

Modelización de procesos de producción de pares quark top en el LHC

Trabajo de Fin de Grado

Guillermo Fernández Castro

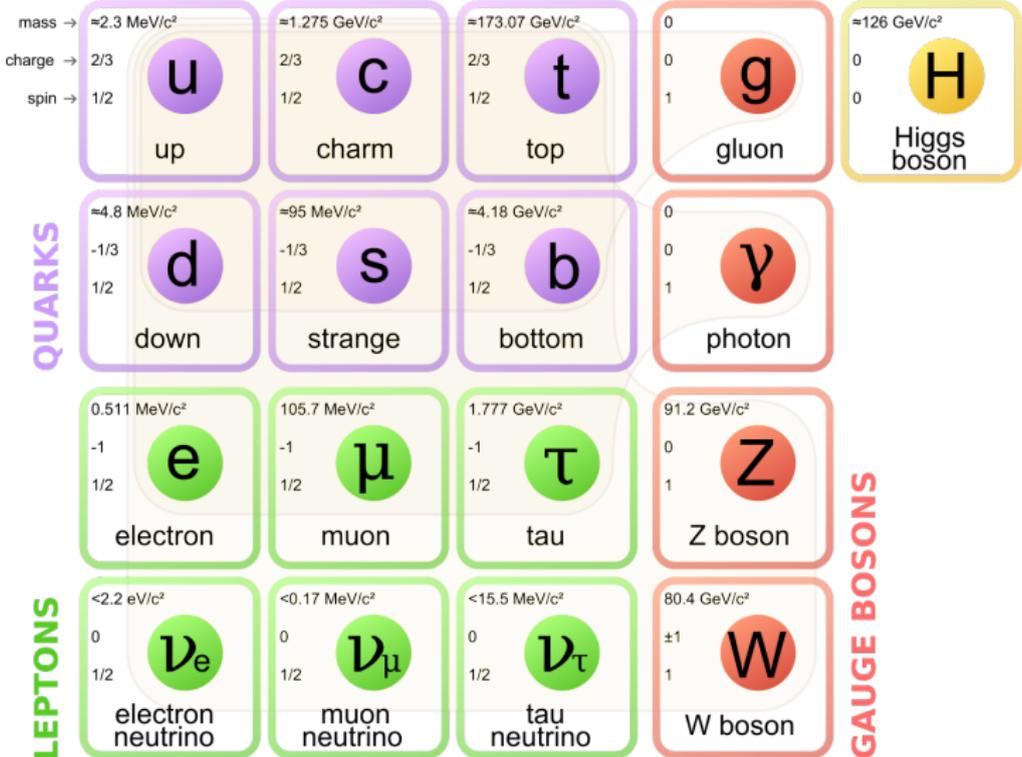
Universidad de Oviedo

12 de julio de 2016

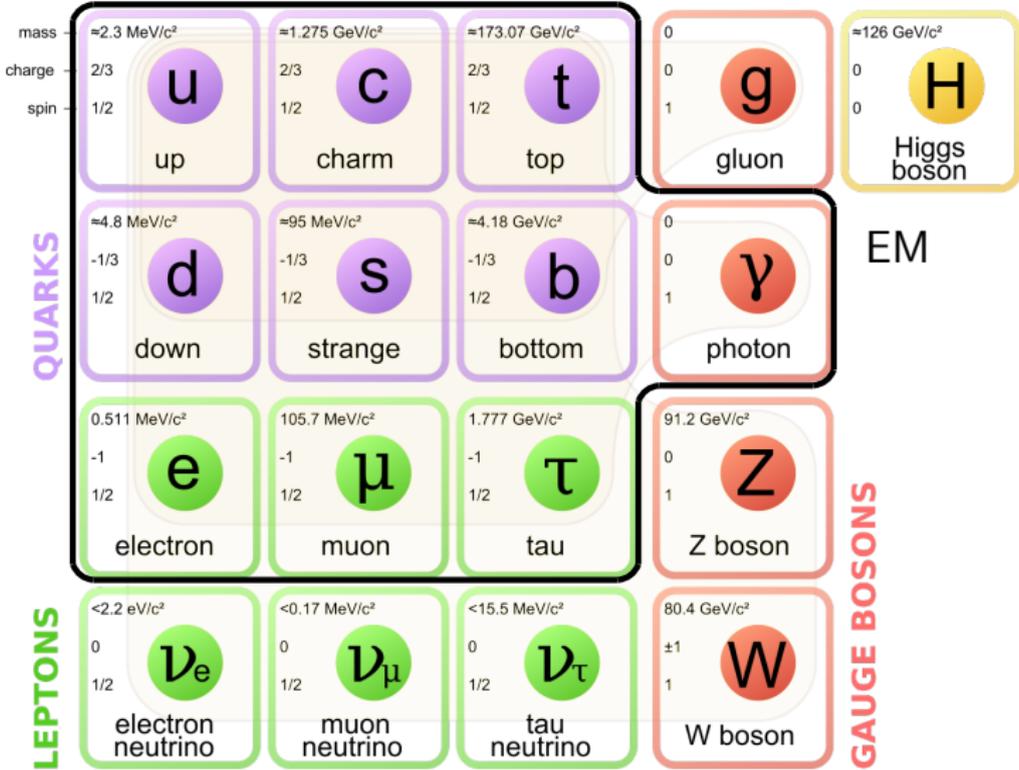
Estructura

- 1 Modelo Estándar
- 2 Experimentación
- 3 Simulación
- 4 Resultados

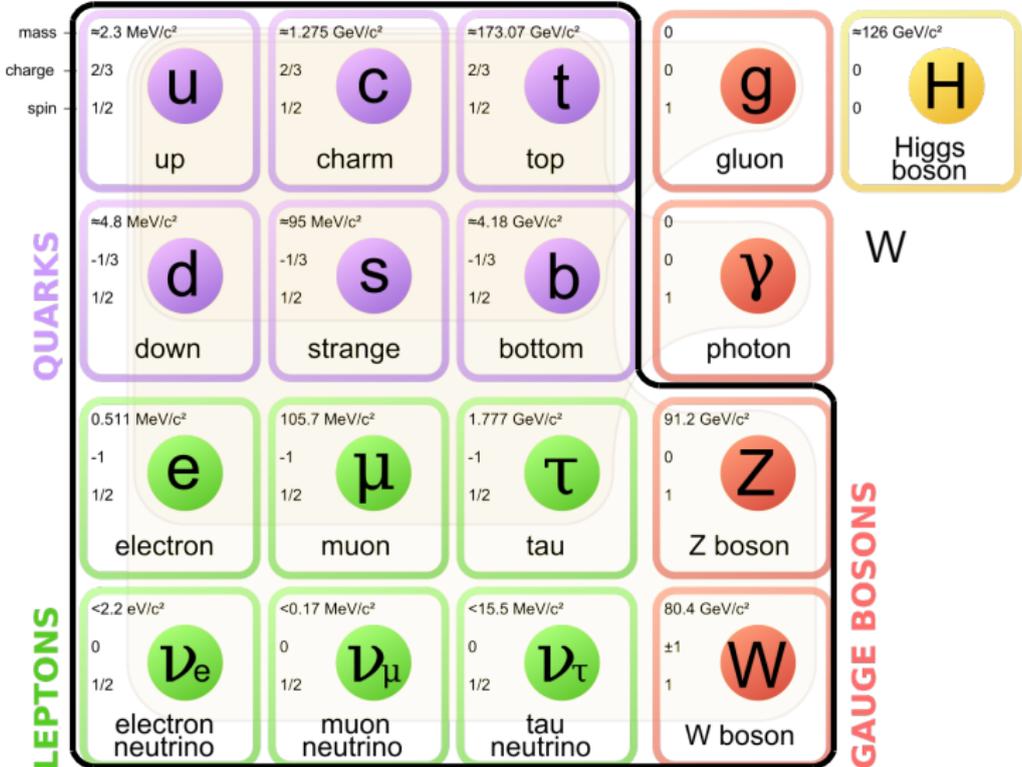
El Modelo Estándar



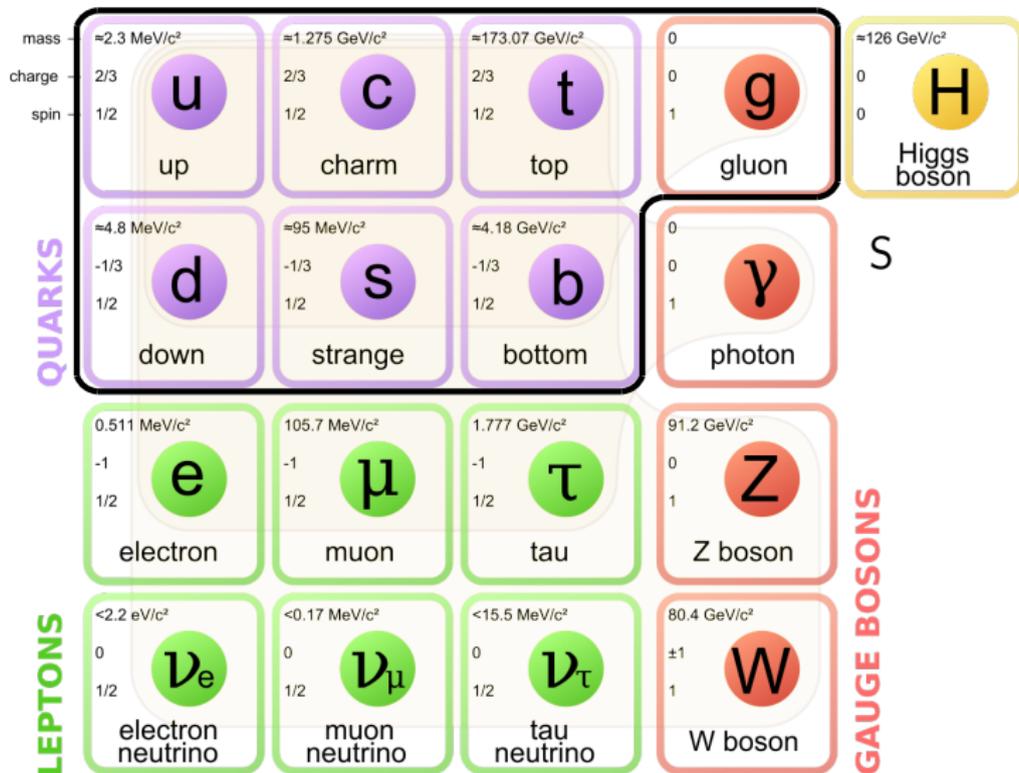
El Modelo Estándar



El Modelo Estándar



El Modelo Estándar

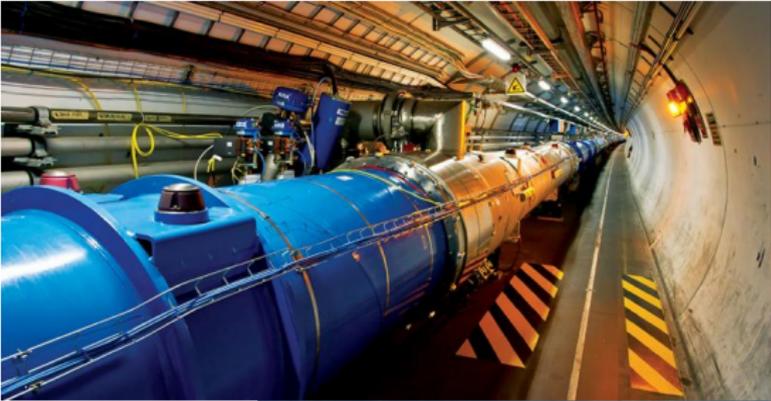


Interacción fuerte

- Quarks y gluones tienen **color**
- Acoplamiento fuertemente dependiente de la energía
 - ▶ A energías elevadas: acoplamiento pequeño, libertad asintótica.
 - ▶ A energías bajas ($\sim 1 \text{ GeV}$): acoplamiento intenso, confinamiento.
- La intensidad del acoplamiento afecta a la hora de hacer cálculos
 - ▶ Por encima de Λ_{QCD} : tratamiento perturbativo.
 - ▶ Por debajo de Λ_{QCD} : tratamiento no perturbativo, modelos.

Large Hadron Collider

Colisiones protón-protón a alta energía

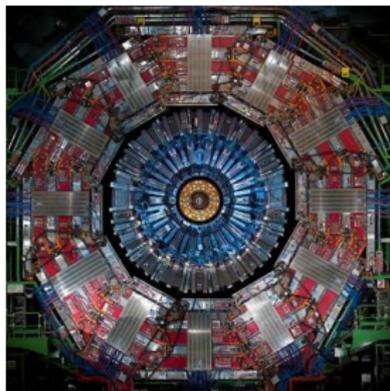


Compact Muon Solenoid

Distintos experimentos en LHC; entre ellos, CMS.

