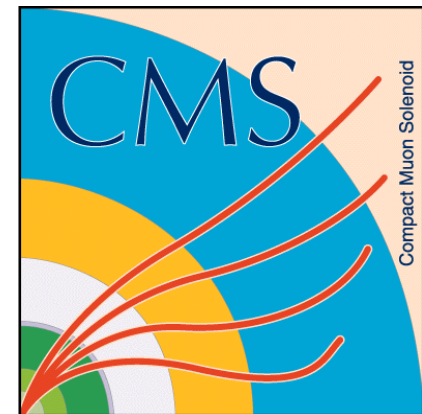
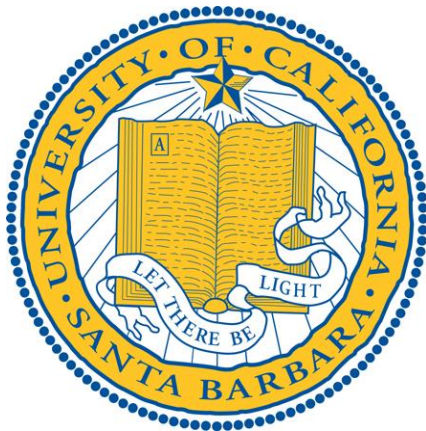


# Búsqueda de producción de pares de squark top

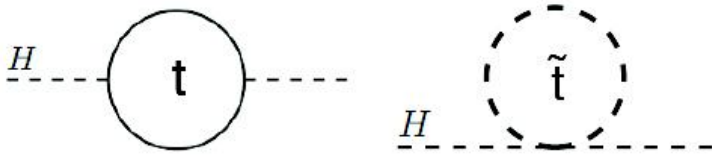
R. Magaña-Villalba

UCSB

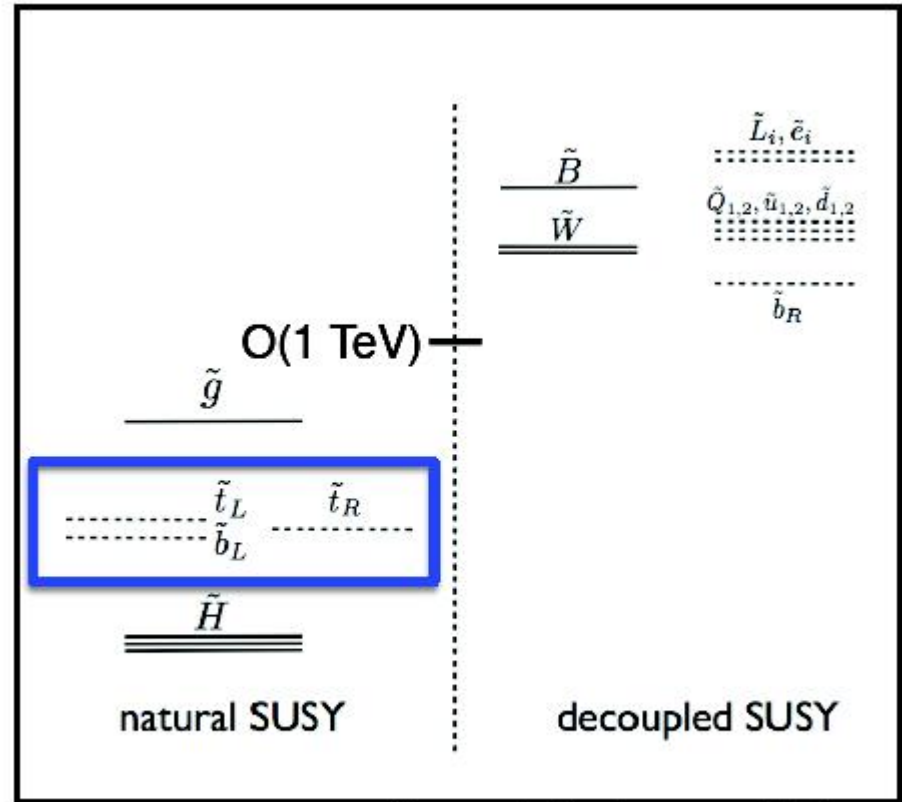


# Motivation

- "Natural SUSY" resuelve el problema de jerarquía mediante squarks top ligeros que cancelan las correcciones radiativas del quark top a la masa del Higgs.



