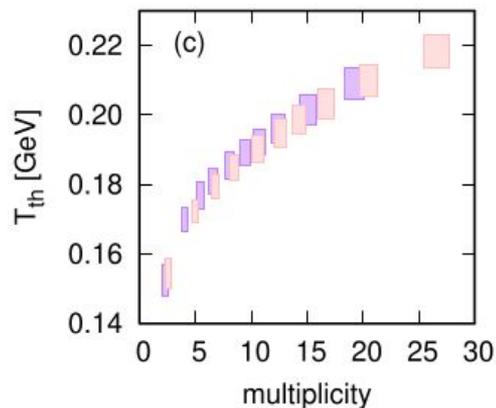
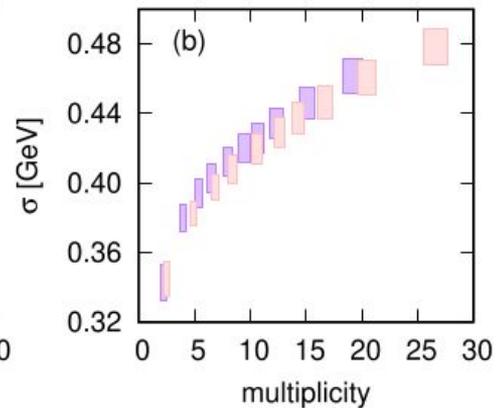
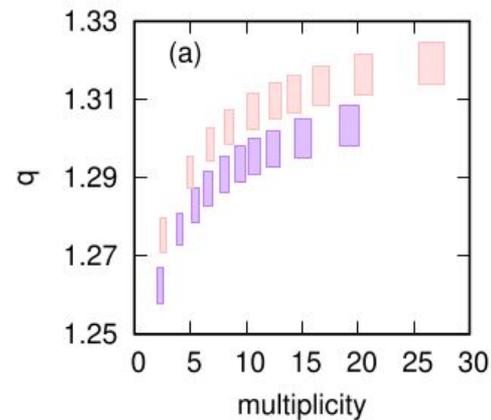
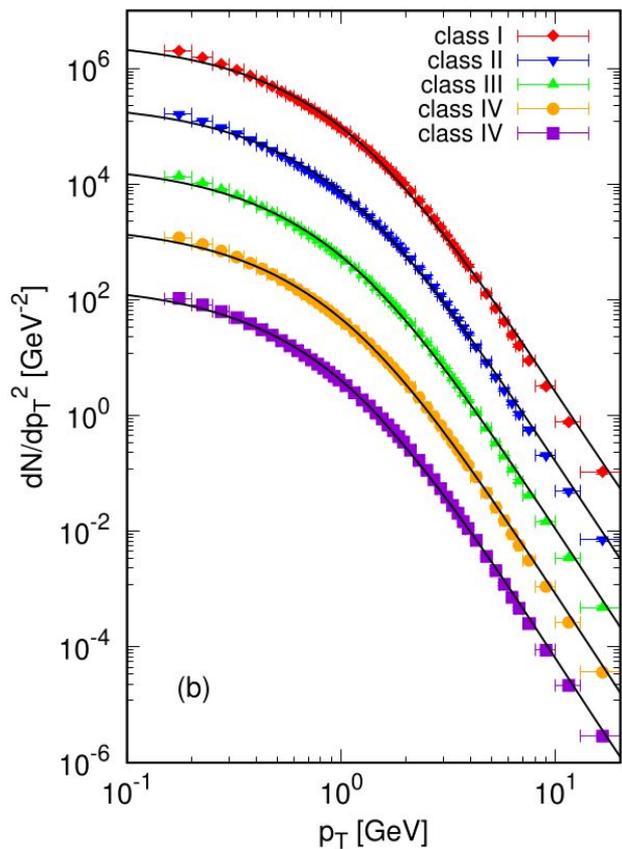
$$\sigma(\sqrt{s}) = a_\sigma \left(\sqrt{\frac{s}{s_0}} \right)^{c_\sigma}$$

$$a_\sigma = 0.392(1) \text{ GeV}, c_\sigma = 0.043(1)$$

$$T_{th}(\sqrt{s}) = a_{T_{th}} \left(\sqrt{\frac{s}{s_0}} \right)^{c_{T_{th}}}$$

