



Reconstrucción de objetos colimados y su aplicación en la búsqueda de nueva física en ATLAS

Cristina Oropeza Barrera

Universidad Iberoamericana

Seminario de Altas Energías
ICN-UNAM IF-UNAM

04.Junio.2014

Contenido

- 1 Jets en ATLAS
 - ATLAS
 - Jets
 - Algoritmos de reconstrucción
 - Subestructura
 - Jet grooming
- 2 Resonancias $t\bar{t}$
 - Introducción
 - Análisis
 - Resultados
- 3 Shower Deconstruction
 - Algoritmo
 - Aplicaciones
- 4 Conclusiones



Contenido

- 1 Jets en ATLAS
 - ATLAS
 - Jets
 - Algoritmos de reconstrucción
 - Subestructura
 - Jet grooming
- 2 Resonancias $t\bar{t}$
 - Introducción
 - Análisis
 - Resultados
- 3 Shower Deconstruction
 - Algoritmo
 - Aplicaciones
- 4 Conclusiones



Contenido

- 1 Jets en ATLAS
 - ATLAS
 - Jets
 - Algoritmos de reconstrucción
 - Subestructura
 - Jet grooming
- 2 Resonancias $t\bar{t}$
 - Introducción
 - Análisis
 - Resultados
- 3 Shower Deconstruction
 - Algoritmo
 - Aplicaciones
- 4 Conclusiones



Contenido

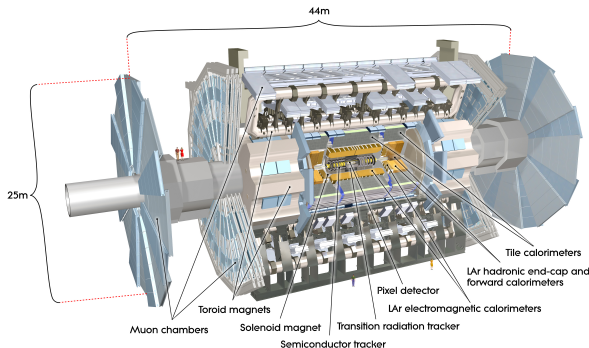
- 1 Jets en ATLAS
 - ATLAS
 - Jets
 - Algoritmos de reconstrucción
 - Subestructura
 - Jet grooming
- 2 Resonancias $t\bar{t}$
 - Introducción
 - Análisis
 - Resultados
- 3 Shower Deconstruction
 - Algoritmo
 - Aplicaciones
- 4 Conclusiones



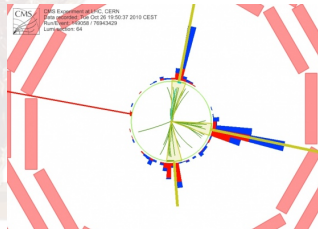
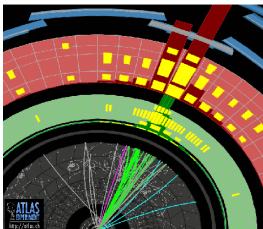
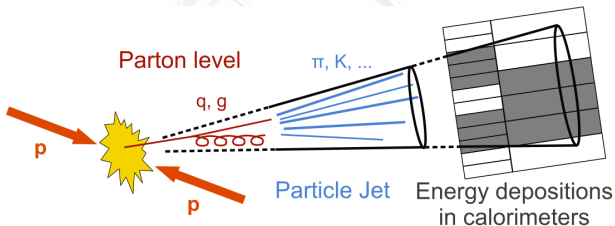
A Toroidal LHC ApparatuS

ATLAS

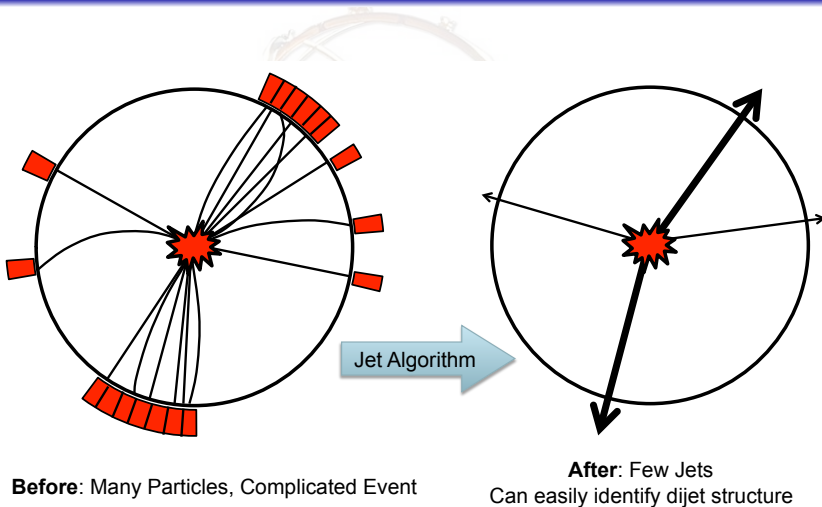
- Excelente desempeño durante 2011 y 2012
- Eficiencia $> 95\%$



