

TRABAJO FIN DE GRADO
FACULTAD DE CIENCIAS

Estudio del proceso $t\bar{t}H$ en el experimento CMS del
acelerador LHC (CERN) a $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$

Autor

Víctor Rodríguez Bouza

Tutores

Pietro Vischia

Francisco Javier Cuevas Maestro



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

- 1 Introducción
- 2 Descripción del trabajo experimental
- 3 Elaboración del análisis
- 4 Resultados experimentales
- 5 Conclusiones

1 – Introducción

Introducción

Objetivo

- Elaboración de un análisis de alta luminosidad de la producción de un bosón de Higgs con un par de *quarks top-antitop* ($t\bar{t}H$).
- Estudio de la identificación de los leptones μ y e , particularmente en el discriminante Lepton MVA.

Asignaturas relacionadas principalmente con el trabajo

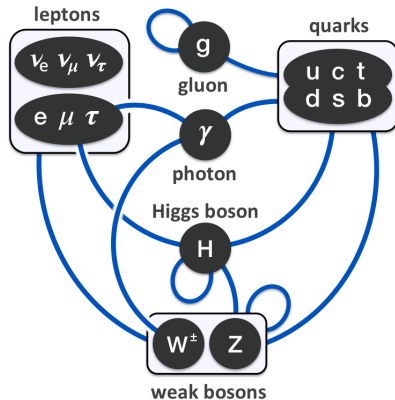
- Física Nuclear y de Partículas Elementales.
- Física de Altas Energías y Aceleradores.
- Métodos Numéricos y sus Aplicaciones a la Física.
- Introducción a la Física Computacional.



Introducción

El modelo estándar de física de partículas

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$\approx 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS



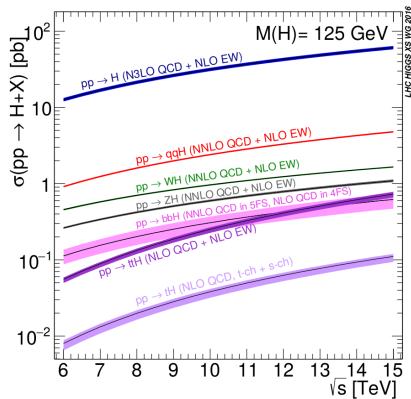
- Predicciones muy precisas.
- Explicación de tres de las cuatro interacciones fundamentales.

Introducción

El modelo estándar de física de partículas – El bosón de Higgs

- Explica la masa de las partículas del ME.
- Acoplamiento (de Yukawa) del bosón de Higgs con las partículas masivas.

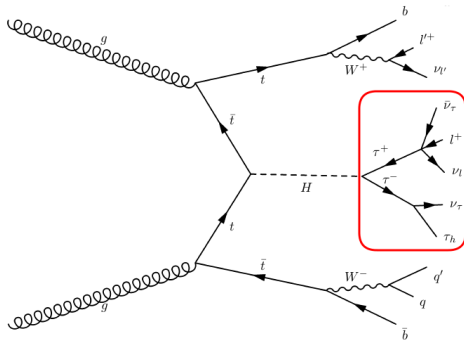
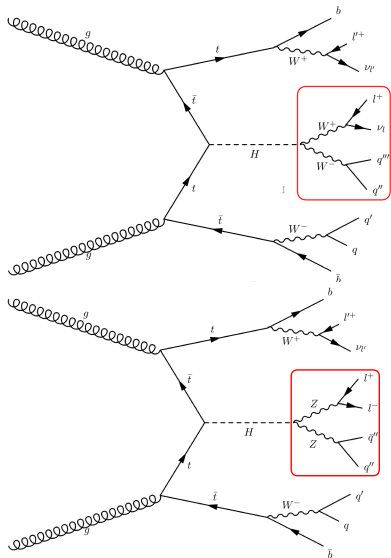
Modo de desintegración	Fracción de des. (%)
$H \rightarrow b\bar{b}$	$\sim 60\%$
$H \rightarrow W W$	$\sim 21\%$
$H \rightarrow g g$	$\sim 9\%$
$H \rightarrow \tau\bar{\tau}$	$\sim 5\%$
$H \rightarrow c\bar{c}$	$\sim 2.5\%$
$H \rightarrow Z Z$	$\sim 2.5\%$
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$\sim 0.2\%$
Modo de producción	σ (pb)
$pp \rightarrow H$	48.52 ± 4.36
$pp \rightarrow qqH$	3.78 ± 0.08
$pp \rightarrow WH$	1.37 ± 0.03
$pp \rightarrow ZH$	0.88 ± 0.04
$pp \rightarrow t\bar{t}H$	0.51 ± 0.05
$pp \rightarrow b\bar{b}H$	0.49 ± 0.01



(Secciones eficaces con $\sqrt{s} = 13$ TeV en colisiones $p^+ - p^+$)

Introducción

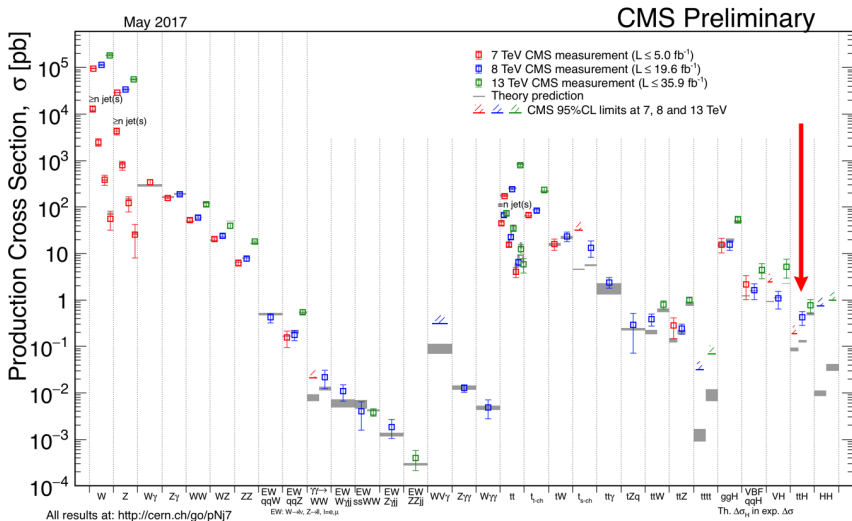
El proceso $t\bar{t}H$



- Número elevado de estados finales.
- Motivación: cte. de acoplamiento de Yukawa Higgs- $top \Rightarrow$ Implicaciones en física más allá del ME.