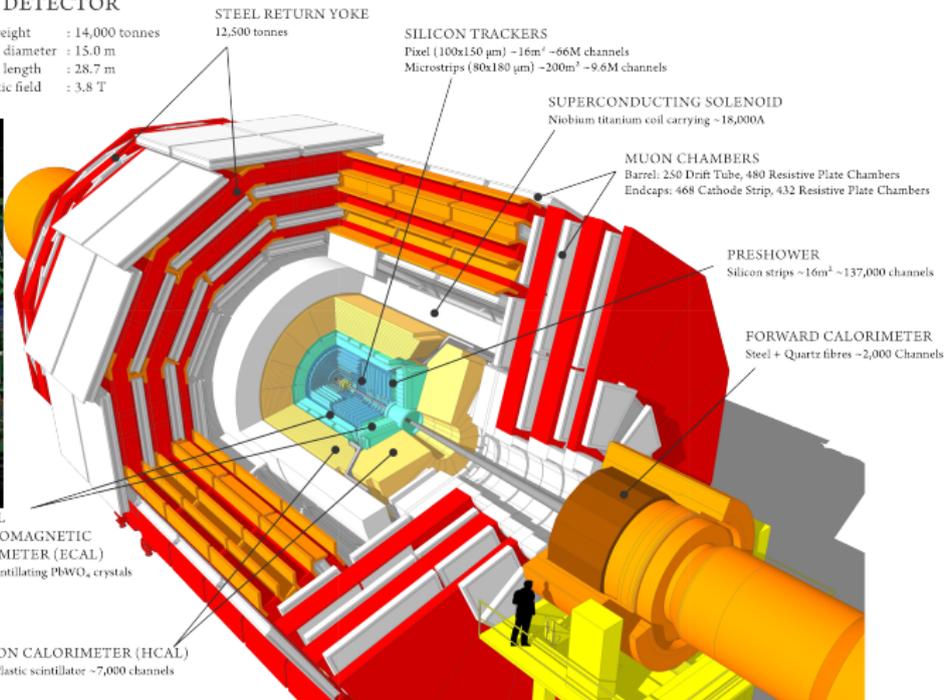
CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T



CRYSTAL
ELECTROMAGNETIC
CALORIMETER (ECAL)
~76,000 scintillating PbWO₄ crystals

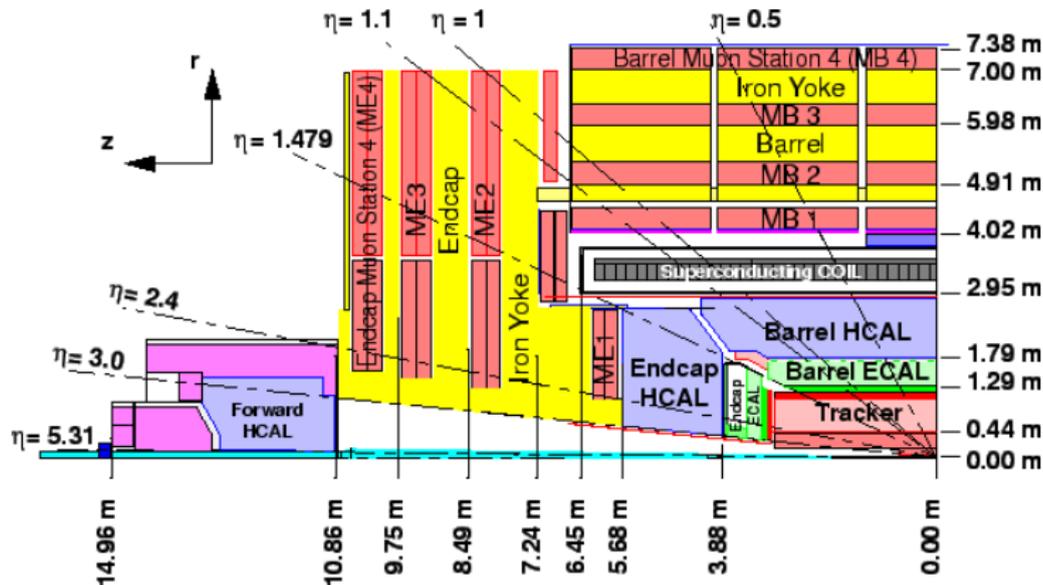
HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



Magnitudes

Trazas en los detectores \Rightarrow trayectorias \Rightarrow

- momento transverso p_T
- inclinación respecto al eje z : rapidez y , pseudorrapidez η



Luminosidad

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ sucesos } A}{\text{n}^\circ \text{ total de sucesos}} \approx \mathcal{P}(A) \quad \rightarrow \quad \frac{N}{\int \mathcal{L} dt} \approx \sigma_A$$

Luminosidad $\mathcal{L} \sim$

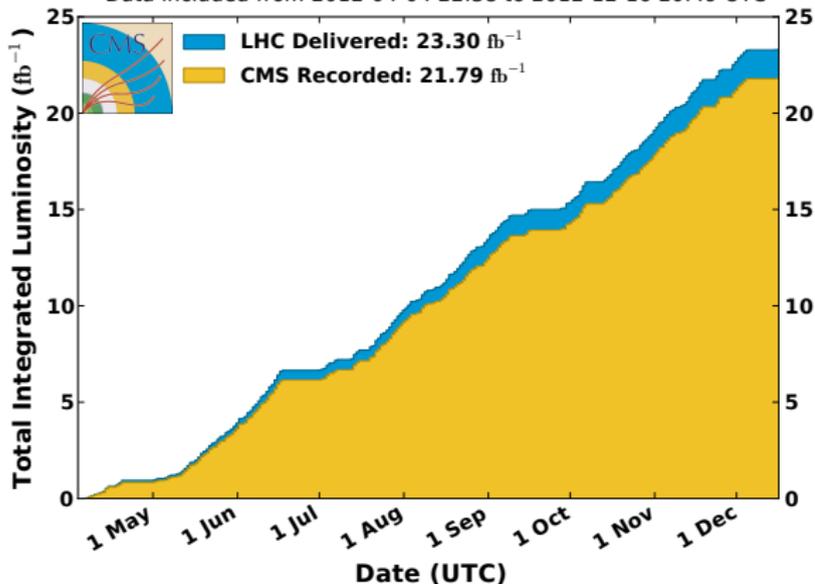
sucesos por unidad de tiempo

Luminosidad integrada

$\int \mathcal{L} dt \sim$ número total de sucesos

CMS Integrated Luminosity, pp, 2012, $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$

Data included from 2012-04-04 22:38 to 2012-12-16 20:49 UTC



Sección eficaz

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ sucesos } A}{\text{n}^\circ \text{ total de sucesos}} \approx \mathcal{P}(A) \quad \rightarrow \quad \frac{N}{\int \mathcal{L} dt} \approx \sigma_A$$