QCD

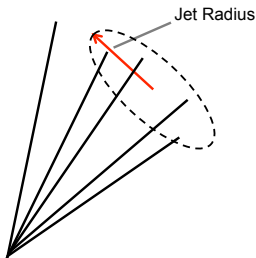


Reconstrucción de jets

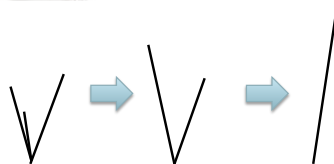


Algoritmos modernos

Dos tipos: cone y sequential clustering.



Cone – Cluster particles in a radius
Example: **SISCone**



Clustering – Successively recombine pairs of objects to make jets

Examples:

k_T , anti- k_T , Cambridge-Aachen

Los algoritmos de sequential clustering actualmente más utilizados.

Subestructura de jets: Motivación

Las energías alcanzadas por el LHC permiten explorar un nuevo espacio fase en el que se producen partículas con un gran *boost*.

Esto requiere de nuevas técnicas debido a que:

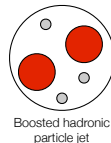
- Los productos de decaimiento se encuentran altamente colimados.
- Ocurren interacciones múltiples que contaminan a los jets.

Estudiar la subestructura de los jets puede ayudarnos a discriminar la señal proveniente de una partícula pesada de un proceso de QCD

→ **jet grooming**

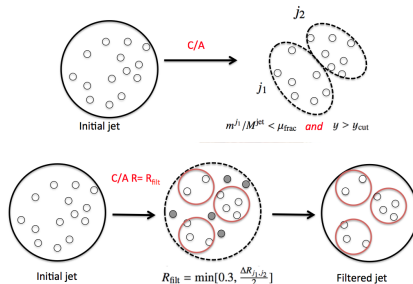
arXiv:1306.4945

ATLAS Collaboration, *Performance of jet substructure techniques for large- R jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector*, JHEP09 (2013) 076

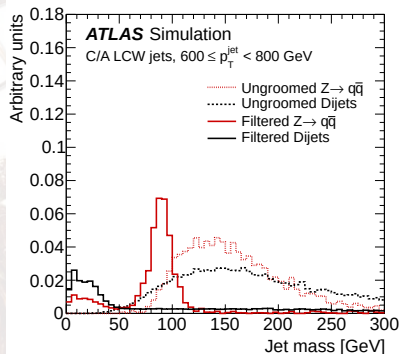
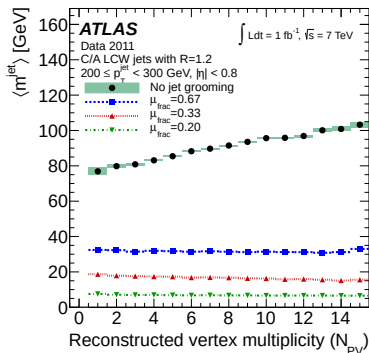


Mass-drop Filtering

- C/A jets. El último paso del algoritmo se revierte para dividir al jet en dos, j_1 y j_2 , tal que $m_{j_1} > m_{j_2}$.
- Se busca que $m_{j_1}/m_{jet} < \mu_{frac}$ y que la división sea simétrica.
- Los componentes de j_1 y j_2 son reagrupados con C/A y filtrados, tal que sólo los tres subjets con mayor p_T sobreviven.

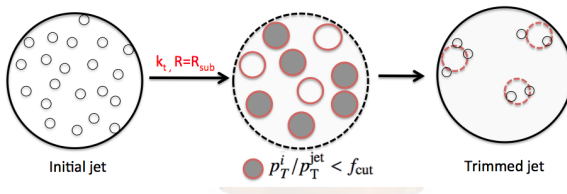


Mass-drop Filtering

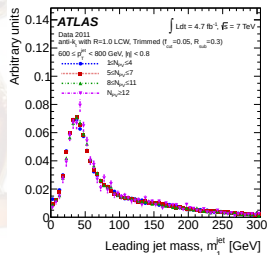
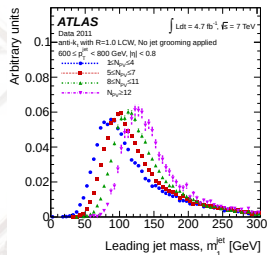
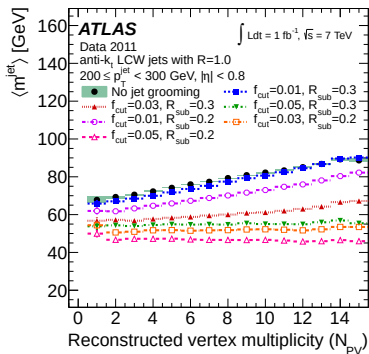