Introducción

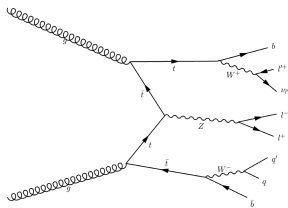
El proceso $t\bar{t}H$ – Sección eficaz



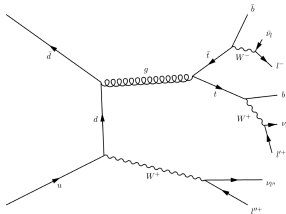
- Baja sección eficaz predicha ($\sim 0.5 \text{ pb}$) $\Rightarrow$ complicada observación

Introducción

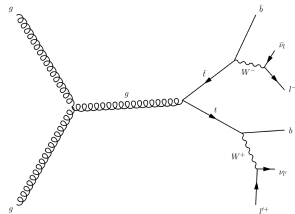
El proceso $t\bar{t}H$ – El canal multileptónico



(a) $t\bar{t}Z$

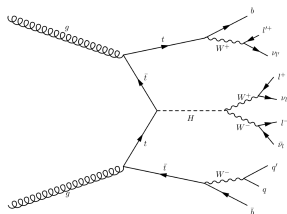


(b) $t\bar{t}W$



(c) $t\bar{t}$

- Canal escogido: **multileptónico**.
- Principales fondos: $t\bar{t}Z$, $t\bar{t}W$, $t\bar{t}$.

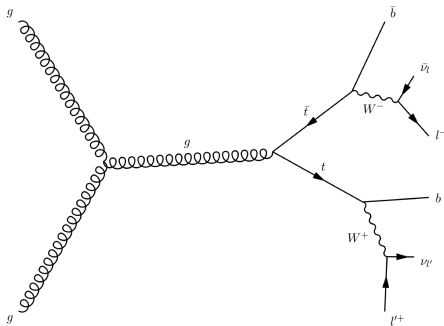


$t\bar{t}H$ – señal

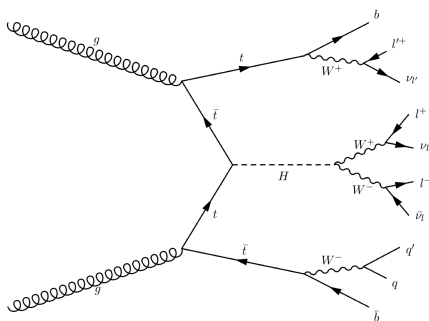
Introducción

El proceso $t\bar{t}H$ – Los sucesos con leptones *fake*

- Hadronización de los *quarks*.
- **Leptones *fake***: no provenientes directamente del proceso señal.
- Principal proceso de fondo con leptones *fakes*: $t\bar{t}$ ($\frac{\sigma_{t\bar{t}}}{\sigma_{t\bar{t}H}} \approx 10^3$).



(a) $t\bar{t}$

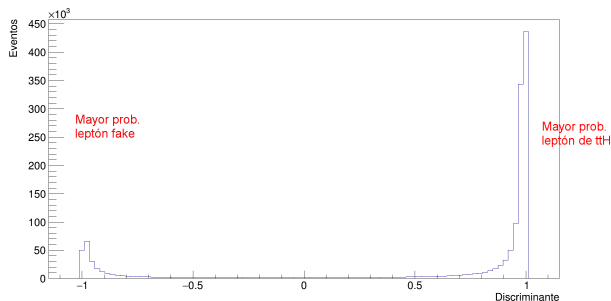


(b) $t\bar{t}H$

Introducción

El discriminante Lepton MVA

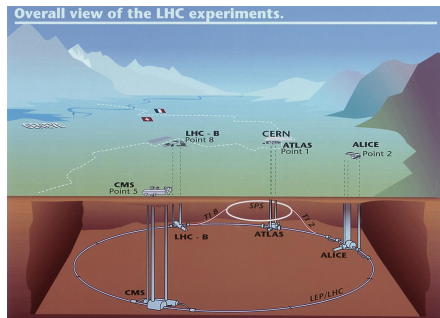
- Discriminante creado a partir de un estudio multivariable (BDT).
- Optimizada para diferenciar leptones procedentes del proceso $t\bar{t}H$ frente a leptones *fake*.
- Discriminantes de entrada: observables físicos cinemáticos, de calidad de la traza, buen reconocimiento del vértice primario...



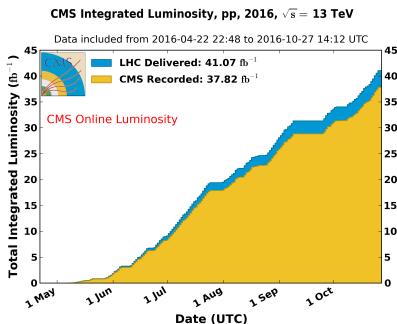
2 – Descripción del trabajo experimental

Descripción del trabajo experimental

LHC / Large Hadron Collider



- Colisionador $p^+ - p^+ / Pb^{+82} - Pb^{+82} / p^+ - Pb^{+82}$.
- Cuatro experimentos principales: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE.
- Diseñado para $\sqrt{s} = 14$ TeV; hoy en día hay $\sqrt{s} = 13$ TeV.