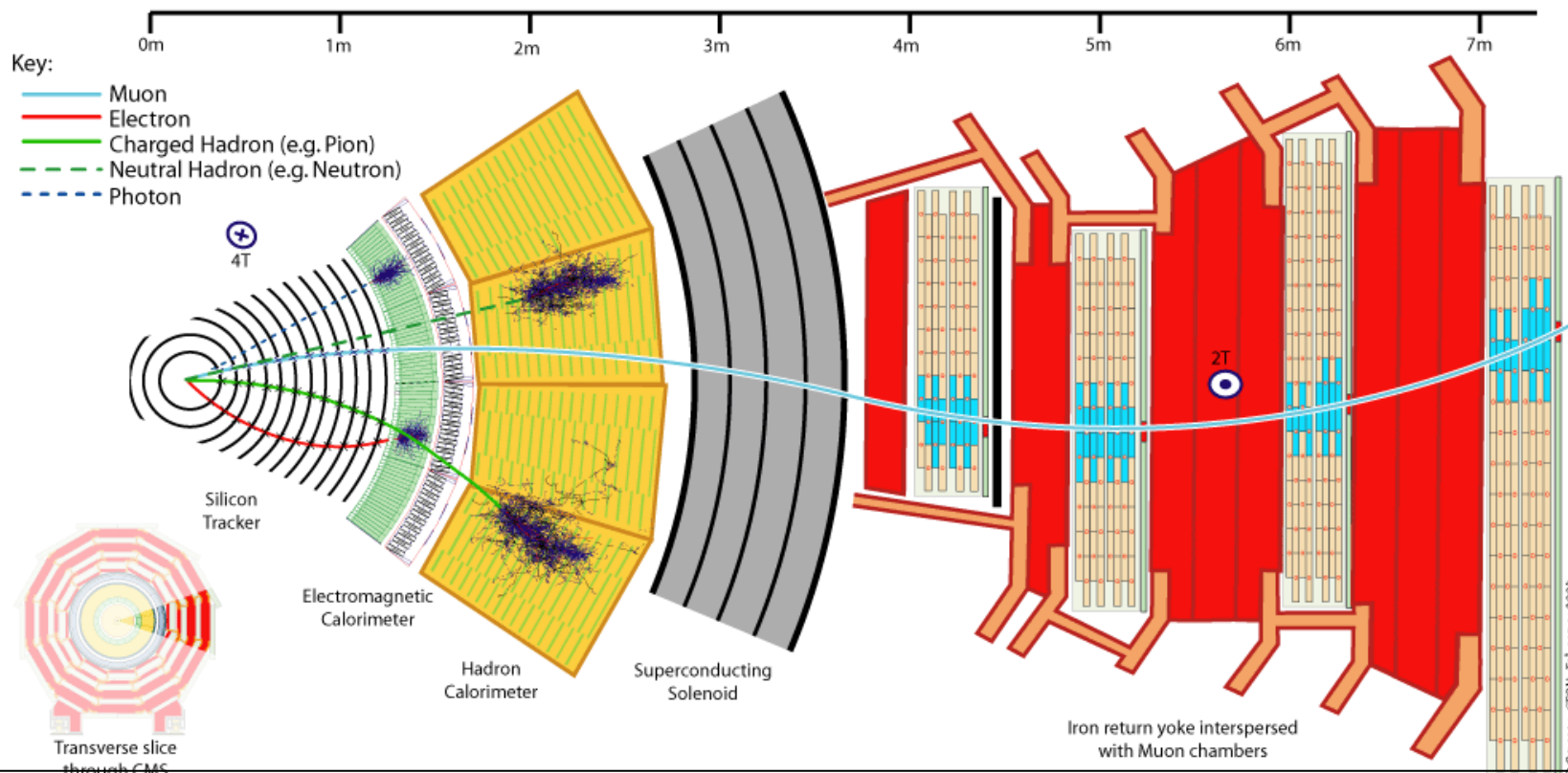
- Búsqueda directa de producción de pares de squark top.