Trimming

- Se apoya en el hecho de que contaminación de pile-up, MPI, ISR y FSR es más suave.
- Algoritmo k_t para crear subjets de tamaño R_{sub} .
- Si $p_T^i/p_T^{jet} < f_{cut}$ se elimina el subjet.
- Jets originados por gluones o quarks ligeros típicamente pierden $\sim 30 - 50\%$ de su masa.

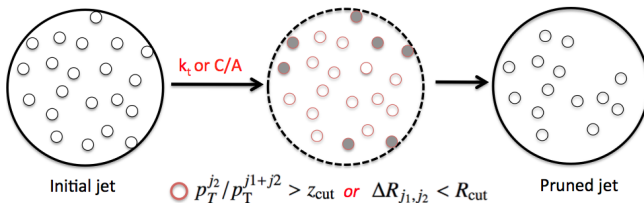


Trimming

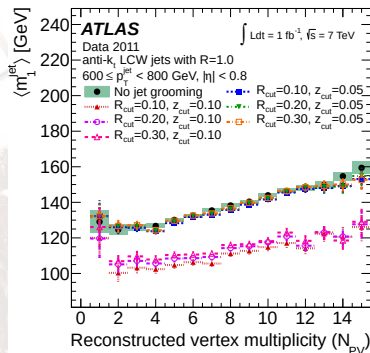
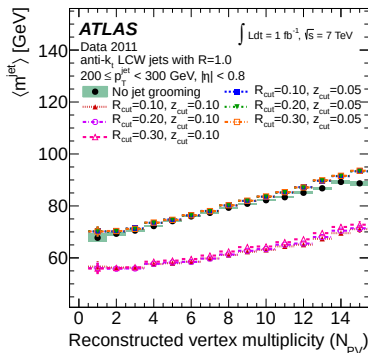


Pruning

- Remueve componentes de bajo p_T y gran separación angular.
- Algoritmos k_t o C/A.
- En cada paso se toma una decisión sobre si se debe incorporar o no el componente, basándose en:
 $p_T^{j_2}/p_T^{j_1+j_2} > z_{cut}$ o $\Delta R_{j_1,j_2} < R_{cut}$.
- Si alguno de los dos criterios es satisfecho, j_1 y j_2 se combinan. Si no, j_2 se descarta y el algoritmo continúa.



Pruning



El top quark y física BSM

El top quark es la partícula fundamental conocida más pesada:

- Acoplamiento con el Higgs ≈ 1 .
 - Papel especial en el rompimiento de simetría EW.
- Decae antes de hadronizar.
 - Oportunidad única para estudiar a un quark aislado.

¿Para qué estudiar al top?

- Poner a prueba predicciones del ME.
- Comparar con cálculos de QCD.
- Caracterizar backgrounds para distintos procesos.
- **Buscar nueva física.**

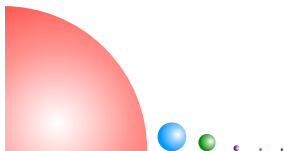
Varias extensiones del ME predicen la existencia de partículas pesadas que decaen principalmente en pares de top quarks.

Modelos de Referencia

- Topcolour assisted technicolour (TC2) - leptophobic Z'
 - Resonancia angosta ($\sim 1\%$ - menor que la resolución experimental)
 - Spin 1
 - Muestras generadas con PYTHIA
- Randall-Sundrum Kaluza-Klein gluons g_{KK}
 - Resonancia ancha ($\sim 10\text{-}15\%$ - mismo orden que la resolución experimental)
 - Spin 1
 - Muestras generadas con MADGRAPH+PYTHIA

ATLAS-CONF-2013-052

ATLAS Collaboration, *A search for $t\bar{t}$ resonances in lepton plus jets events with ATLAS using 14 fb^{-1} of proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$* , Conference Note.