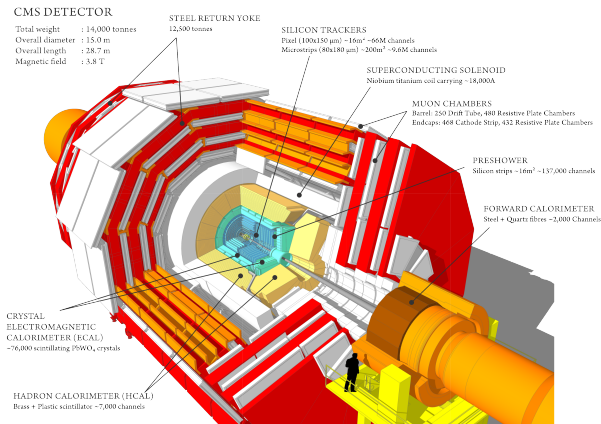


- Proceso de inyección con varios pre-aceleradores.
- Imanes y cavidades de radiofrecuencia mantienen y aceleran los haces.
- $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (superada).

Descripción del trabajo experimental

CMS / *Compact Muon Solenoid*

- Subdetectores organizados en capas: detector de trazas, ECAL, HCAL, cámaras de muones.
- Mayor (en tamaño) solenoide superconductor de la Tierra: ~ 3.8 T.



Descripción del trabajo experimental

Obtención de datos y simulaciones – El *trigger*

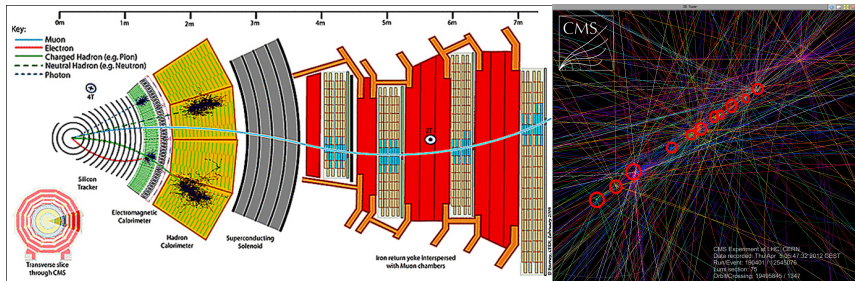
- Gestión de la toma de datos: el ***trigger***.

Frecuencia de colisiones:	$40\text{MHz} // 40\text{ TB s}^{-1}$
	$\Downarrow$
<i>Level-1 trigger (hardware)</i>	$100\text{kHz} // 100\text{ GB s}^{-1}$
	$\Downarrow$
<i>High Level Trigger, HLT (software)</i>	$1\text{kHz} // 1\text{ GB s}^{-1}$

Descripción del trabajo experimental

Obtención de datos y simulaciones – Reconstrucción de objetos físicos

- Algoritmo *particle flow*, PF.
- A partir de trazas y *clusters* se reconstruyen:
 - Vértice primario (PV): el *pile-up*.
 - Muones.
 - Electrones.
 - Quarks: *jets*.
 - Taus («hadrónicos»).
 - Objs. físicos invisibles al detector: $\cancel{E}_T$.



Descripción del trabajo experimental

Obtención de datos y simulaciones – Procedimientos

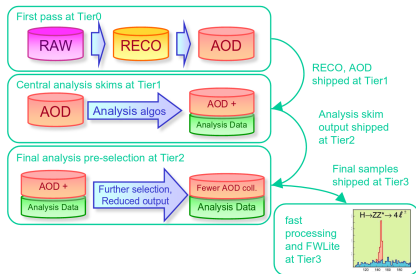
Concepto de trabajo en física del LHC: predicción (S+F) / datos

Procedimiento para datos del LHC:

- 1 Toma de datos.
- 2 Reconstrucción.
- 3 Análisis.

Procedimiento para simulaciones:

- 1 Generación (aMC@NLO, Powheg, Madgraph + Pythia).
- 2 Simulación del paso de las partículas por el detector (Geant4).
- 3 Reconstrucción.
- 4 Análisis.



Descripción del trabajo experimental

Secciones eficaces y límites superiores

Observar procesos Medir con suficiente precisión su sección eficaz.

Sección eficaz $\sigma = \frac{N_{\text{datos}} - N_{\text{fondo}}}{\epsilon \int \mathcal{L} dt}$.

Fuerza de señal $\mu = \frac{\sigma_{\text{exp.}}}{\sigma_{\text{teo.}}}$.

Límites superiores a μ Cotas de μ obtenidas con un CL 95 % que se emplean en situaciones de baja sensibilidad.

- Interpretación: cuán grande debería ser $\sigma_{\text{teo.}}$ para que la observásemos (con CL 95 %)
- Límites observados ($\mu_{\text{obs.}}$) y esperados ($\mu_{\text{esp.}}$).

3 – Elaboración del análisis

Elaboración del análisis

Framework

- Herramientas informáticas: C++, ROOT y PAF (también Python, Bash, Git y GNU/Linux).
- *Framework Analysis* PAF del Grupo Experimental HEP UniOvi.
 - Trabajo colaborativo (adición de código, validación...).
 - Uso de la modularidad de PAF para simplificar la construcción del análisis.
 - ≈ 2200 líneas de código añadidas por mí (implementación completa del análisis y otros elementos comunes).



Elaboración del análisis

Muestras de datos y MC

- Datos: todos los recogidos durante 2016 en CMS con $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ (35.9 fb^{-1}).

- Grupos de muestras de Monte Carlo: $t\bar{t}H$, $t\bar{t}Z$, $t\bar{t}W$, WZ , *conversions*, *fakes* y *rares*.