Sección eficaz $\sigma \sim$ probabilidad de un suceso concreto

Para a, b quarks / gluones de dos protones en colisión,

$$\sigma_{ab \rightarrow n} = \int \frac{1}{2x_a x_b s} |\mathcal{M}_{ab \rightarrow n}|^2 f(x_a) f(x_b) dx_a dx_b d\Phi_n$$

- s energía centro de masas
- Partones: fracción de momento del protón x , distribución $f(x)$
- $d\Phi_n$ espacio de fases: momentos de n partículas

Integral numérica: Monte Carlo

Elementos de matriz

$|\mathcal{M}_{ab \rightarrow n}|^2$ lleva la probabilidad del proceso $ab \rightarrow n$

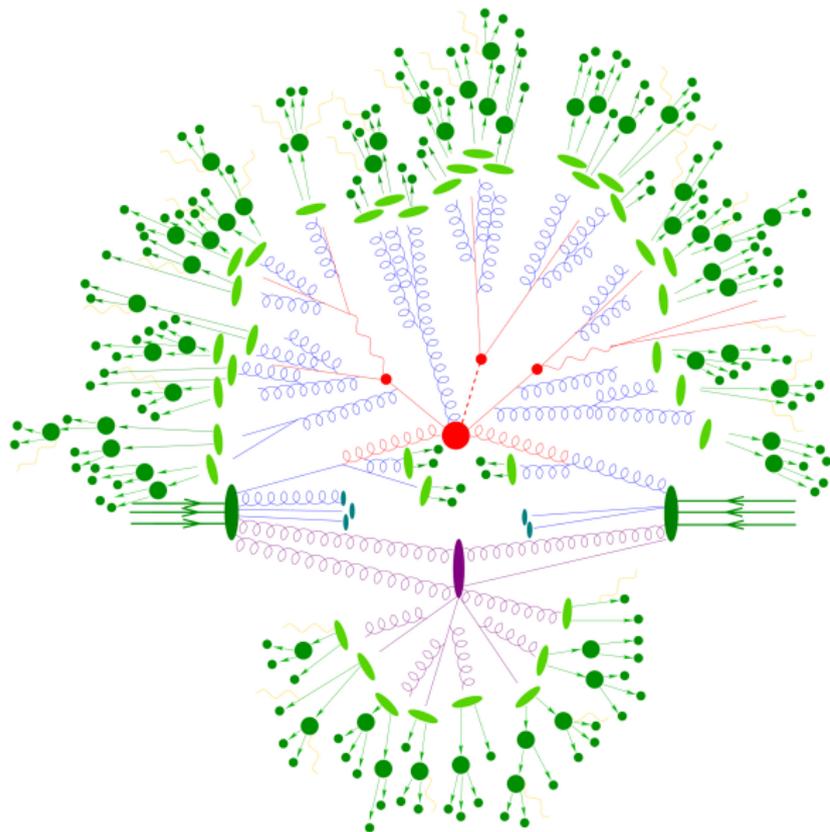
Los ME se pueden implementar en generadores:

- MADGRAPH5_AMC@NLO
- POWHEG

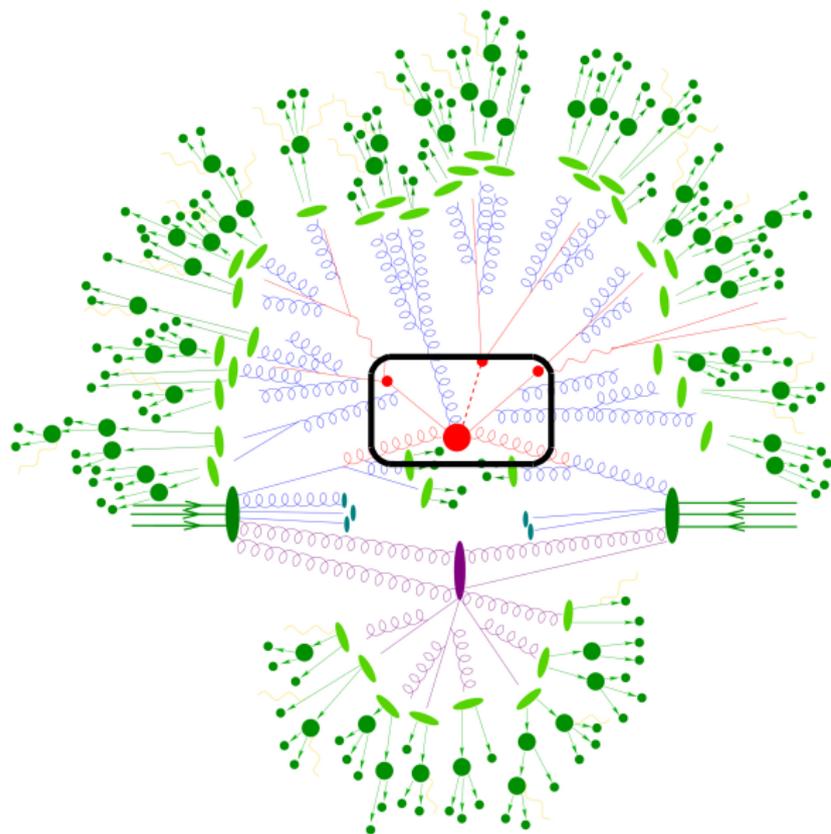
Inconvenientes:

- Calcular ME para n grande es costoso
- Divergencias para partones poco energéticos