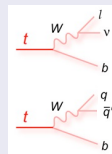
Estrategia de Análisis

Canal de Decaimiento

lepton + jets

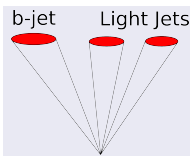
Señal experimental:

- leptón de alto p_T
- 4 jets
- energía perdida

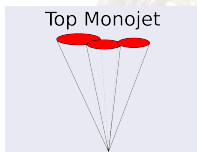


Estrategia

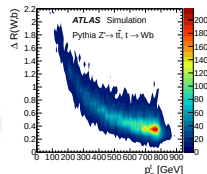
Combinación de 2 topologías de $t\bar{t}$:



Resolved

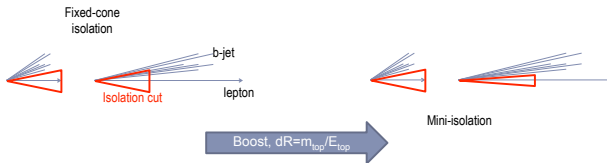


Boosted



Selección

Resolved	Boosted
Single-lepton trigger	Fat-jet trigger
≥ 1 primary vertex	
1 isolated lepton with $p_T > 25$ GeV	
$MET > 20$ (30) GeV for electron (muon) channel	
$MTW > 30$ GeV for electron channel; $MET+MTW > 60$ GeV for muon channel	
≥ 4 akt4 jets with $p_T > 25$ GeV	≥ 1 akt10 jet & ≥ 1 akt4 jet
≥ 1 b-tagged akt4 jet	



*Trimming

Reconstrucción

Masa invariante $m_{t\bar{t}}$

- $W_{lep} = \text{leptón} + \text{MET}$

Componente p_z del neutrino usando la masa del W como restricción.

- Resolved:

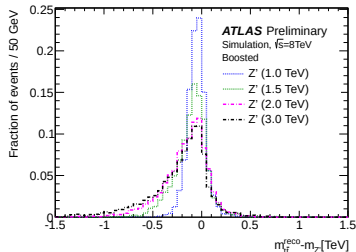
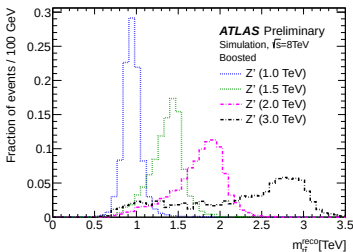
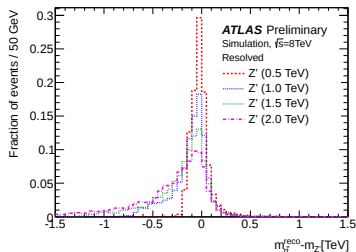
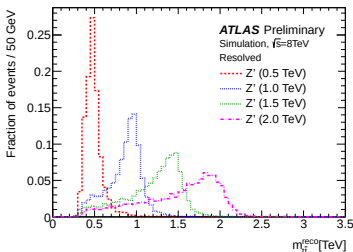
Método χ^2 . Combinación de jets que minimiza:

$$\chi^2 = \left[\frac{m_{jj} - m_W}{\sigma_W} \right]^2 + \left[\frac{m_{jib} - m_{jj} - m_{th-W}}{\sigma_{th-W}} \right]^2 + \left[\frac{m_{j\ell\nu} - m_{t\ell}}{\sigma_{t\ell}} \right]^2 + \left[\frac{(p_{T,jib} - p_{T,j\ell\nu}) - (p_{T,th} - p_{T,t\ell})}{\sigma_{diffp_T}} \right]^2$$

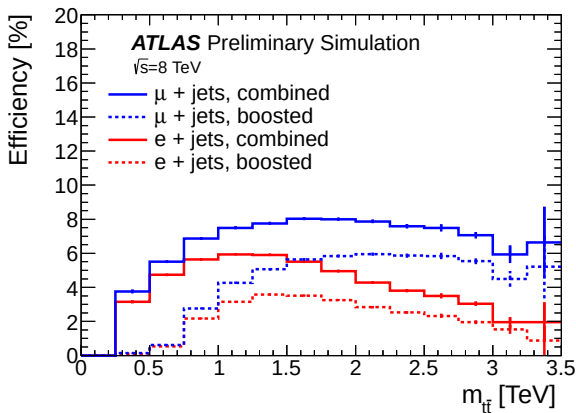
- Boosted:

top leptónico = $W_{lep} + \text{akt4 jet de mayor } p_T \text{ cerca del leptón}$
top hadrónico = akt10 jet