Proceso físico	Modo de desintegración	Software de generación	σ (pb)	Clasificación
$t\bar{t}W$	$W \rightarrow l + \nu_l$	aMC@NLO	0.2043	$t\bar{t}W$
	$W \rightarrow q + q'$	aMC@NLO	0.4062	$t\bar{t}W$
$t\bar{t}Z$	$W^+W^- \rightarrow l + l' + \nu_l + \nu_{l'}$	aMC@NLO	0.2529	$t\bar{t}Z$
	$Z \rightarrow q + \bar{q}$	aMC@NLO	0.5297	$t\bar{t}Z$
WZ	$WZ \rightarrow l + l' + l'' + \nu_{l''}$	Powheg	4.4297	WZ
$W + \gamma$	$W \rightarrow l + \nu_l$	MadGraph	585.8	<i>conversions</i>
$Z + \gamma$	$Z \rightarrow l + \bar{l}$	aMC@NLO	131.3	<i>conversions</i>
$t + \gamma$		aMC@NLO	2.967	<i>conversions</i>
$t\bar{t} + \gamma$		aMC@NLO	3.697	<i>conversions</i>
ZZZ		aMC@NLO	0.0140	<i>rares</i>
WZZ		aMC@NLO	0.0557	<i>rares</i>
WWZ		aMC@NLO	0.1651	<i>rares</i>
WWW		aMC@NLO	0.2086	<i>rares</i>
$tZ + jets$	$Z \rightarrow l + \bar{l}$	aMC@NLO	0.0758	<i>rares</i>
$tttt$		aMC@NLO	0.0091	<i>rares</i>
ZZ		MadGraph	16.523	<i>rares</i>
WW		MadGraph	115	<i>fakes</i>
$W^+W^+ + jets$		MadGraph	0.0371	<i>fakes</i>
$t\bar{t} + jets$		aMC@NLO	831.76	<i>fakes</i>
$t\bar{t} + jets$		Powheg	831.76	<i>fakes</i>
$DY + jets$	$\gamma \rightarrow l + \bar{l}$ ($m_{ll} \in [5, 50] \text{ GeV}$)	aMC@NLO	22635.09	<i>fakes</i>
$DY + jets$	$\gamma \rightarrow l + \bar{l}$ ($m_{ll} = 50 \text{ GeV}$)	aMC@NLO	6025.2	<i>fakes</i>
$W + jets$	$W \rightarrow l + \nu_l$	MadGraph	61526.7	<i>fakes</i>
tW		Powheg	35.6	<i>fakes</i>
$\bar{t}W$		Powheg	35.6	<i>fakes</i>
t	Canal t	Powheg	136.02	<i>fakes</i>
$\bar{t}$	Canal t	Powheg	136.02	<i>fakes</i>
t	Canal s, $W \rightarrow l + \nu_l$	aMC@NLO	3.6806	<i>fakes</i>
WW	$WW \rightarrow l + l' + \nu_l + \nu_{l'}$	Powheg	12.178	<i>fakes</i>
$t\bar{t}H$	$H \rightarrow b\bar{b}$	Powheg	0.2151	$t\bar{t}H$

Elaboración del análisis

Identificación de leptones y *jets*

Criterio de selección	Muon <i>loose</i>	Muon <i>fakeable</i>	Muon <i>tight</i>	Criterio de selección	Electrón <i>loose</i>	Electrón <i>fakeable</i>	Electrón <i>tight</i>
p_T	$> 15 \text{ GeV}$	$> 15 \text{ GeV}$	$> 15 \text{ GeV}$	p_T	$> 15 \text{ GeV}$	$> 15 \text{ GeV}$	$> 15 \text{ GeV}$
$ \eta < 2.4$	✓	✓	✓	$ \eta < 2.4$	✓	✓	✓
$ d_{xy} < 0.05 \text{ cm}$	✓	✓	✓	$ d_{xy} < 0.05 \text{ cm}$	✓	✓	✓
$ d_z < 0.1 \text{ cm}$	✓	✓	✓	$ d_z < 0.1 \text{ cm}$	✓	✓	✓
$\text{SIP}_{3D} < 8$	✓	✓	✓	$\text{SIP}_{3D} < 8$	✓	✓	✓
$I_{\text{mini}} > 0.4$	✓	✓	✓	$I_{\text{mini}} > 0.4$	✓	✓	✓
Muon <i>loose</i> de POG	✓	✓	✓	Disc. de MVA ID $> (0.0, 0.0, 0.7)$	✓	✓	✓
Muon <i>medium</i> de POG	✓	✓	✓	$\sigma_{\eta\eta} < (0.011, 0.011, 0.030)$	—	✓	✓
Disc. <i>Lepton MVA</i> > 0.90	—	—	✓	$\frac{E}{E} < (0.10, 0.10, 0.07)$	—	✓	✓
Disc. CSVv2 del <i>jet</i> más cercano	—	$< 0.8484 / < 0.3^*$	< 0.8484	$\Delta\eta_{\text{iso}} < (0.01, 0.01, 0.008)$	—	✓	✓
$p_T^{\text{ratio}} > 0.5$	—	✓*	—	$\Delta\varphi_{\text{em}} < (0.04, 0.04, 0.07)$	—	✓	✓
Compatib. de segmentos	—	✓*	—	$-0.05 < \frac{1}{E} - \frac{1}{p} < (0.010, 0.010, 0.005)$	—	✓	✓
<i>Tight-charge</i> (solo 2ISS)	—	—	≥ 1	Disc. <i>Lepton MVA</i> > 0.90	—	—	✓
				Rechazo de conversiones	—	—	✓
				Número de <i>missing hits</i>	< 2	$= 0$	$= 0$
				Disc. CSVv2 del <i>jet</i>	—	$< 0.8484 / < 0.3^\dagger$	< 0.8484
				$p_T^{\text{ratio}} > 0.5$	—	✓†	—
				<i>Tight-charge</i> (solo 2ISS)	—	—	≥ 2

Taus (hadrónicos) $p_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.3$, WP medio del MVA contra $t\bar{t}$, id. del modo de desintegración válida, WP *tight* de la id. contra muones y *medium* contra electrones. Limpieza con los leptones *fakeable* con un cono de $\Delta R > 0.4$.