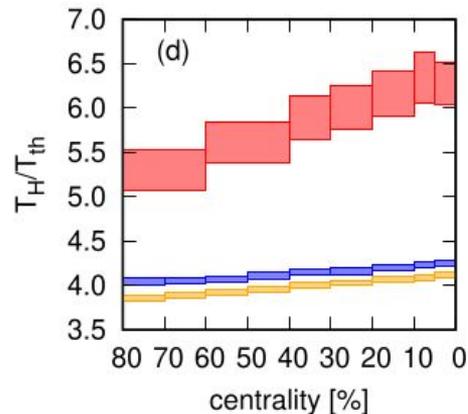
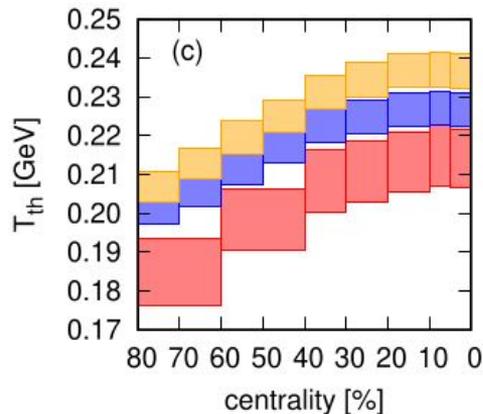
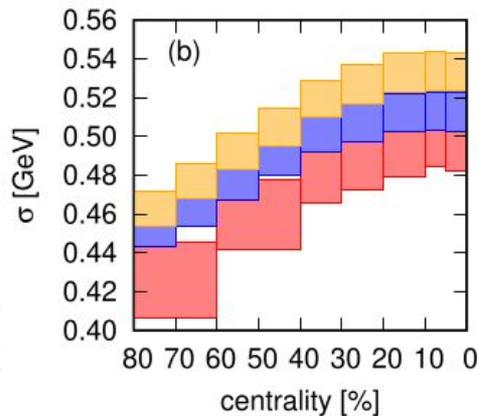
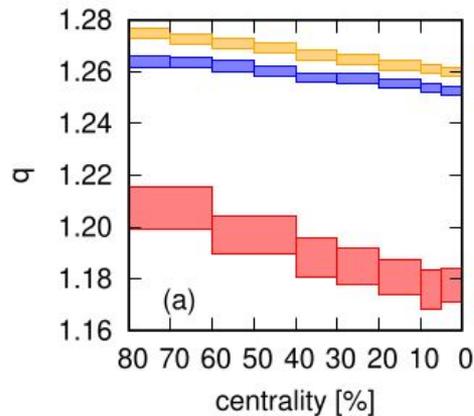
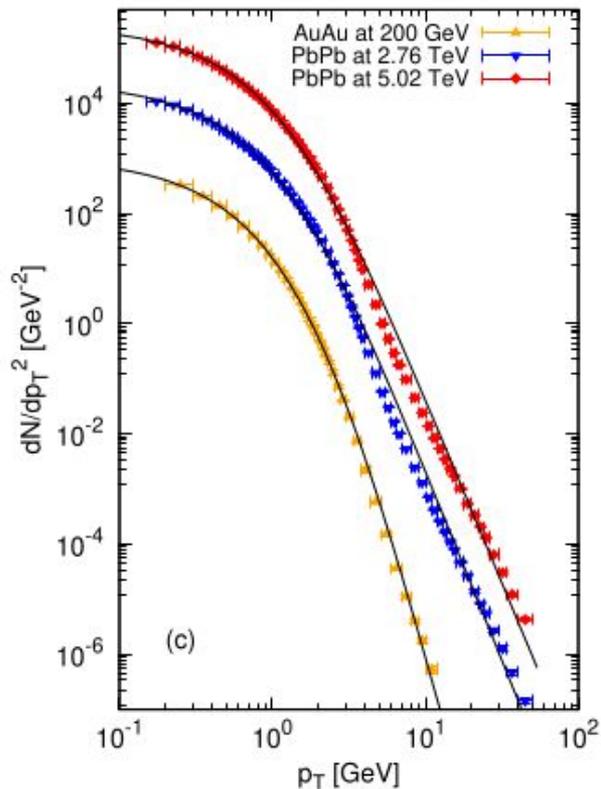
$$a_{T_{th}} = 0.1750(5) \text{ GeV}, c_{T_{th}} = 0.046(2)$$