Reconstrucción

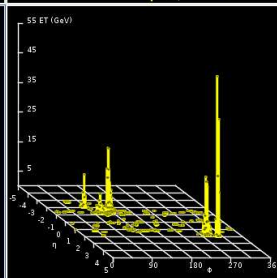
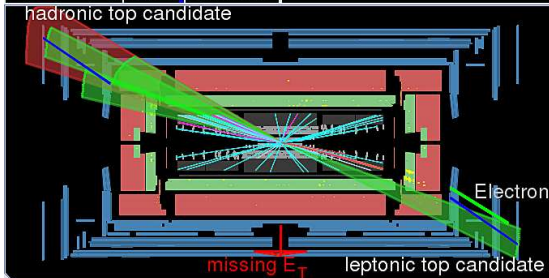
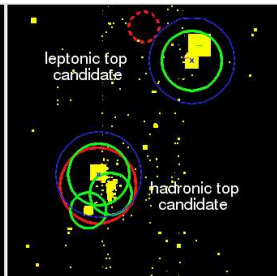
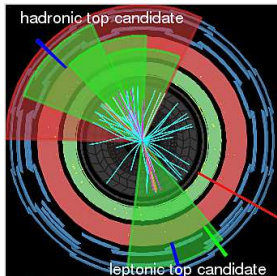


Eficiencia de reconstrucción



Para masas arriba de 1 TeV, la topología boosted es más eficiente.
Sin embargo, resolved aún contribuye → **combinación**

Reconstrucción



Backgrounds

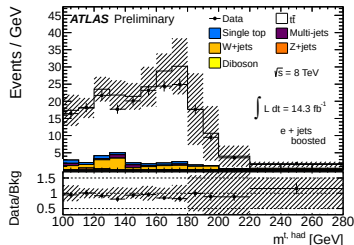
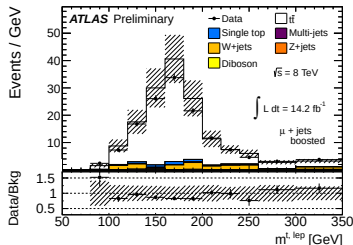
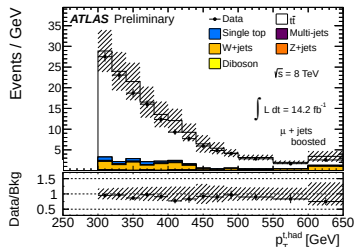
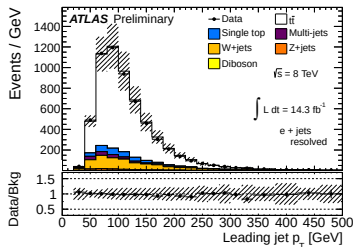
Procesos con mismo estado final

- ① $t\bar{t}$ del ME: estimado usando MC (MC@NLO)
- ② W +jets: forma estimada usando MC (Alpgen), normalización usando datos.
- ③ Single-top: estimado usando MC (AcerMC + Pythia y MC@NLO).
- ④ Multijets: normalización y forma estimadas usando datos (MM).
- ⑤ Z +jets: estimado usando MC (Alpgen).
- ⑥ VV : estimado usando MC (Herwig + Jimmy).

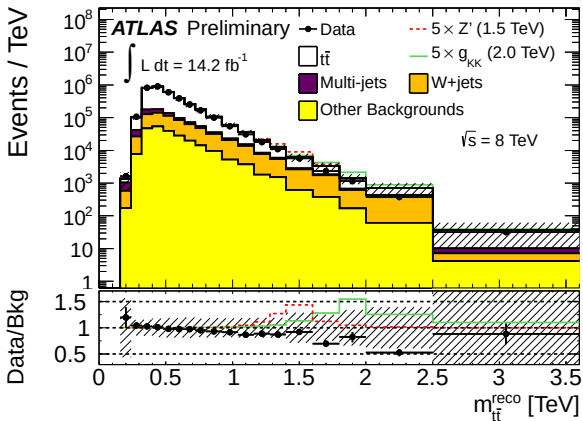
Errores Sistemáticos

Systematic Uncertainties	Resolved selection yield impact [%]		Boosted selection yield impact [%]	
	total bkg.	Z'	total bkg.	Z'
Luminosity	2.9	4	3.3	4
PDF	2.9	5	6	2.9
ISR/FSR	0.2	–	0.7	–
Parton shower and fragm.	5	–	4	–
$t\bar{t}$ normalization	8	–	9	–
$t\bar{t}$ EW virtual correction	2.2	–	4	–
$t\bar{t}$ Generator	1.5	–	1.6	–
W+jets $bb+c\bar{c}+c$ vs. light	0.8	–	1.0	–
W+jets bb variation	0.2	–	0.4	–
W+jets c variation	1.1	–	0.6	–
W+jets normalization	2.1	–	1.0	–
Multi-Jet norm, e +jets	0.6	–	0.3	–
Multi-Jet norm, μ +jets	1.8	–	0.3	–
JES, small-radius jets	6	2.2	0.7	0.5
JES+JMS, large-radius jets	0.3	4	17	3.3
Jet energy resolution	1.6	0.4	0.6	0.7
Jet vertex fraction	1.7	2.3	2.1	2.4
b -tag efficiency	4	1.8	3.4	6
c -tag efficiency	1.4	0.3	0.7	0.9
Mistag rate	0.7	0.3	0.7	0.1
Electron efficiency	1.0	1.1	1.0	1.0
Muon efficiency	1.5	1.5	1.6	1.6
All systematic uncertainties	14	9	22	9

