

# Estudio del proceso de producción del bosón de Higgs en asociación con un solo quark de tipo top en colisiones protón-protón del LHC

Hiram Ernesto Damian

*Avance de tesis, Programa de Maestría (DIFUS)*

*Dr. José Benítez Rubio (D), Dr. Jorge Gaspar Armenta (T),  
Dr. Marcelino Barboza Flores*

Universidad de Sonora

3 de Diciembre de 2018



# Tabla de contenido

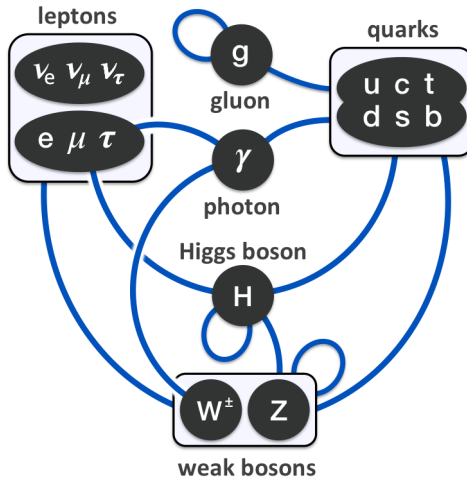
- 1 Introducción
  - Objetivo general
- 2 Motivación
  - Topología de eventos tH
- 3 Exploración de los datos de CMS
- 4 Selección de eventos
  - Discriminación de señal usando BDT
- 5 Resultados
- 6 Actividades
- 7 Resumen
- 8 Referencias



## Objetivo general

- Mediante este proyecto se investigará la producción del bosón de Higgs en asociación con un solo quark de tipo top (tH) en colisiones protón-protón con el experimento CMS del LHC. Este mecanismo de producción del bosón de Higgs no ha sido observado antes por ningún experimento.
- El entender la producción del bosón de Higgs, así como sus decaimientos son una parte importante del programa de física de los experimentos del laboratorio internacional CERN que intenta completar las pruebas para verificar el Modelo Estándar, la teoría de las partículas fundamentales.





# Mecanismo de producción

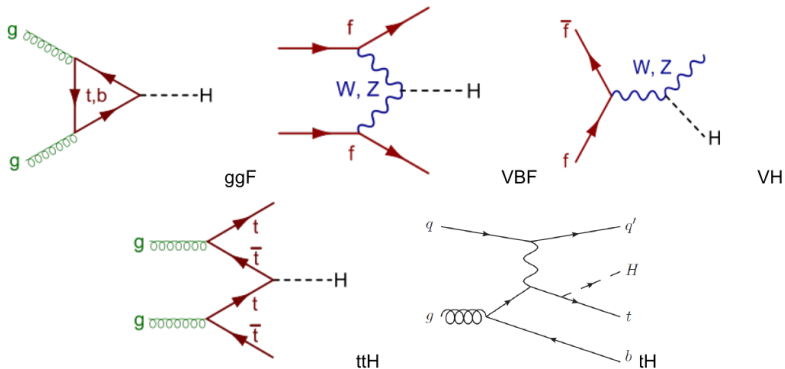


Figura: canales de producción del bosón de Higgs



# Mecanismo de producción

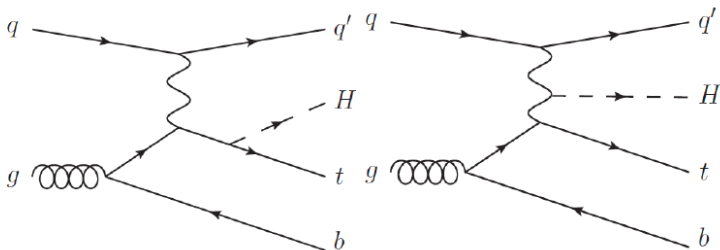


Figura: canales de producción TH

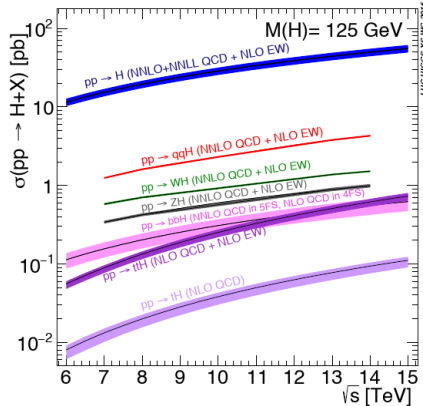


# Motivación

- Medición de acoplamientos es esencial para establecer la naturaleza del Higgs
- La exploración de producción de Higgs en el canal  $Th$  es tema relativamente nuevo.
- El estudio de  $tHq$  explora el signo relativo de top-Higgs y W-Higgs
- Mediciones de CMS y ATLAS son compatibles con SM.
- pequeñas desviaciones de las predicciones del SM podrán estar asociadas con física mas allá del modelo estándar (BSM)