Análisis de datos: colisiones pp con clases de multiplicidad



Morado: 13 TeV, Rosado: 5.02 TeV

Análisis de datos: Iones pesados



Rojo: AuAu 200 GeV, Azul: PbPb 2.76 TeV, Amarillo: PbPb 5.02 TeV

Análisis de datos: producción del boson de Higgs

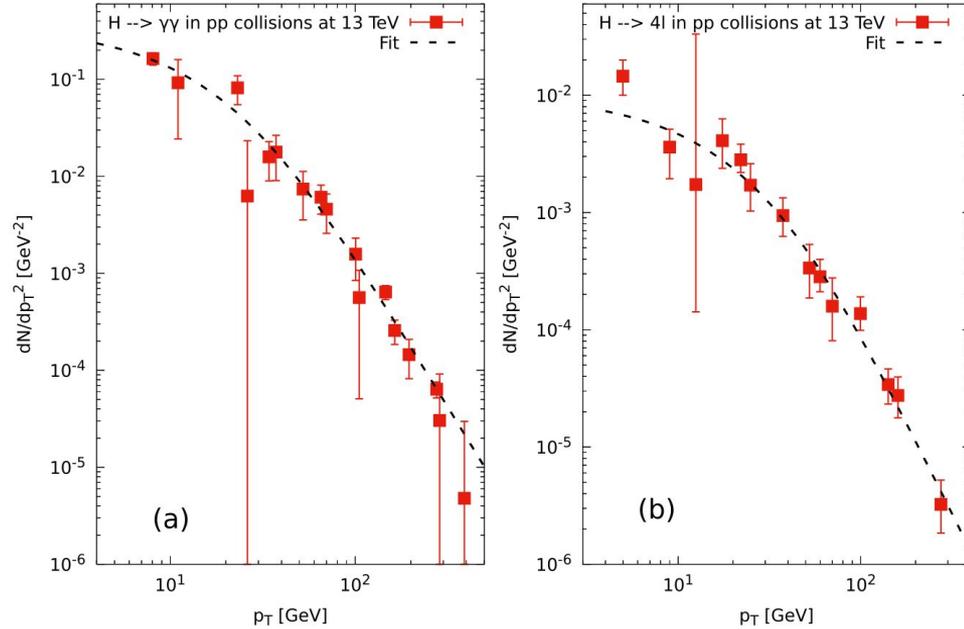
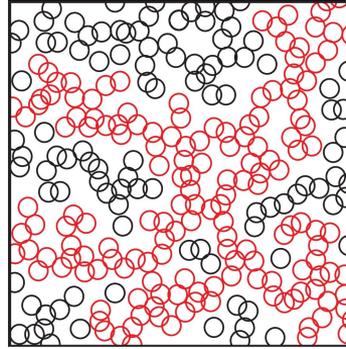


Table 1 Values of q , σ , T_{th} , and T_H for the processes analyzed

Process	q	σ [GeV]	T_{th} [GeV]	T_H [GeV]	χ^2/NDF
pp at $\sqrt{s} = 13$ TeV $\rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$	1.485 ± 0.003	18.2 ± 0.4	9.0 ± 0.1	17.5 ± 0.2	13.3/14
pp at $\sqrt{s} = 13$ TeV $\rightarrow H \rightarrow 4l$	1.480 ± 0.003	24.5 ± 0.4	12.1 ± 0.1	23.8 ± 0.2	5.9/11

Diagrama de fase

Retomamos el CSPM como referencia. Ajustamos la densidad crítica del sistema con la temperatura del chemical freeze-out.



$$T_c := T(\eta_c)$$

¡Transición de fase geométrica!