Estructura de una colisión pp

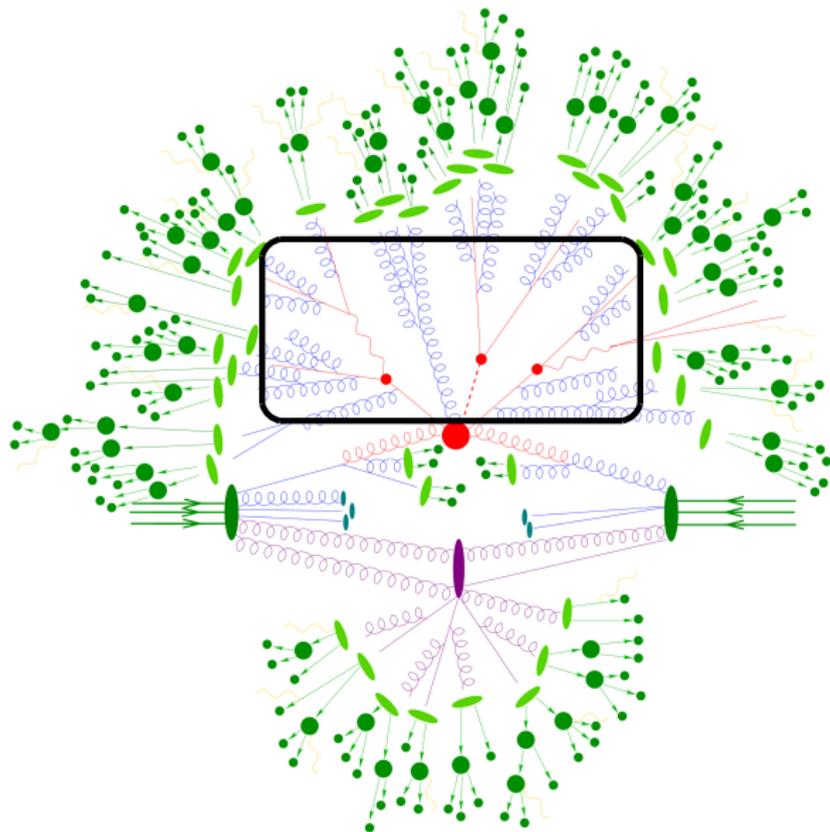


Estructura de una colisión pp



Elemento de matriz

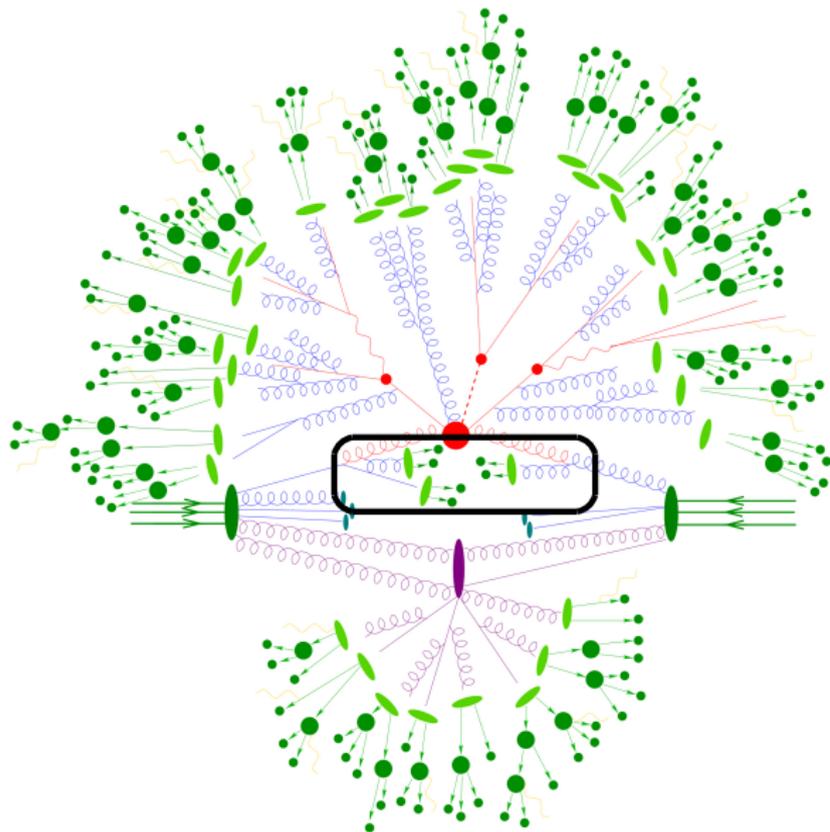
Estructura de una colisión pp



Elemento de matriz

Radiación de estado final

Estructura de una colisión pp

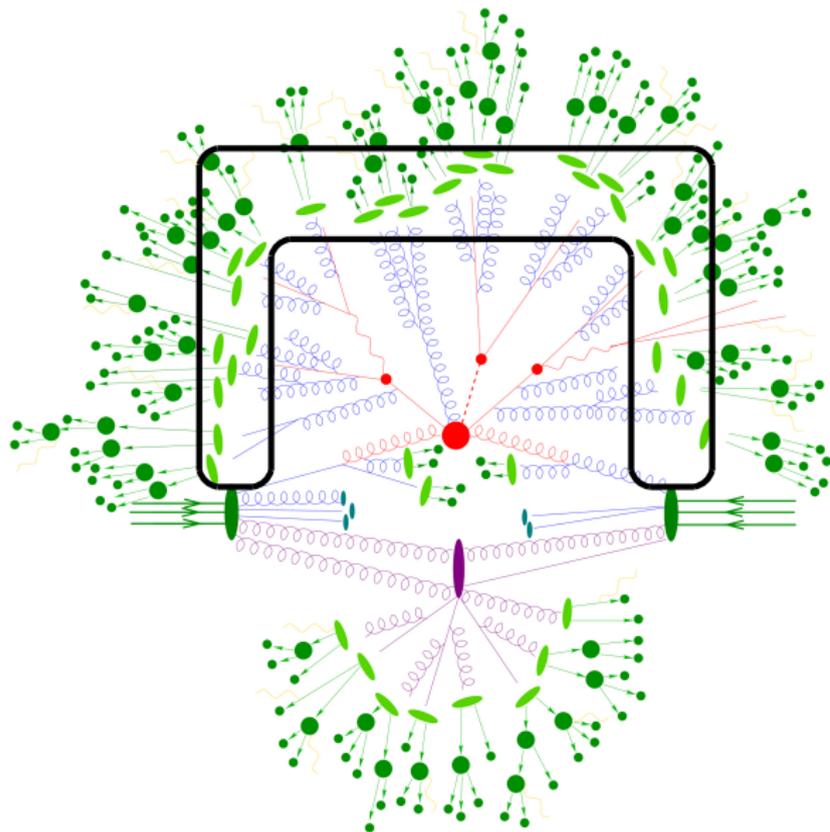


Elemento de matriz

Radiación de estado final

Radiación de estado inicial

Estructura de una colisión pp



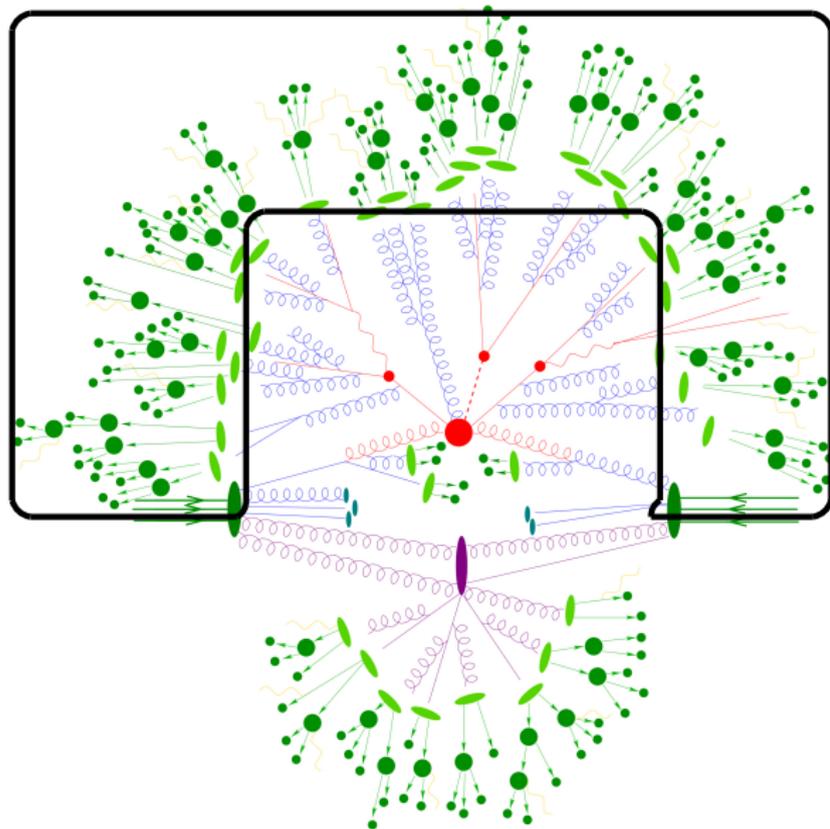
Elemento de matriz

Radiación de estado final

Radiación de estado inicial

Hadronización

Estructura de una colisión pp



Elemento de matriz

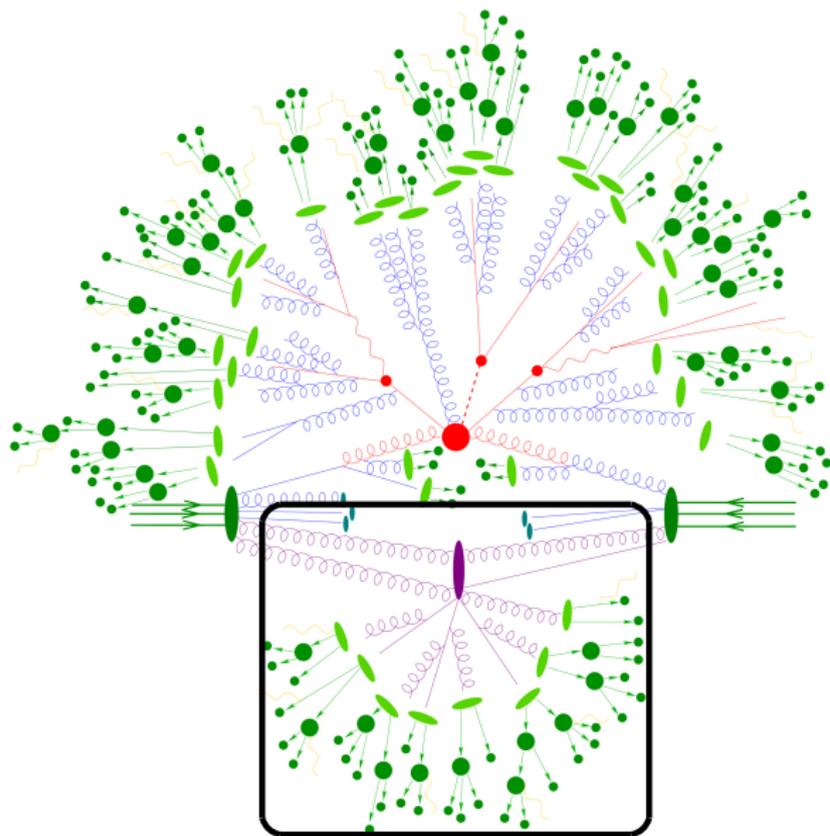
Radiación de estado final