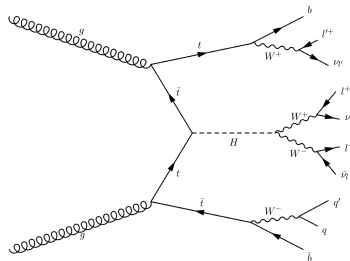
Jets $p_T > 25 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.4$ y limpieza respecto a los leptones *fakeable* con un cono de $\Delta R > 0.4$.

b-jets Dos WP: *loose* (disc. de CSVv2 > 0.5426) y *medium* (> 0.8484).

Elaboración del análisis

Selección de sucesos

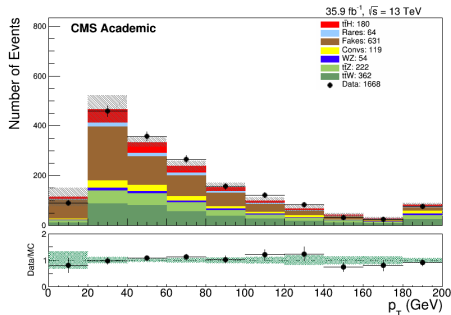
- **Primero.** Preselección general (al menos dos leptones *tight*, al menos dos *jets*).
- **Segundo.** Clasificación en tres categorías principales: 2ISS (dos leptones con igual carga), 3l (tres leptones) y 4l (cuatro o más leptones).



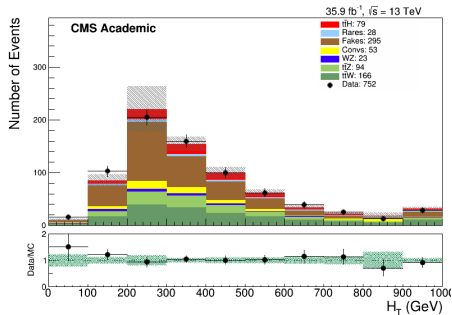
4 – Resultados experimentales

Resultados experimentales

Análisis del proceso $t\bar{t}H$



(a) p_T de leptones inclusivo

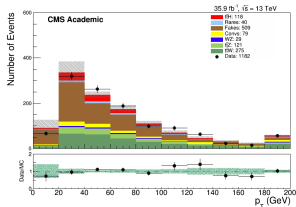


(b) $H_T = \sum p_T(jet)$

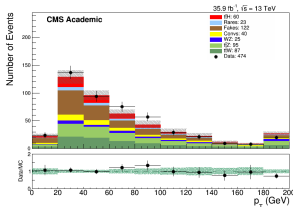
- **Incertidumbres estadísticas.** Siempre se consideran.
- **Incertidumbres sistemáticas en histogramas:** *pile-up*, id. de leptones, *trigger*, JES.
- **Incertidumbres sistemáticas en recuento y límites:** *pile-up*, id. de leptones, *trigger*, JES y normalización de las muestras.

Resultados experimentales

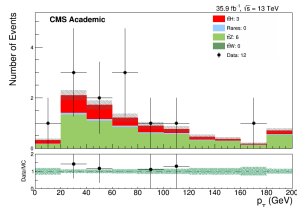
Análisis del proceso $t\bar{t}H$



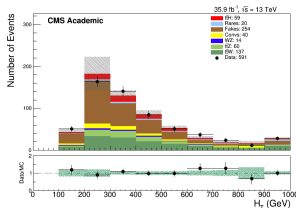
(a) 2LSS



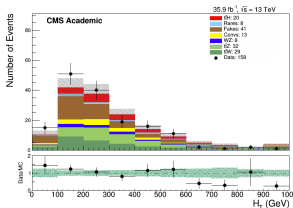
(b) 3l



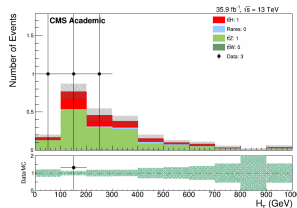
(c) 4l



(a) 2LSS



(b) 3l



(c) 4l

Resultados experimentales

Análisis del proceso $t\bar{t}H$

- $\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}}$: indicador usado para optimizar análisis.

Categoría	Fondo												Señal ($t\bar{t}H$)		Datos		Predicción Datos	$\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}}$		
	$t\bar{t}W$		$t\bar{t}Z$		WZ		Conversions		Fakes		Rares								Total	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ				
Todas	166	22	94	11	23	8	53	19	295	103	28	9	658	109	79	9	752	27	0.981	0.713
2ISS	137	18	60	7	14	5	40	14	254	89	20	6	526	93	59	6	591	24	0.990	0.616
2ISS ($\mu\mu$)	48	7	17	2	5	2	5	2	35	13	6	2	115	15	20	2	170	13	0.797	1.120
2ISS (ee)	22	3	12	2	3	1	14	6	64	22	4	1	118	23	10	1	115	11	1.114	0.386
2ISS ($e\mu$)	68	9	31	4	7	2	20	8	155	61	11	3	293	62	29	3	306	17	1.050	0.446
3l	29	4	32	4	8	3	13	5	41	14	8	2	131	16	20	2	158	13	0.953	1.002
4l	0.008	0.007	1.454	0.229	—	—	—	—	—	—	0.093	0.030	1.555	0.231	0.634	0.090	3	2	0.730	0.500

Límites superiores (CL 95 %): $\mu_{\text{obs.}} = 3.21$ $\mu_{\text{esp.}} = 2.04^{+0.85}_{-0.59}$