Diagrama de fase

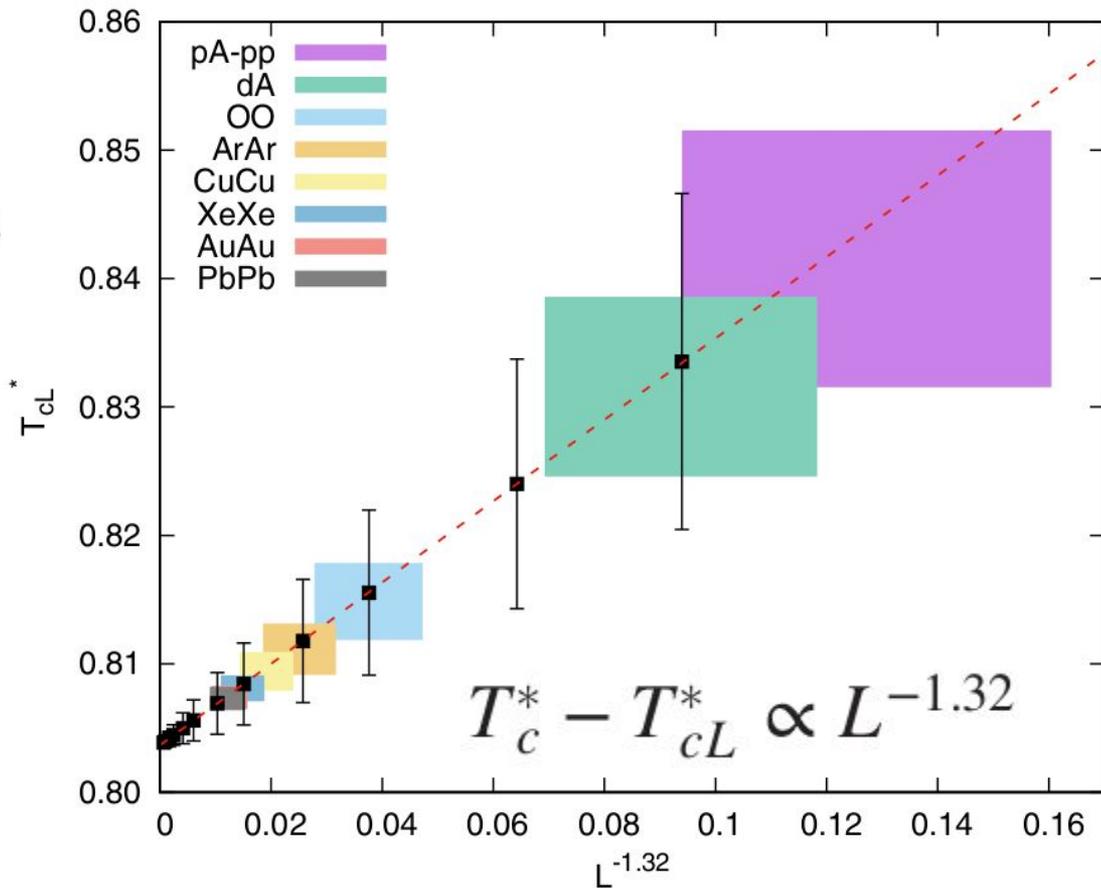