Data/MC

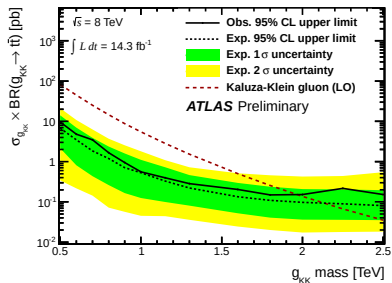
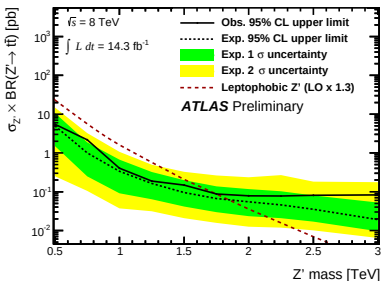


Buscar excesos o déficits en el espectro de $m_{t\bar{t}}$ respecto a las predicciones del ME. Ninguna desviación significativa es observada.



Límites

Límites en la sección eficaz de los modelos de referencia:



Se excluyen con un nivel de confianza del 95%:

- $0.5 < m_{Z'} < 1.8 \text{ TeV}$
- $0.5 < m_{g_{KK}} < 2.0 \text{ TeV}$

Shower Deconstruction

Algoritmo para estudiar la subestructura de fat jets e identificar y reconstruir partículas pesadas de alto p_T (boosted).

- Combina información del hard scatter, ISR/FSR y color.
- Propuesto por Davison Soper y Michael Spannowsky.
- Discriminante χ_{SD} optimizado para distinguir una señal de procesos iniciados por un gluón.
- Este análisis explora el uso de SD para identificar top quarks.

arXiv:1102.3480

D. E. Soper and M. Spannowsky, *Finding physics signals with shower deconstruction*, Phys. Rev. D84 (2011) 074002.

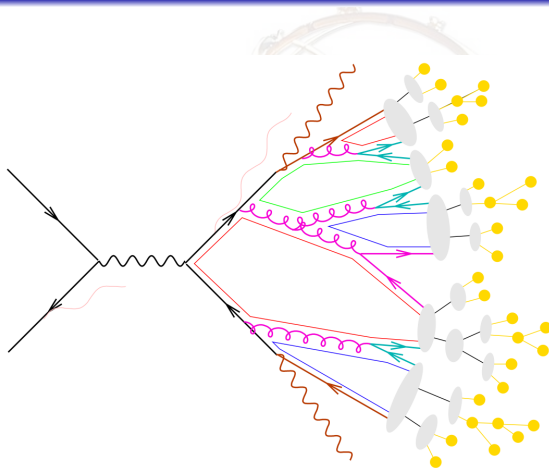
arXiv:1211.3140

D. E. Soper and M. Spannowsky, *Finding top quarks with shower deconstruction*, Phys. Rev. D87 (2013) 054012.

ATLAS-CONF-2014-003

ATLAS Collaboration, *Performance of shower deconstruction in ATLAS*, Conference Note.

Parton shower



- hard scattering
- (QED) initial/final state radiation
- partonic decays, e.g. $t \rightarrow bW$
- parton shower evolution
- nonperturbative gluon splitting
- colour singlets
- colourless clusters
- cluster fission
- cluster $\rightarrow$ hadrons
- hadronic decays

Una configuración específica de N sujetos puede generarse de muchas maneras. Cada una de ellas constituye una **shower history**.

Shower Deconstruction

- En cada shower history, los subjects se clasifican en categorías:
señal: productos del top, radiación del top e ISR.
background: ISR y FSR.
- Probabilidad de que una shower history dada ocurra:
 probabilidad de fragmentación en cada vértice (tomando en cuenta conexiones de color) y factores de Sudakov para cada propagador.
- Los subjects de señal y background tienen estructuras de color y cinemática diferentes.
- Las shower histories se usan para construir χ_{SD} :

$$\chi_{SD}(\{p\}_N) = \frac{P(\{p\}_N|S)}{P(\{p\}_N|B)} = \frac{\sum_{histories} P(\{p, c^j\}_N|S)}{\sum_{histories} P(\{p, c^j\}_N|B)}$$

Shower Deconstruction

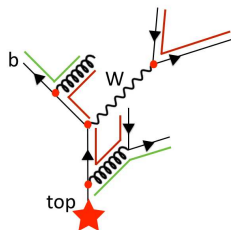
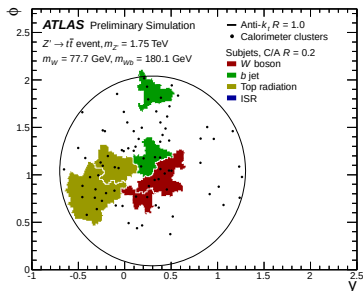
- χ_{SD} sólo puede calcularse si los subjets son compatibles (cinemáticamente) con el decaimiento hadrónico de un top quark:
 - Al menos 3 subjets.
 - Dos o más subjets deben tener una masa cercana a m_W .
 - Se puede sumar al menos un subjet más para alcanzar m_t .