Resultados experimentales

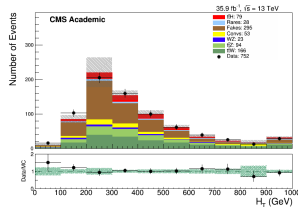
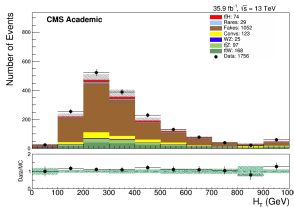
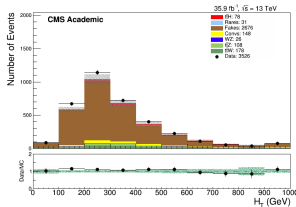
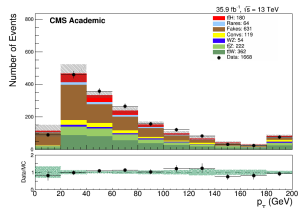
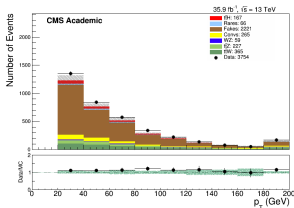
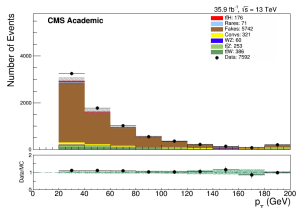
Estudio de los criterios de id. de leptones – Comparación con otros análisis

			Id. stop	Criterio de selección	Id. top
			Medium < 0.12 Loose personalizada < 0.12	Id. muon (POG) I Id. elec. (POG) I $ \eta \in [1.4442, 1.506]$ $Missing\ hits \leq 1$ $p_T > 20\text{ GeV}$ $ \eta < 2.4$ Buen vértice $SIP < 4$	Tight < 0.25 Tight < 0.0588/0.0571*
Leptones tight	μ	Ambos	✓	✓	✓
			–	–	–
	e	Ambos	✓	✓	✓
			✓	✓	✓
Leptones fakeable	μ	Ambos	Medium < 0.12 Loose < 0.0695/0.0821*	Id. muon (POG) I Id. elec. (POG) I $ \eta \in [1.4442, 1.506]$ $Missing\ hits \leq 1$ $p_T > 15\text{ GeV}$ $ \eta < 2.4$ Buen vértice $SIP < 4$	Medium < 0.25 Medium < 0.0695/0.0821*
			✓	✓	✓
	e	Ambos	✓	✓	✓
			✓	✓	✓
Leptones loose	μ	Ambos	Loose < 0.4 Loose < 0.4	Id. muon (POG) I Id. elec. (POG) I $ \eta \in [1.4442, 1.506]$ $Missing\ hits \leq 1$ $p_T > 5\text{ GeV}$ $ \eta < 2.4$ Buen vértice $SIP < 4$	Loose < 0.4 Loose < 0.4
			✓	✓	✓
	e	Ambos	✓	✓	✓
			✓	✓	✓

- **Zona sombreada:** importada de otros análisis.
- **Zona no sombreada:** implementada por mí.

Resultados experimentales

Estudio de los criterios de id. de leptones – Comparación con otros análisis



(a) Id. top

(b) Id. $stop$

(c) Id. $t\bar{t}H$

Resultados experimentales

Estudio de los criterios de id. de leptones – Comparación con otros análisis

Categoría	Fondo					Señal ($t\bar{t}H$)		Datos		Predicción Datos	$\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}}$
	<i>Fakes</i>			Total							
	<i>Valor</i>	Δ	$\frac{Fakes}{Fakes(t\bar{t}H)} (\%)$	<i>Valor</i>	Δ	<i>Valor</i>	Δ	<i>Valor</i>	Δ		
Id. $t\bar{t}H$	295	103	100	658	109	79	9	752	27	0.981	0.713
Id. <i>top</i>	2676	820	907	3168	822	78	8	3526	59	0.921	0.095
Id. <i>stop</i>	1052	327	357	1495	331	74	8	1756	42	0.894	0.223

Límites superiores (CL 95 %)

$$\text{Id. } t\bar{t}H \quad \mu_{\text{esp.}} = 2.04^{+0.85}_{-0.59}$$

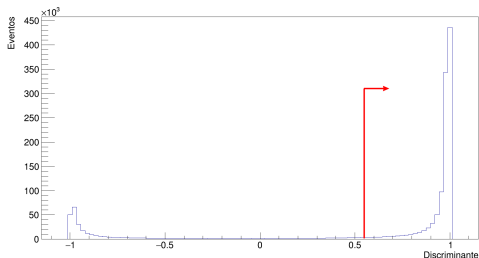
$$\text{Id. } top \quad \mu_{\text{esp.}} = 5.27^{+2.79}_{-1.73}$$

$$\text{Id. } stop \quad \mu_{\text{esp.}} = 3.52^{+1.61}_{-1.08}$$

Resultados experimentales

Estudio de los criterios de id. de leptones – WP de Lepton MVA

Criterio de selección	μ	e
> 0.95	> 0.95	> 0.95
$t\bar{t}H$	> 0.90	> 0.90
<i>Extra tight</i>	> 0.90	> 0.85
<i>Very tight</i>	> 0.45	> 0.75
<i>Tight</i>	> 0.15	> 0.65
<i>Medium</i>	> -0.20	> 0.50



Resultados experimentales

Estudio de los criterios de id. de leptones – WP de Lepton MVA

Criterio de selección	Fondo						Señal ($t\bar{t}H$)		Datos		Predicción Datos	$\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}}$
	<i>Fakes</i>			Total								
	<i>Valor</i>	Δ	$\frac{Fakes}{Fakes(t\bar{t}H)} (\%)$	<i>Valor</i>	Δ		<i>Valor</i>	Δ	<i>Valor</i>	Δ		
> 0.95	177	71	60	471	75		62	7	524	23	1.017	0.788
$t\bar{t}H$	295	103	100	658	109		79	9	752	27	0.981	0.731
<i>Extra tight</i>	517	168	175	938	173		96	10	1056	32	0.979	0.545
<i>Very tight</i>	751	238	255	1200	242		102	11	1338	37	0.973	0.417
<i>Tight</i>	1032	323	350	1500	326		107	12	1624	40	0.990	0.325
<i>Medium</i>	1498	466	508	1988	468		111	12	2074	46	1.012	0.235