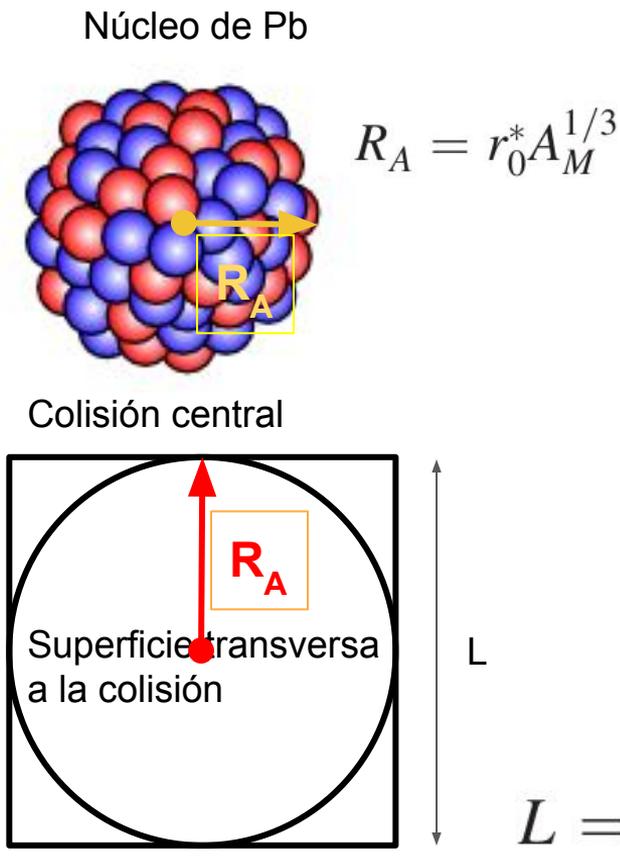
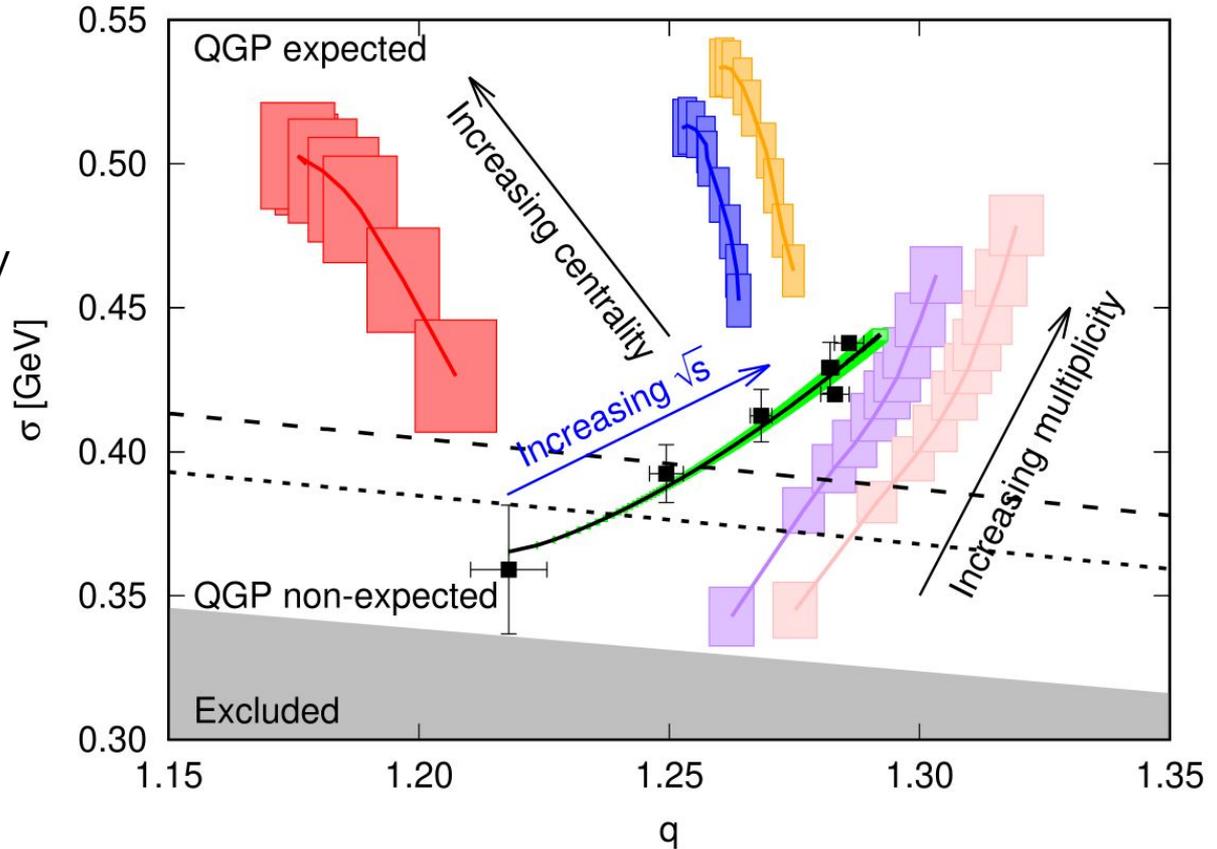