Papucci, Ruderman, Weiler  
CERN-PH-TH/265

# CMS Detector

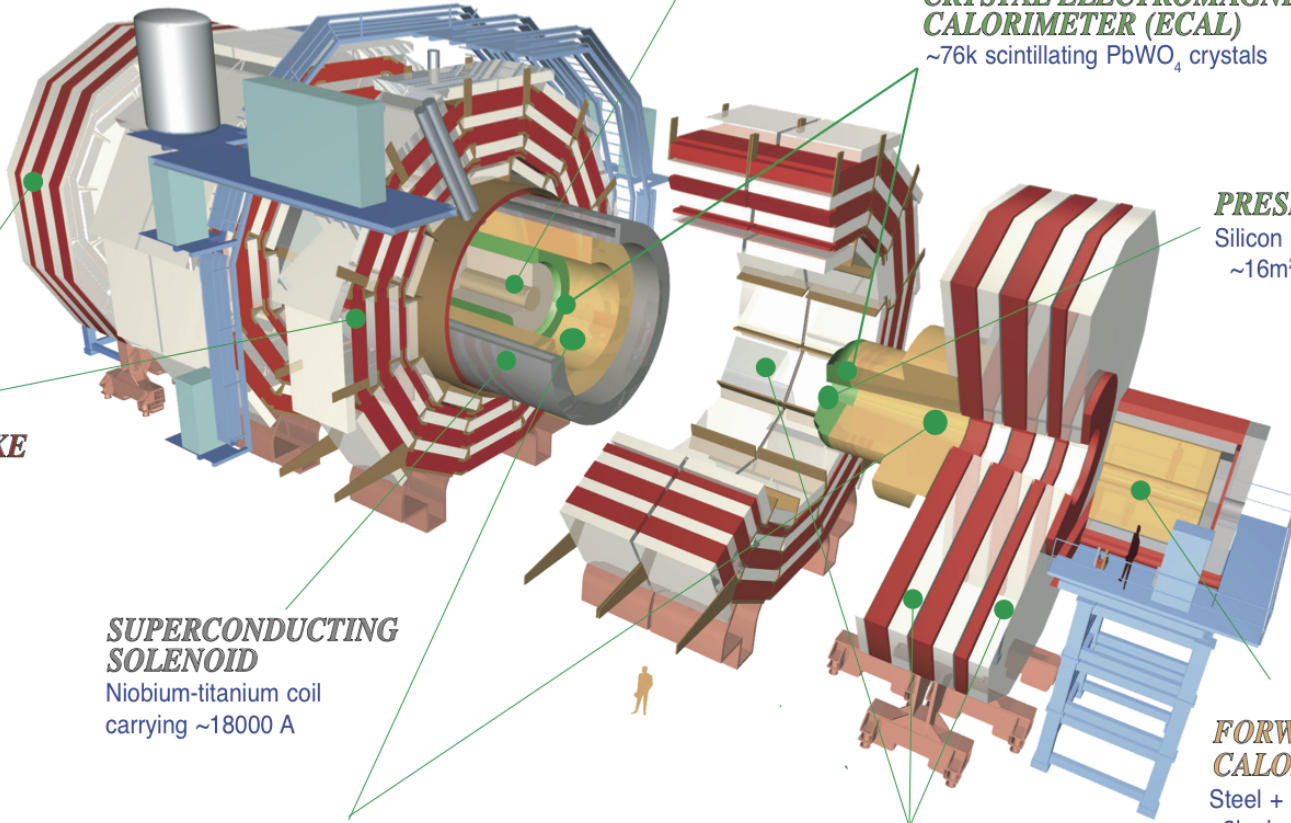
CMS es un detector de propósito general ubicado en el P5 del LHC en el CERN



# CMS Detector

## CMS Detector

Pixels  
Tracker  
ECAL  
HCAL  
Solenoid  
Steel Yoke  
Muons



**SILICON TRACKER**  
Pixels (100 x 150  $\mu\text{m}^2$ )  
~1m<sup>2</sup> ~66M channels  
Microstrips (80-180 $\mu\text{m}$ )  
~200m<sup>2</sup> ~9.6M channels

**CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)**  
~76k scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