# Canales de producción de Higgs

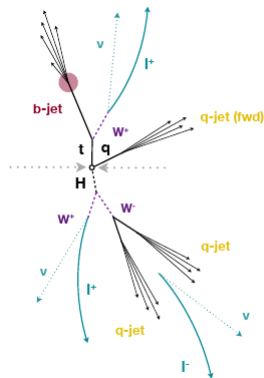




# Topología de eventos $t\bar{t}H$

Las características de la señal  $t\bar{t}H$ :

- un jet ligero hacia adelante
- un b-jet y un bosón W de decaimiento del top con  $W \rightarrow l\nu$
- Un bosón Higgs



# Exploración de los datos de CMS

- El análisis explota señales con dos leptones de mismo signos iguales y utiliza la muestra de datos recopilada de 2016  $\sqrt{s} = 13$  TeV que corresponde a una luminosidad integrada de  $35.9 \text{ fb}^{-1}$ .
- En este análisis, los métodos de reconstrucciones hacen difícil distinguir entre  $t\bar{t}H$  y  $t\bar{t}H$  porque la sección transversal efectiva de  $t\bar{t}H$  es mucho más alta que  $tH$  y algunos eventos pasan las selecciones diseñado para  $tH$ , la fracción de eventos de  $tH$  sobre  $tH + t\bar{t}H$  es 5 %.



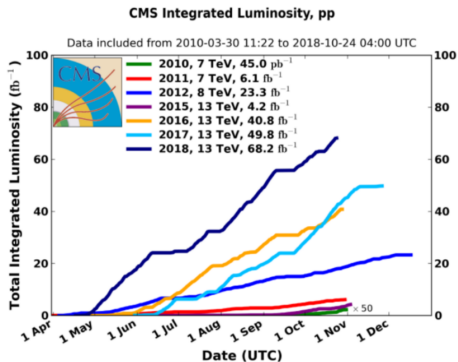


Figura: Datos acumulados en CMS



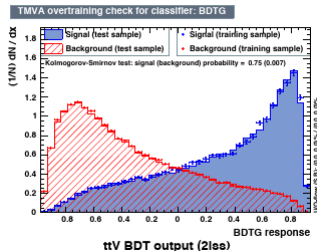
# Selección de eventos

- Los eventos se seleccionan aquellos que contienen dos leptones ( $\mu\mu$ ) con el mismo signo.
- Al utilizar un canal de dos leptones con el mismo signo, se seleccionan mayormente  $H \rightarrow WW$ . También se incluyen las contribuciones de  $H \rightarrow \tau\tau$ ,  $H \rightarrow ZZ$ .
- La principal estrategia de análisis es obtener una selección de eventos compatibles con ciertas características de la señal. Se requiere:
  - momento transversal  $p_T > 25$  y  $15$  GeV, para los muones.
  - un jet delantero con  $p_T > 40$  GeV,  $|\eta| > 2,4$
  - uno o más b-jets con ( $|\eta| < 2,4$ )



# BDT: Boosted decision tree

- Un árbol de decisión toma un conjunto de características de entrada y divide los datos de entrada recursivamente basado en esas características.
- El boosting es un método para combinar muchos aprendices débiles (árboles) en un clasificador fuerte.
- Algunas variables para BDT
  - momento transversal de los muones
  - Número de b-jets con  $|\eta| < 2,4$
  - Número de light jets



## Incertidumbres sistemáticas

Valores de las Incertidumbres sistemáticas en la normalización de los ruidos (Backgrounds):

- $t\bar{t}W$  : 12 %
- $t\bar{t}Z$  : 10 %
- $tZ, VVV, W^\pm W^\pm$  : 50 %
- $WZ$ : 50 %
- non-prompt lepton (Fakes) : 50 %



# Herramientas de análisis

- **ROOT** es un kit de herramientas de software científico modular. Proporciona todas las funcionalidades necesarias para tratar el procesamiento de grandes datos, el análisis estadístico, la visualización y el almacenamiento. Está escrito principalmente en C ++ pero integrado con otros lenguajes como Python y R.
- La biblioteca **RooFit** proporciona un conjunto de herramientas para modelar la distribución esperada de eventos en un análisis. Los modelos se pueden usar para realizar ajustes y producir gráficos para diversos estudios.