Diagrama de fase

Límite de sistemas diluidos implica
 $T_{\min} \sim 0.146$ GeV (en el CSPM)
(Zona gris \rightarrow región de exclusión)

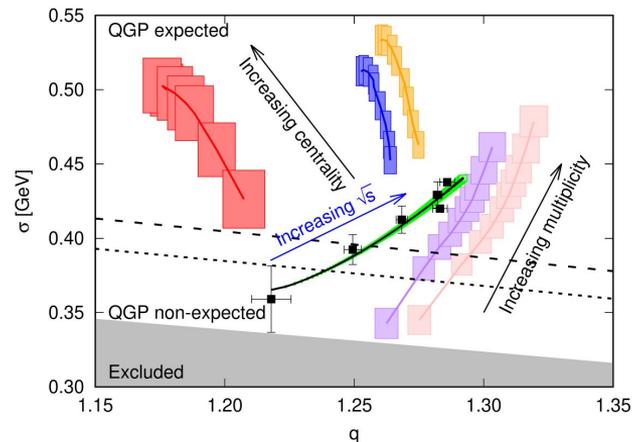
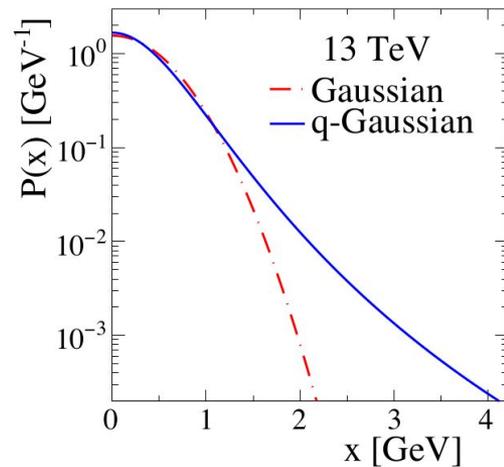
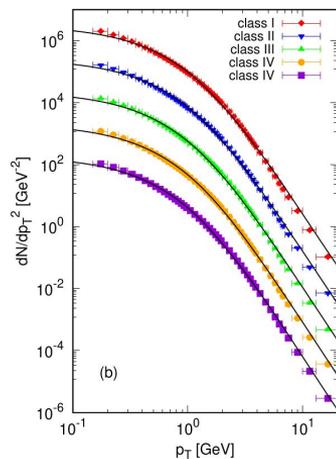
T_c (percolation threshold) ~ 0.166 GeV
(línea punteada)

T_c (pp min bias) ~ 0.174 GeV
(línea discontinua)

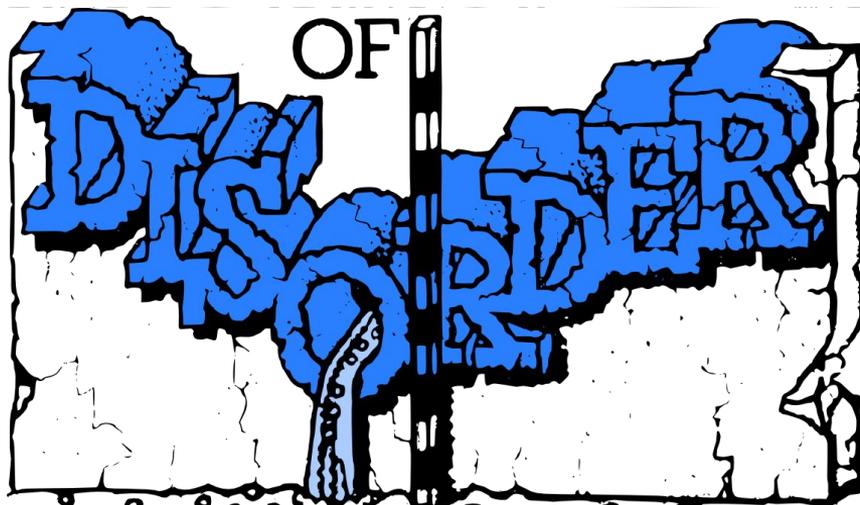


Conclusiones

- Las fluctuaciones q-Gaussianas en las tensiones de las cuerdas permiten la producción de partículas con más alto momento.
- (Conjetura) Las distribuciones de tensiones con colas pesadas producen el heavy tail del TMD.
- El sistema que se forma tras la colisión es no-extensivo y, por supuesto, fuera de equilibrio.
- La transición geométrica (desde la perspectiva del CSPM) da origen a un diagrama de fase en el espacio de parámetros.



PHYSICS AND GEOMETRY



PERCOLATION
THEORY