**PRESHOWER**  
Silicon strips  
~16m<sup>2</sup> ~137k channels

**STEEL RETURN YOKE**  
~13000 tonnes

**SUPERCONDUCTING SOLENOID**  
Niobium-titanium coil  
carrying ~18000 A

**HADRON CALORIMETER (HCAL)**  
Brass + plastic scintillator  
~7k channels

**FORWARD CALORIMETER**  
Steel + quartz fibres  
~2k channels

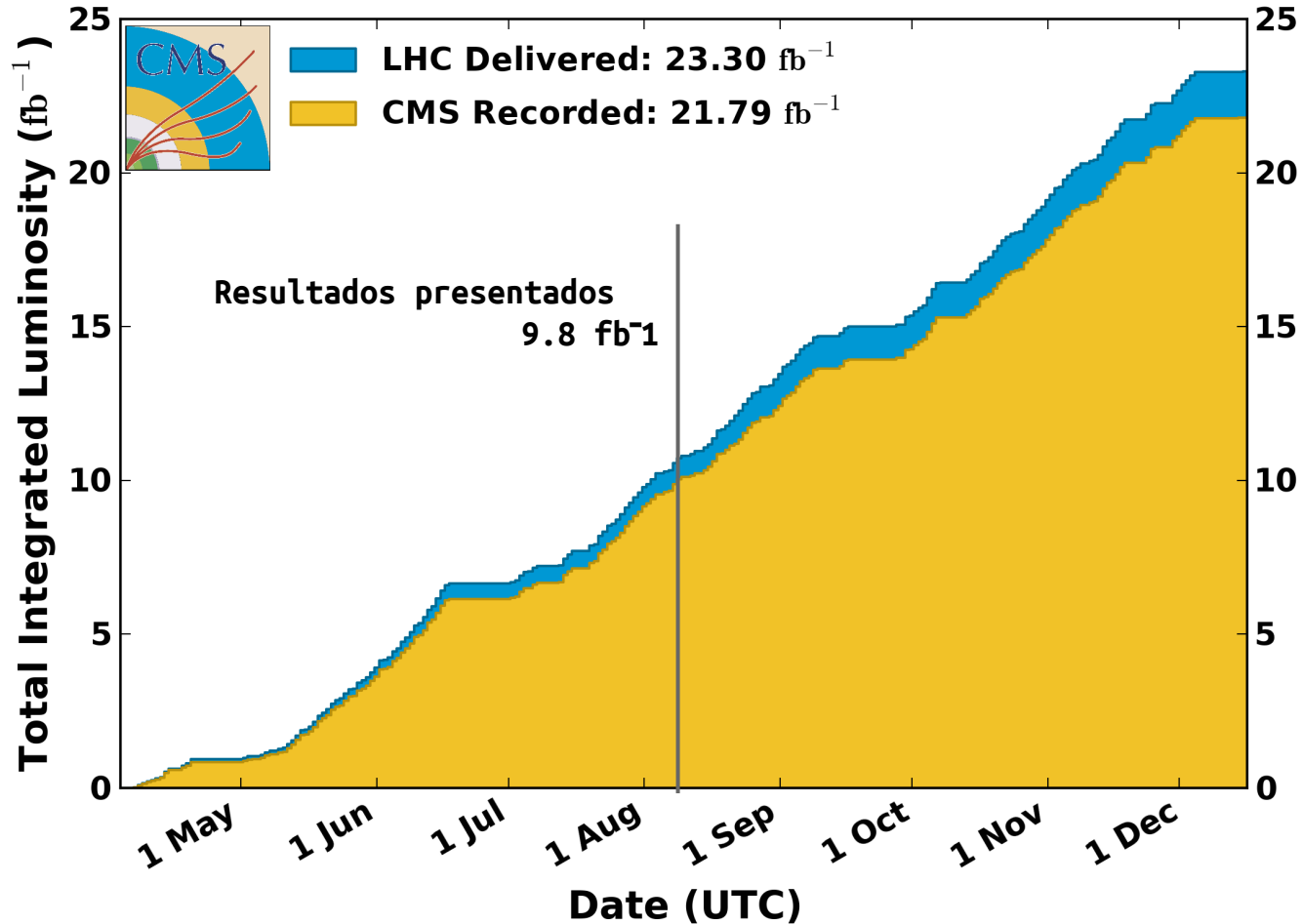
**MUON CHAMBERS**  
Barrel: 250 Drift Tube & 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip & 432 Resistive Plate Chambers

**Total weight : 14000 tonnes**  
**Overall diameter : 15.0 m**  
**Overall length : 28.7 m**  
**Magnetic field : 3.8 T**