	Criterio de selección	$\mu_{esp.}$
Límites superiores (CL 95 %):	> 0.95	$1.93^{+0.79}_{-0.55}$
	$t\bar{t}H$	$2.04^{+0.85}_{-0.59}$
	Extra tight	$2.27^{+0.97}_{-0.67}$
	Very tight	$2.51^{+1.13}_{-0.75}$
	Tight	$2.84^{+1.30}_{-0.86}$
	Medium	$3.01^{+1.43}_{-0.95}$

Resultados experimentales

Estudio de los criterios de id. de leptones – WP de Lepton MVA

Resultados experimentales

Estudios adicionales – Cambios en la identificación de leptones tau

Categoría	Fondo		Señal ($t\bar{t}H$)		Datos		Predicción Datos	$\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}}$
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ		
Todas	651	108	78	9	743	27	0.981	0.701
Todas (nuestra id.)	658	109	79	9	752	27	0.981	0.713

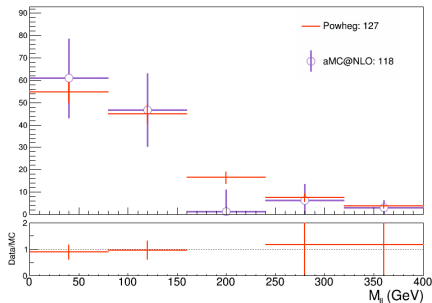
Límites superiores (CL 95 %):

$$\text{Nuestra id.} \quad \mu_{\text{esp.}} = 2.04^{+0.85}_{-0.59}$$

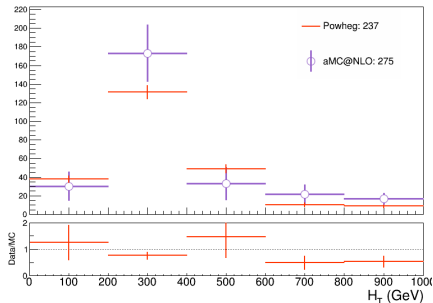
$$\text{Id. taus menos estricta} \quad \mu_{\text{esp.}} = 2.05^{+0.87}_{-0.59}$$

Resultados experimentales

Estudios adicionales – Comparación de generadores aMC@NLO y Powheg



(a) $m_{ll}, 1epMVA > 0.95$
 $\frac{\chi^2}{g.l.} = 0.58$



(b) H_T , criterio de selección del análisis
 $\frac{\chi^2}{g.l.} = 1.17$

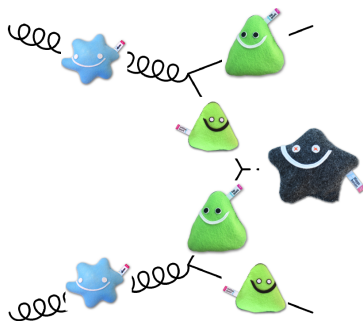
- La diferencia depende de la distribución de intervalos y de los observables físicos considerados.
- Variaciones que a veces superan 1σ .

5 – Conclusiones

- Elaboración de un análisis de alta luminosidad del proceso $t\bar{t}H$.
- Límite superior (CL 95 %) a la fuerza de señal ($\mu = \frac{\sigma_{\text{exp.}}}{\sigma_{\text{teo.}}}$) calculado:

$$\mu_{\text{obs.}} = 3.21 \quad \mu_{\text{esp.}} = 2.04^{+0.85}_{-0.59}.$$

- El discriminante Lepton MVA se ha probado muy eficaz en la reducción de los sucesos de procesos de fondo con leptones *fake*.
- La identificación más estricta de los leptones tau permite optimizar el análisis un 1.2 % en el indicador $\frac{S}{\sqrt{F+(\Delta F)^2}} \Rightarrow$ posible vía de mejora.
- Los detalles de los modelos físicos de distintos generadores escogidos usados en las simulaciones pueden afectar a las distribuciones de algunos observables físicos, sobre todo al extremar la selección.
- **En el futuro** se prevén mejores resultados del proceso al aumentar la luminosidad $\Rightarrow$ influencia en búsquedas más allá del ME.



Gracias por vuestra atención

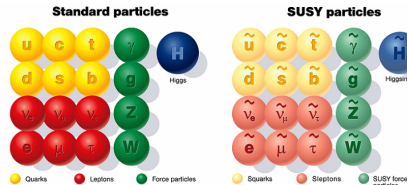
Refuerzo

Refuerzo

El modelo estándar de física de partículas – Carencias y soluciones posibles

Carencias del modelo estándar

- Interacción gravitatoria
- Masa de los neutrinos
- Materia oscura
- Energía oscura
- Abundancia de la materia frente a la antimateria
- Las tres generaciones
- Origen de los valores de los parámetros del modelo estándar
- El problema de la jerarquía

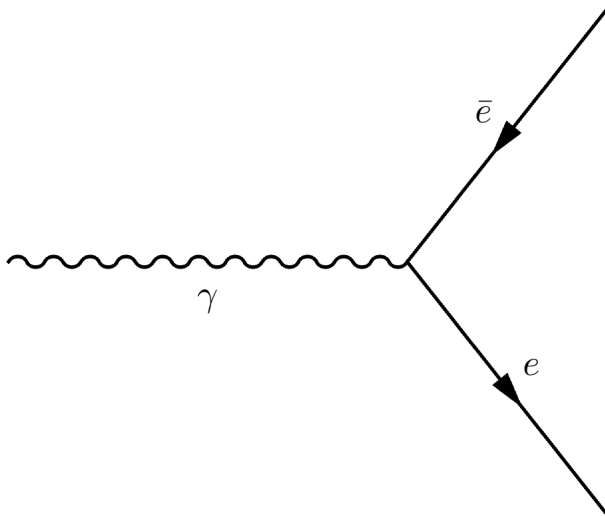


Propuestas

- Teorías de supersimetría
- Teoría de cuerdas
- Otras (p. ej. *Effective Field Theory*)