Radiación de estado inicial

Hadronización

Desintegración

Estructura de una colisión pp



Elemento de matriz

Radiación de estado final

Radiación de estado inicial

Hadronización

Desintegración

Underlying Event

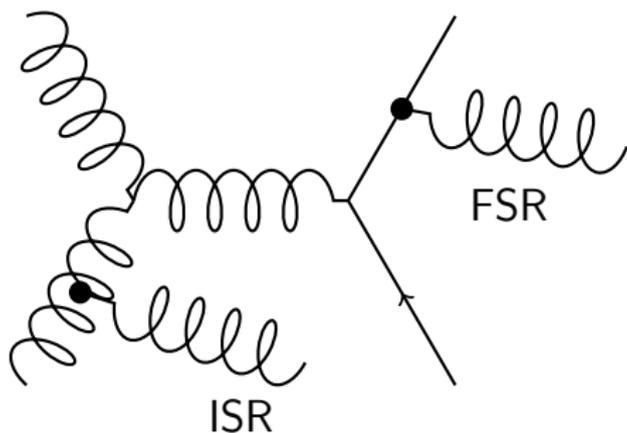
Parton Showers

Simular las emisiones (FSR, ISR) separadamente de ME.

Considera: probabilidad de que se produzca emisión a determinada escala (virtualidad, p_T, \dots).

FSR: evolución del estado final hasta energías $\sim 1 \text{ GeV}$.

ISR: evolución hacia atrás del estado inicial (involucra: PDF, DGLAP)



Parton Showers

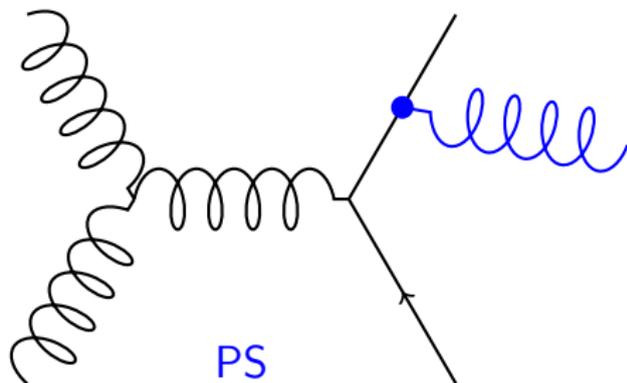
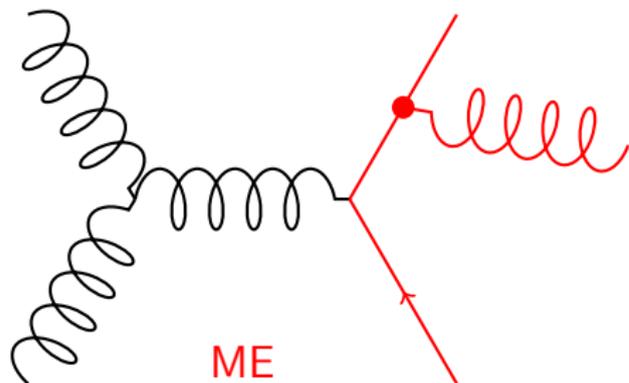
Generadores:

- PYTHIA6, PYTHIA8
- HERWIG++

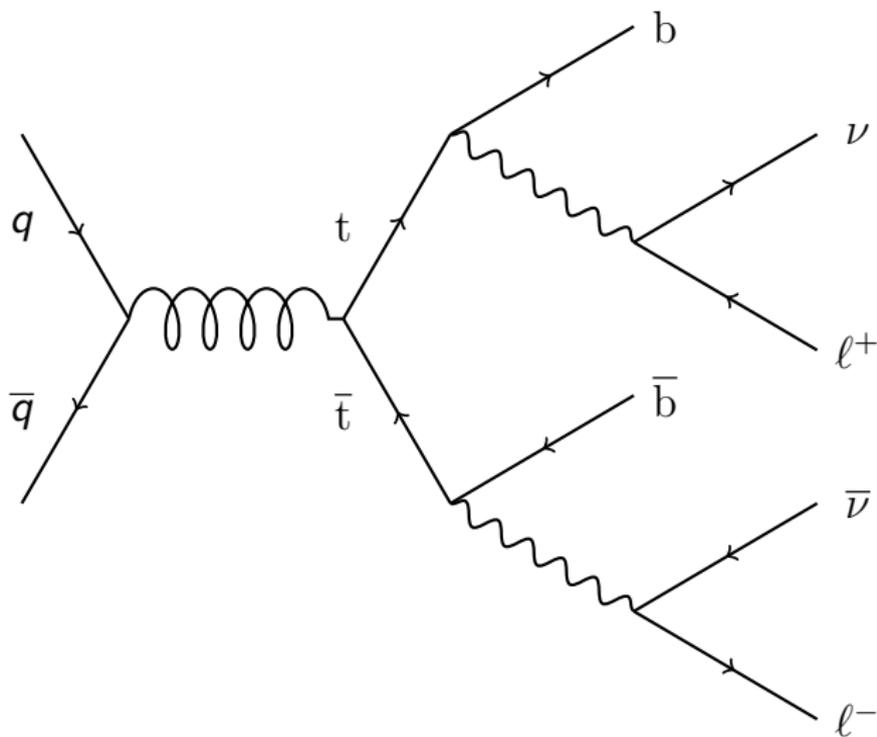
Inconveniente:

- Sólo válido para emisiones colineales o poco energéticas

ME y PS son complementarios: se pueden combinar (necesario: evitar doble conteo)



Un proceso: producción de $t\bar{t}$



$$\sigma_{t\bar{t}} = 252.9 \pm_{8.6}^{6.4} \pm 11.7 \text{ pb}, \quad 1/9 \text{ a dileptónico}$$

Comparación

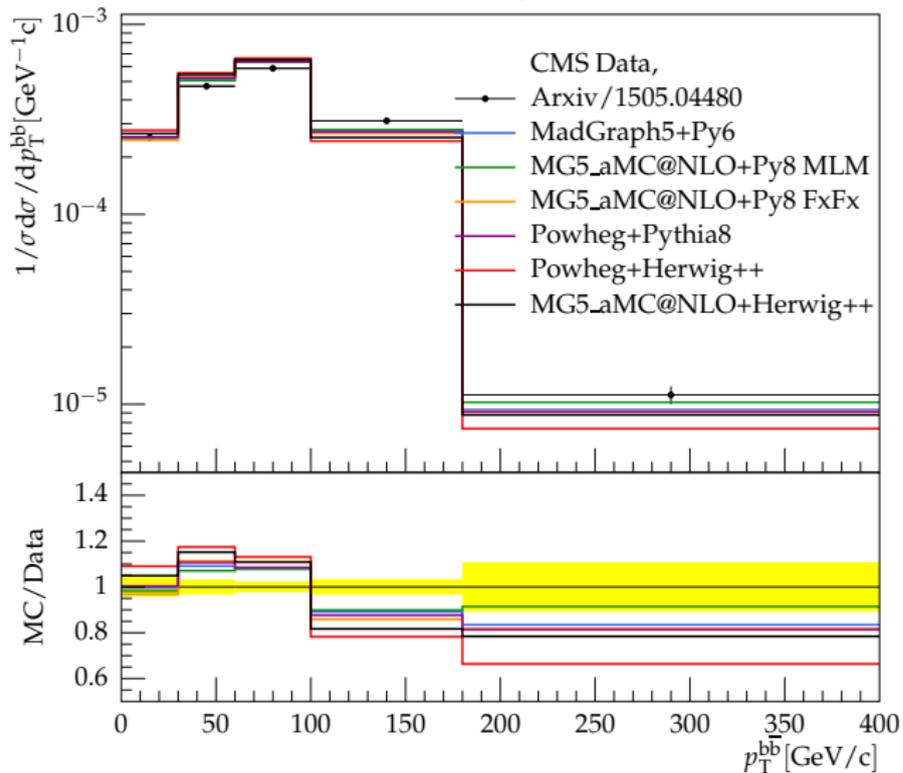
Datos: CMS (2012, $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$, 19.7 fb^{-1})

Simulación:

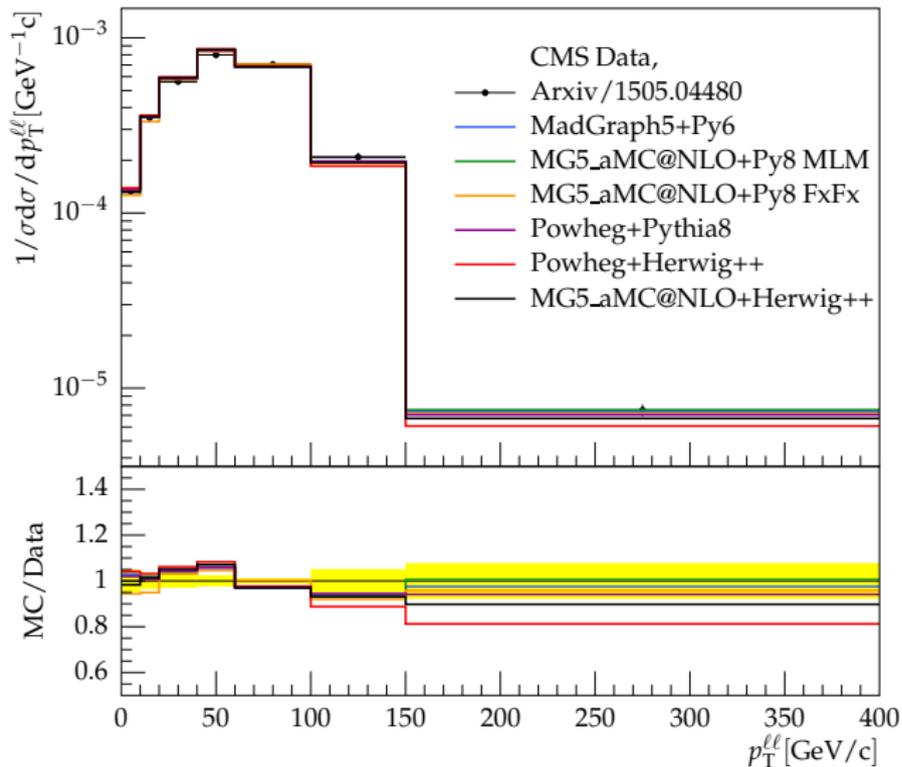
- MADGRAPH5_AMC@NLO+PYTHIA8, esquema MLM
- MADGRAPH5_AMC@NLO+PYTHIA8, esquema FxFX
- MADGRAPH5_AMC@NLO+HERWIG++
- POWHEG+PYTHIA8
- POWHEG+HERWIG++
- MADGRAPH5+PYTHIA6