# Luminosidad integrada

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

Data included from 2012-04-04 22:37 to 2012-12-16 20:49 UTC

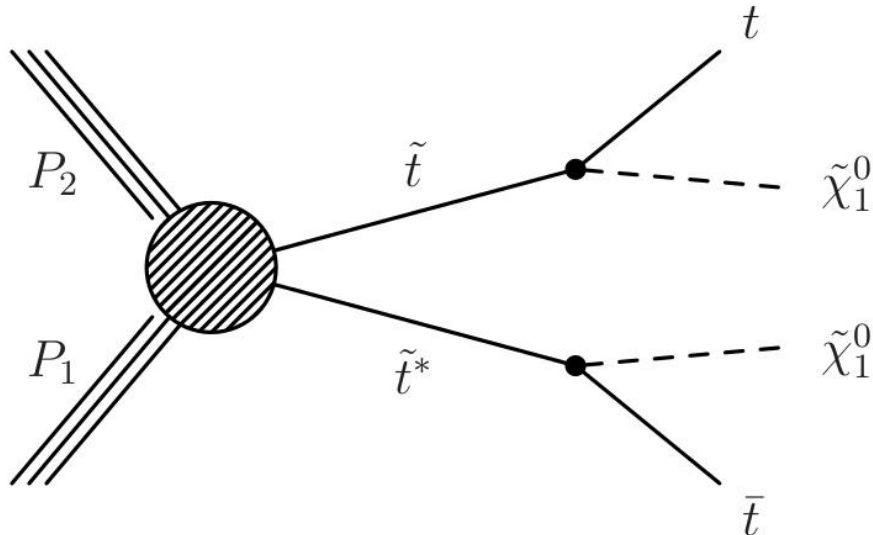


# Signature & Strategy

- Producción de pares de squark top
- **Modos de decaimiento del stop:**

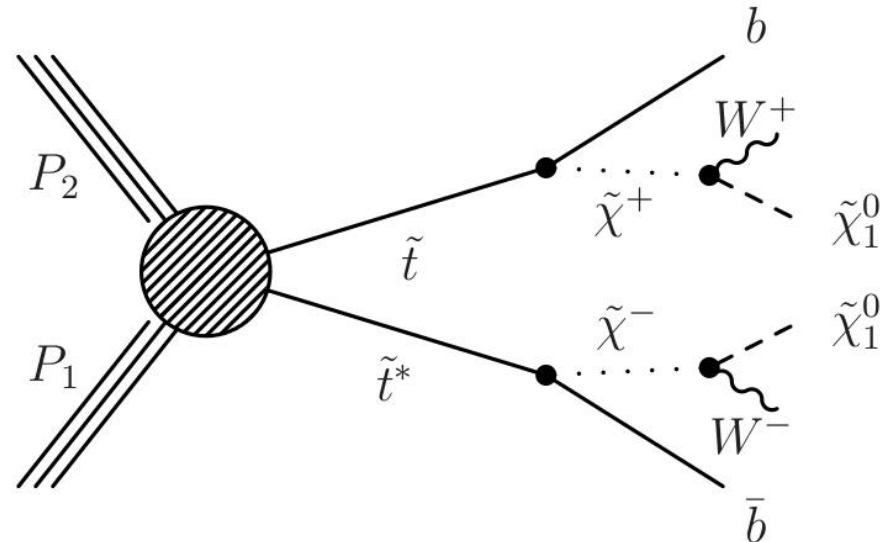
$$m(\tilde{t}) > m(t) + m(\chi^0), \tilde{t} \rightarrow t\chi^0$$

$$\tilde{t}\tilde{t} \rightarrow t\bar{t}\chi^0\chi^0$$



$$m(\tilde{t}) < m(t) + m(\chi^0), \tilde{t} \rightarrow b\chi^\pm$$

$$\tilde{t}\tilde{t} \rightarrow b\bar{b}\chi^+\chi^- \rightarrow b\bar{b}W^+W^-\chi^0\chi^0$$

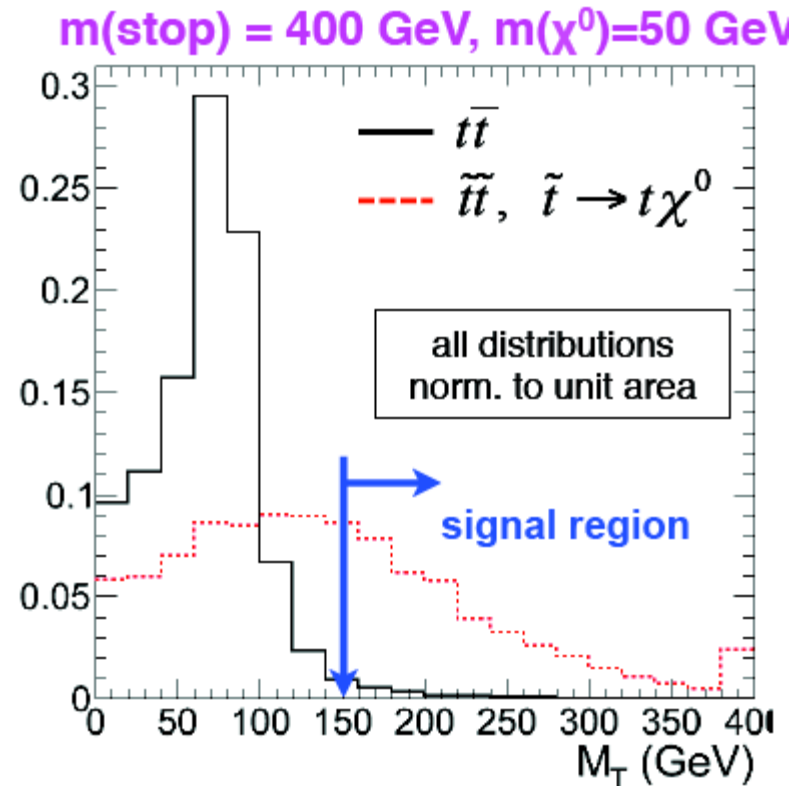


**1 lepton +  $\geq$  4 jets (1 b-jet) + MET**

El canal semileptónico tiene gran fracción de decaimiento y suprime el ruido de QCD