Refuerzo

Procesos de fondo: conversions



Elaboración del análisis

Triggers

- Cuatro bloques: ee , $e\mu$, $\mu\mu$, $+3l$.
- Eliminación del solapamiento del *trigger*:

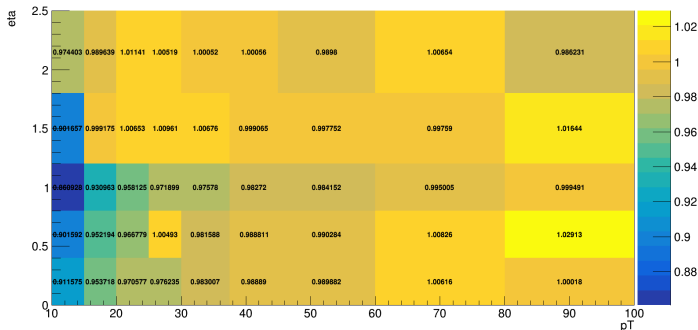
SingleMuon, SingleElec,
DoubleMuon, DoubleEG,
MuonEG.

	HLT paths
$\mu\mu$	HLT_Mu17_TrkIsoVVL_Mu8_TrkIsoVVL_DZ_v
	HLT_Mu17_TrkIsoVVL_TkMu8_TrkIsoVVL_DZ_v
	HLT_IsoMu22_v
	HLT_TkIsoMu22_v
	HLT_IsoMu24_v
ee	HLT_IsoTkMu24_v
	HLT_Ele23_Ele12_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_Ele27_WPTight_Gsf_v
	HLT_Ele25_eta2p1_WPTight_Gsf_v
$e\mu$	HLT_Ele27_eta2p1_WPLoose_Gsf_v
	HLT_Mu23_TrkIsoVVL_Ele8_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_v
	HLT_Mu23_TrkIsoVVL_Ele8_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_Mu8_TrkIsoVVL_Ele23_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_v
	HLT_Mu8_TrkIsoVVL_Ele23_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_IsoMu22_v
	HLT_TkIsoMu22_v
	HLT_IsoMu24_v
	HLT_IsoTkMu24_v
	HLT_Ele27_WPTight_Gsf_v
$3l/4l$	HLT_Ele25_eta2p1_WPTight_Gsf_v
	HLT_Ele27_eta2p1_WPLoose_Gsf_v
	HLT_DiMu9_Ele9_CaloidL_TrackIdL_v
	HLT_Mu8_DiEle12_CaloidL_TrackIdL_v
	HLT_Mu8_TripleMu_12_10_5_v
	HLT_Ele16_Ele12_Ele8_CaloidL_TrackIdL_v
	HLT_Mu23_TrkIsoVVL_Ele8_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_v
	HLT_Mu23_TrkIsoVVL_Ele8_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_Mu8_TrkIsoVVL_Ele23_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_v
	HLT_Mu8_TrkIsoVVL_Ele23_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_Ele23_Ele12_CaloidL_TrackIdL_IsoVL_DZ_v
	HLT_Mu17_TrkIsoVVL_Mu8_TrkIsoVVL_DZ_v
	HLT_Mu17_TrkIsoVVL_TkMu8_TrkIsoVVL_DZ_v
	HLT_IsoMu22_v
	HLT_TkIsoMu22_v
	HLT_IsoMu24_v
	HLT_IsoTkMu24_v
	HLT_Ele27_WPTight_Gsf_v
	HLT_Ele25_eta2p1_WPTight_Gsf_v
	HLT_Ele27_eta2p1_WPLoose_Gsf_v

Refuerzo

Factores de escala (*scale factors*)

- Coeficientes necesarios para ajustar las simulaciones por las condiciones particulares del detector
- En general, dependen del p_T y η de los leptones o *jets* seleccionados
- Factores empleados: de *pile-up*, identificación de muones y electrones y *trigger*



Preselección

- *Trigger*.
- Al menos dos leptones *tight*.
- Mínima masa transversal de leptones *loose*: 12 GeV.
- Al menos dos *jets*.
- Al menos dos *b-jets loose* o un *b-jet medium*.

2ISS

- Dos leptones *tight*.
- $p_T(1) > 25$. Ambos deben tener igual carga, y deben pasar el criterio de selección de *tight-charge*.
- Al menos cuatro *jets*.
- Si el subcanal es *ee*, la masa invariante de los dos leptones no debe estar en un entorno de 10 GeV de la del Z y se exige el criterio de selección $METLD > 0.2$.

- 3l
 - Tres leptones *tight*.
 - $p_T(1) > 25$.
 - Ningún par de leptones *loose* con masa cercana en menos de 10 GeV a m_Z .
 - $|\text{suma de cargas lep.}| = 1$.
 - Ningún par de OSSF con masa invariante ≤ 140 GeV.
 - Si hay menos de cuatro *jets*: $METLD > 0.2$, salvo que exista un OSSF de leptones *loose*, en cuyo caso $METLD > 0.3$.

- 4l
 - Cuatro o más leptones *tight*.
 - $p_T(1) > 25$.
 - Ningún par de leptones *loose* con masa cercana en menos de 10 GeV a m_Z .
 - Ningún par de OSSF con masa invariante ≤ 140 GeV.

Refuerzo

Estudio de los criterios de id. de leptones – WP de Lepton MVA