# Resultados

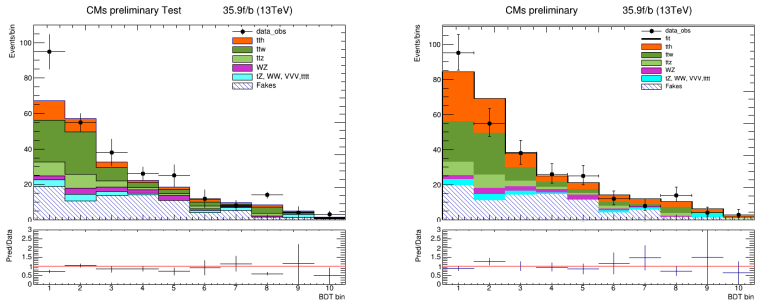


Figura 1. Pre-fit and post-fit BDT distributions.





# Resultados

Tabla 2. Tabla de número de eventos después de la selección y el ajuste para el canal de producción  $\mu\mu$  correspondiente a  $35.9\text{fb}^{-1}$  de luminosidad.

Process	Pre-fit	Post-fit
$t\bar{t}W^\pm$	$68.02 \pm 34.01$	$67.54 \pm 8.27$
$t\bar{t}Z$	$25.88 \pm 12.94$	$25.83 \pm 2.78$
$WZ$	$15.07 \pm 7.53$	$15.44 \pm 7.06$
$tZ, VVV, t\bar{t}t\bar{t}, W^\pm W^\pm$	$15.73 \pm 7.86$	$20.56 \pm 6.32$
non-prompt	$80.93 \pm 40.46$	$75.85 \pm 6.77$
$t\bar{t}h+th$	28.65	$69.70 \pm 22.45$
<b>Data</b>	<b>280</b>	



# Actividades realizadas

## Semestre 2018-2

- curso optativo de Física de partículas.
- Participación en XVIII Mexican School of Particles and Fields 2018, realizada en Hermosillo, Sonora.
- El estudio de los datos actuales y proyecciones para las diferentes fases del LHC, y con ello generar ajustes.
- Aprendizaje del lenguaje ROOT para análisis y ajuste de datos.

## Semestre 2019-1

- Continuar aprendizaje de las partículas elementales, su producción y decaimientos
- Finalizar análisis estadístico de los datos
- Escribir tesis



## Resumen

- Se ha estudiado los datos del canal de  $\mu\mu$  para la producción de  $t\bar{t}h$ .
- Al usar los datos de 2016 del experimento CMS, y luego de hacer un ajuste con las herramientas de Root y RooFit, obtenemos una cantidad de eventos de señal de  $70 \pm 22$  con una significancia aproximada de  $3\sigma$ .
- Se planea también estudiar la sensibilidad a  $tH$ , no solo la suma  $t\bar{t}H + tH$ , aplicando ajustes donde se separan los 2.
- Se agregarán sist'aticos que toman en cuenta variaciones en las distribuciones (shape systematics).



## Referencias








Measurements of the Higgs boson production and decay rates and constraints on its couplings from a combined ATLAS and CMS analysis of the LHC pp collision data at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV", J. High Energy Phys. 08 (2016) 045.



The ATLAS Collaboration, Search for produced in association with top quarks and constraints on the Yukawa coupling between the top quark and the Higgs boson using data taken at 7 TeV and 8 TeV with the ATLAS detector ", Physics Letters B 740 (2015) 222-242



-  The CMS collaboration, "Search for production of a Higgs boson and a single top quark in multilepton final states in proton collisions at 13 TeV", CMS-PAS-HIG-17- 005
-  The CMS collaboration, "Search for  $H \rightarrow b\bar{b}$  in association with a single top quark as a test of Higgs boson couplings at  $\sqrt{s} = 13$  TeV", CMS-PAS-HIG-16-019
-  Griffiths, D. *Introduction to elementary Particles* John Willey & sons. Second edition, 2008
-  Cowan, G *Statistical data analysis* Oxford University Press 1998.
-  Gross, F. *Relativistic Quantum Mechanics and field theory*, Willey 1994.