# Signature & Strategy

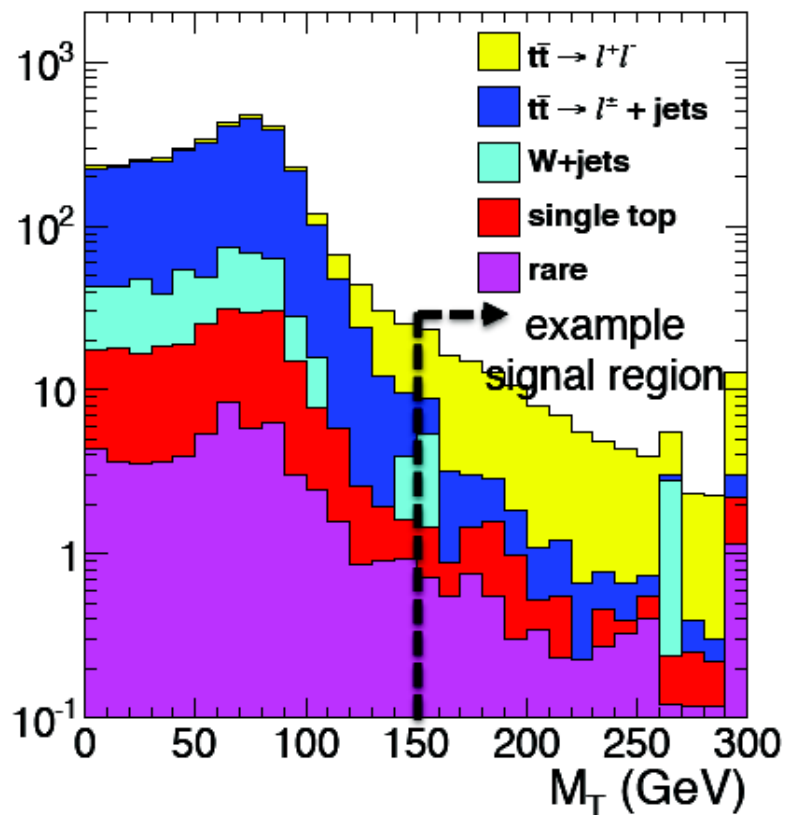
- Seleccionar eventos con 1 lepton  $\geq 4$  jets (1b-tag) y Energía perdida.
  - Ruido:  $ll \rightarrow l + \text{jets}$ ,  $W + \text{jets} \rightarrow M_T(l, \nu) < M_W$
- Reducir ruido al pedir grande  $M_T$ 
  - $tt \rightarrow ll$  se convierte en el ruido principal  $\rightarrow$  reducir al aplicar un veto a eventos con un track aislado.
- Definir regiones de señal a través de cortes en la Energía perdida
- El ruido es estimado de MC después de normalizar con datos en las regiones de control
- Búsqueda de un exceso de eventos "Cut and Count"



# Selection and Bkg Estimation

- Definimos diferentes regiones de señal para ser sensibles a diferentes masas del stop y/o del neutralino.
- Regiones definidas por diferentes cortes en  $M_T(l, \nu)$  y MET
- Diferentes ruidos siguen presentes en la región de señal, principal ruido es  $tt \rightarrow l+l-$
- "Blind" Analysis**