Parameter	Nominal value
Subjet R parameter	0.2
Number of leading subjets to consider	9
Large- R jet R parameter	1
Minimum subjet p_T	20 GeV
W mass	80.4 GeV
W mass window	± 12 GeV
Initial shower scale	$Q^2 = p_T^2 + m^2$
Top quark mass	172.3 GeV
Top quark mass window	± 40 GeV

Shower Deconstruction

Ejemplo:

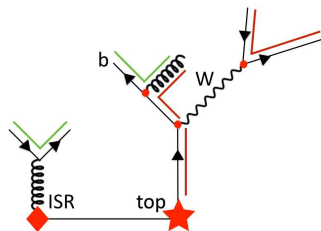
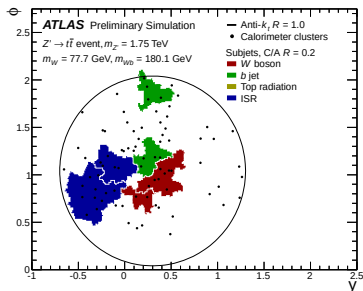
Evento de $Z' \rightarrow t\bar{t}$ con $m_{Z'} = 1.75$ TeV y 6 C/A subjets.
1,500 (35,000) shower histories posibles para señal (background).
Tres historias con mayor probabilidad para la señal:



Shower Deconstruction

Ejemplo:

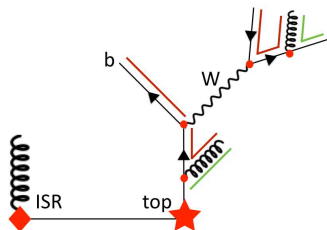
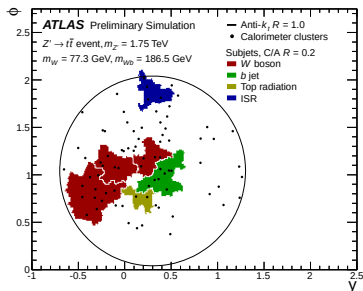
Evento de $Z' \rightarrow t\bar{t}$ con $m_{Z'} = 1.75$ TeV y 6 C/A subjets.
1,500 (35,000) shower histories posibles para señal (background).
Tres historias con mayor probabilidad para la señal:



Shower Deconstruction

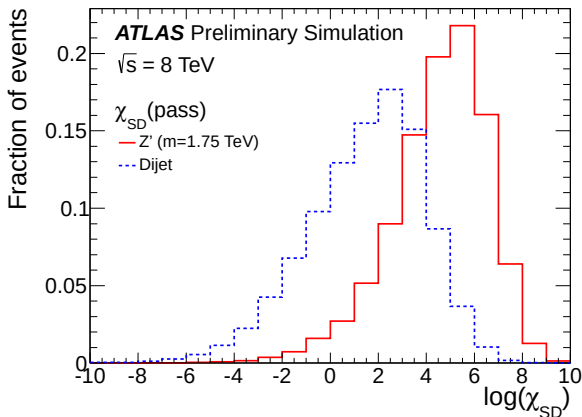
Ejemplo:

Evento de $Z' \rightarrow t\bar{t}$ con $m_{Z'} = 1.75$ TeV y 6 C/A subjets.
1,500 (35,000) shower histories posibles para señal (background).
Tres historias con mayor probabilidad para la señal:



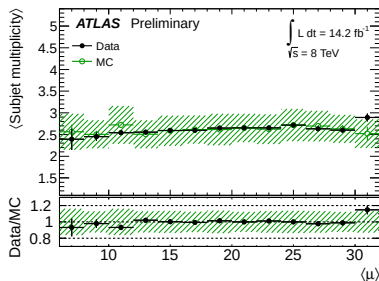
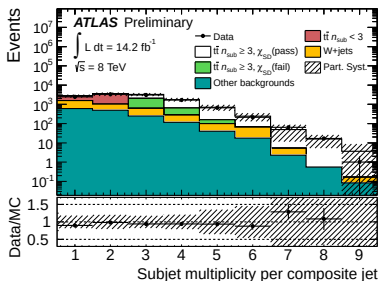
Shower Deconstruction

El output del algoritmo es χ_{SD} y su logaritmo es usado como discriminante entre señal y background.