Comparación: χ^2 (RIVET)

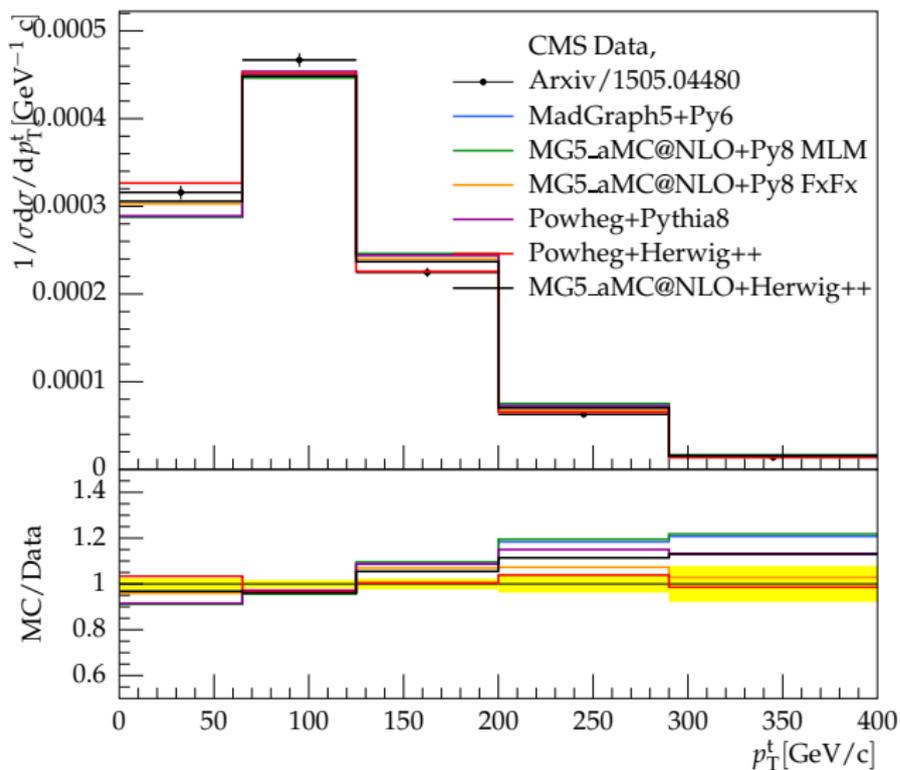
Transverse momentum of the $b\bar{b}$ system



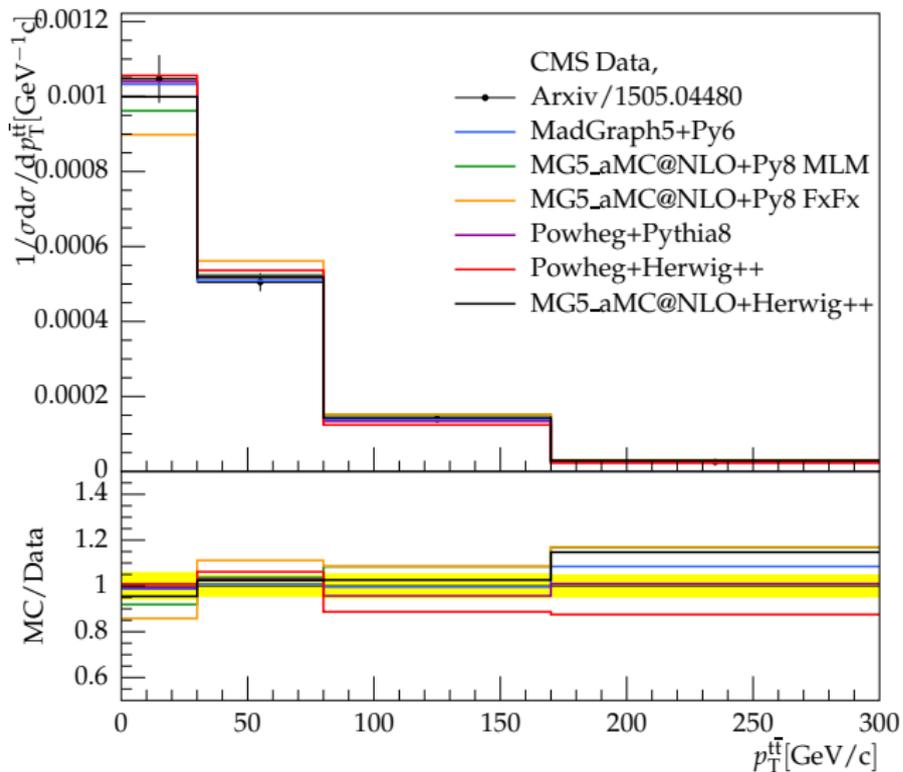
Transverse momentum of the dilepton system



Transverse momentum of the system of the two t quarks



Transverse momentum of the $t\bar{t}$ system



Conclusiones

El estudio de las colisiones requiere del uso de simulación

- $b\bar{b}$: mejores resultados con PYTHIA8
- $l\bar{l}$: mejores con MG5_AMC@NLO (+PYTHIA8 FxFX)
- Top: mejores con MG5_AMC@NLO+PYTHIA8 FxFX y POWHEG+HERWIG++
- $t\bar{t}$: MG5_AMC@NLO+PYTHIA8 FxFX falla en p_T pero es bueno en general, MG5+PYTHIA6