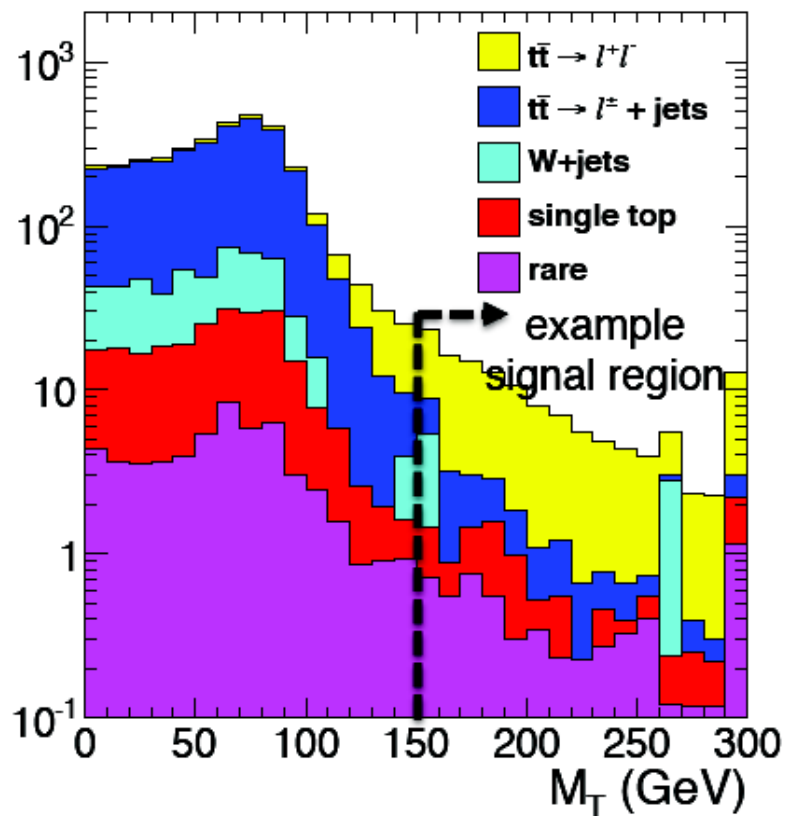
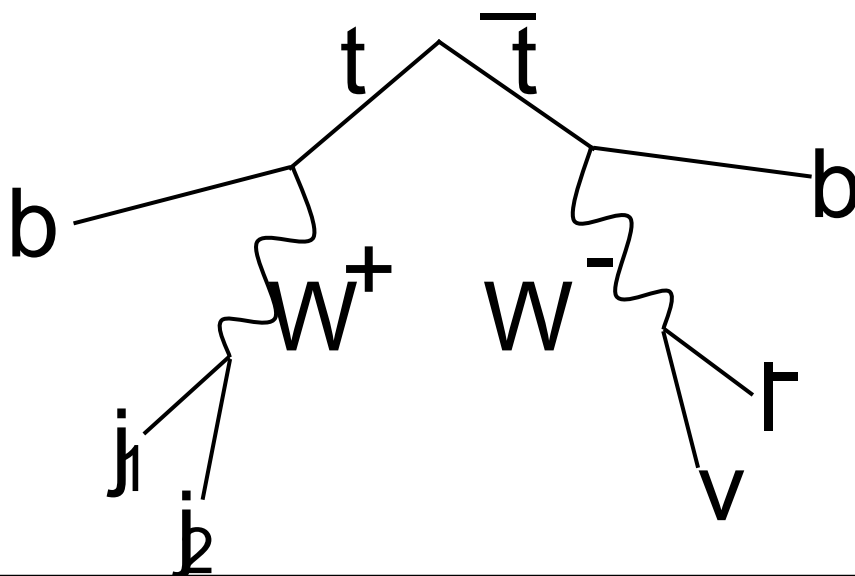
Signal Region	Minimum $M_T$ [GeV]	Minimum $E_T^{\text{miss}}$ [GeV]
SRA	150	100
SRB	120	150
SRC	120	200
SRD	120	250
SRE	120	300
SRF	120	350
SRG	120	400





# Selection and Bkg Estimation

- $tt \rightarrow l+l-$  (~75-80% del total)
  - Dominante después del corte en  $M_T$
  - Suprimido por un veto en eventos con un track aislado
  - Diferentes categorías dependiendo como se "pierde" el segundo lepton
  - Fuera de aceptación  $\eta > 2.5$   $p_T < 10$  GeV
  - Fallo de la isolation
  - $\tau \rightarrow 1$ -prong
  - $\tau \rightarrow 3$ -prong