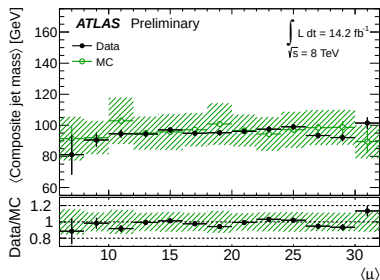
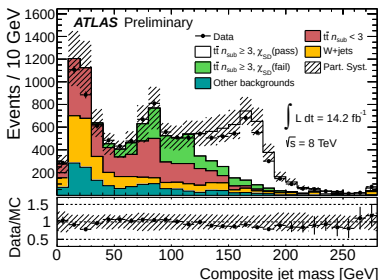
SD como top tagger

- Misma selección y muestra de datos que el análisis de resonancias (boosted).
- C/A subjets con $R=0.2$ y $p_T > 20$ GeV como input a SD.
- Jets que satisfacen los requisitos del algoritmo se denotan como $\chi_{SD}(\text{pass})$.



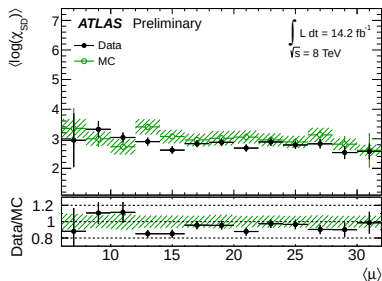
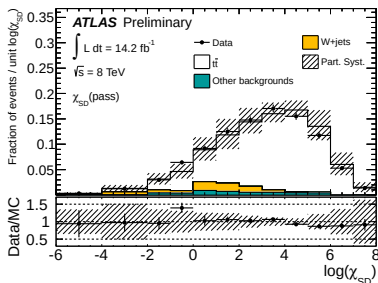
SD como top tagger

- Misma selección y muestra de datos que el análisis de resonancias (boosted).
- C/A subjets con $R=0.2$ y $p_T > 20$ GeV como input a SD.
- Jets que satisfacen los requisitos del algoritmo se denotan como $\chi_{SD}(\text{pass})$.



SD como top tagger

Distribución de $\log(\chi_{SD})$ para eventos con $\chi_{SD}(\text{pass})$.

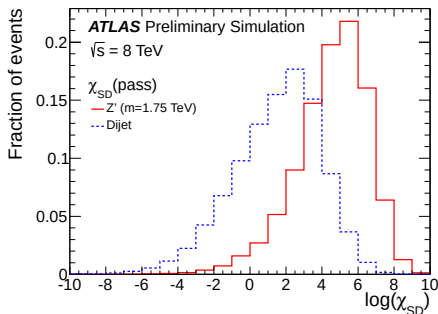


En todos los casos, la distribución observada es descrita razonablemente bien por las predicciones de MC y no hay una dependencia significativa en el pile-up.

SD como top tagger

¿Cómo se compara SD con otros taggers?

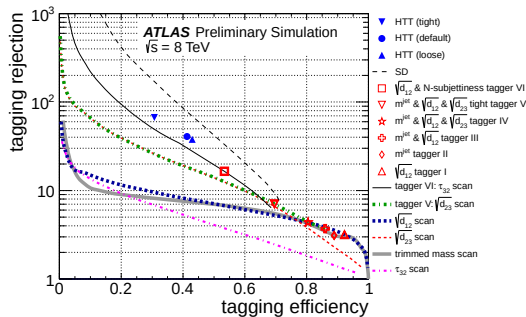
- Estudio realizado en simulaciones.
- $\log(\chi_{SD})$ tiene un valor promedio de 5 para top jets y un valor de 2 para multijets.
- $\log(\chi_{SD})$ puede usarse para discriminar señal de background.



SD como top tagger

¿Cómo se compara SD con otros taggers?

- Efecto de errores sistemáticos no tomado en cuenta.
- SD tiene la mejor tasa de rechazo de background en un rango amplio de eficiencia.
- 70% de los top jets satisfacen los requerimientos del algoritmo.



Conclusiones

- En el LHC se producen partículas de gran p_T cuyos productos se encuentran altamente colimados.
- Esto, en combinación con el número cada vez mayor de colisiones paralelas, hacen que las técnicas estándar de reconstrucción no sean eficientes.
- El estudio de la subestructura de jets es necesaria para no perder sensibilidad a procesos de nueva física.
- Análisis como la búsqueda de resonancias que decaen pares de top quarks son ideales para probar estas técnicas.
- Hasta ahora, ninguna desviación de las predicciones del ME ha sido observada.