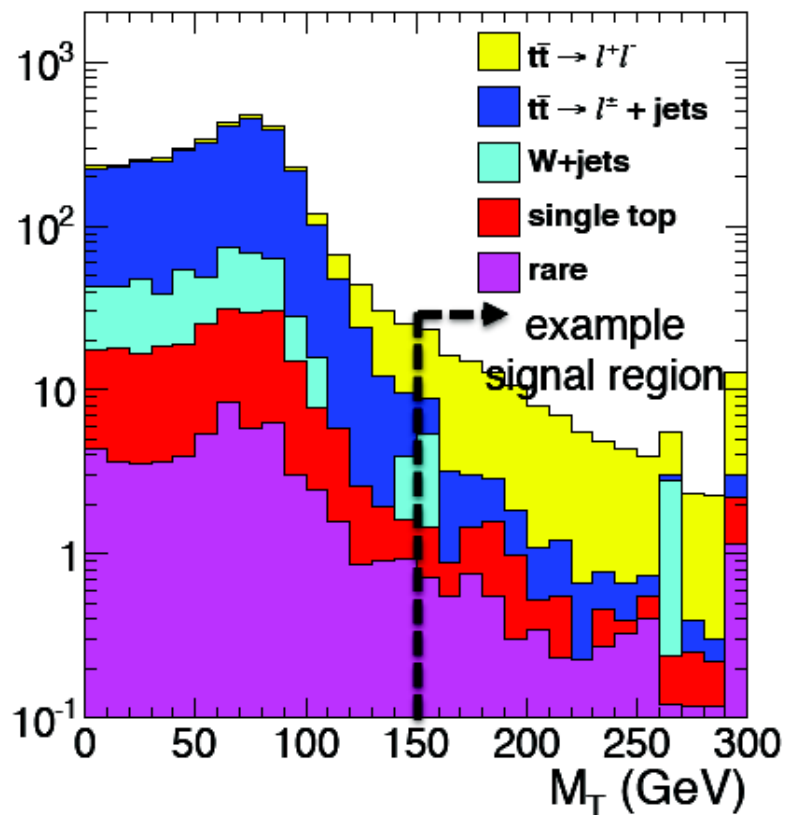
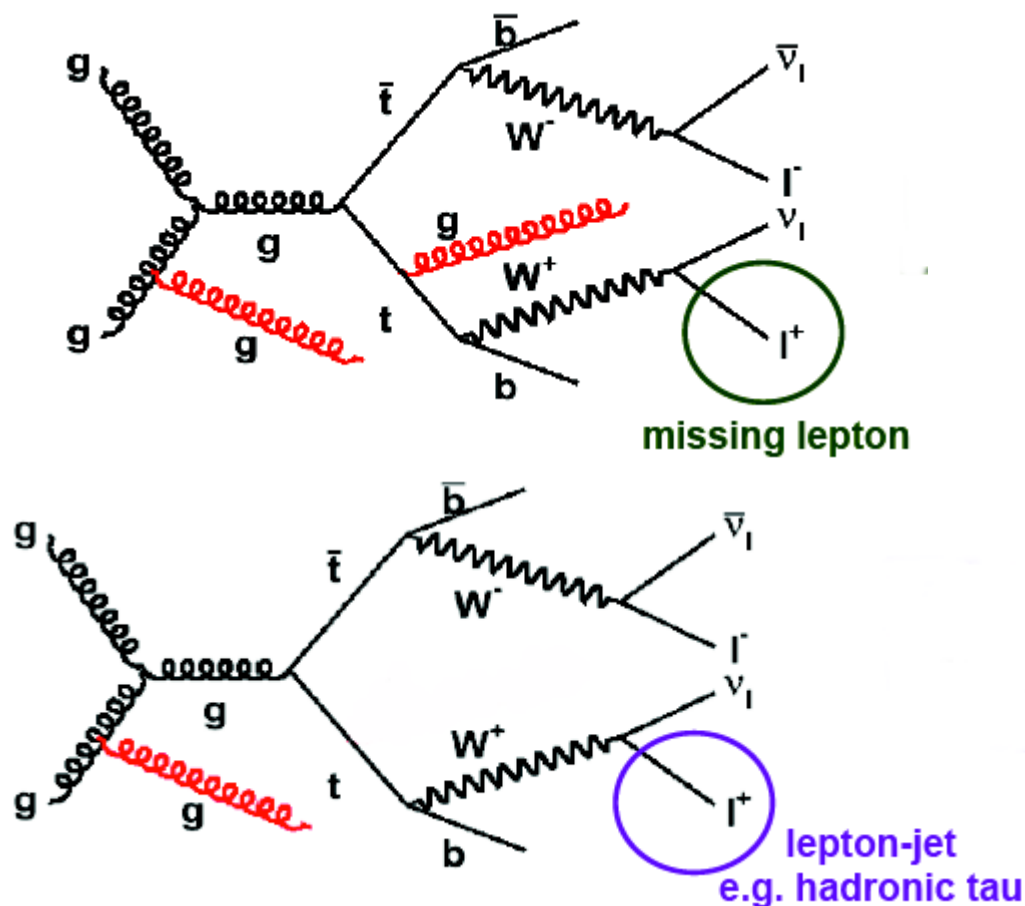
# Selection and Bkg Estimation

- **Single lepton ( ~15-20% del total)**

- Ruidos con  $W \rightarrow l\nu \rightarrow MT(l,\nu) < MW$
- Contribuciones  $\rightarrow$  producción de  $W$  off-shell,
- Efectos de resolución de jets

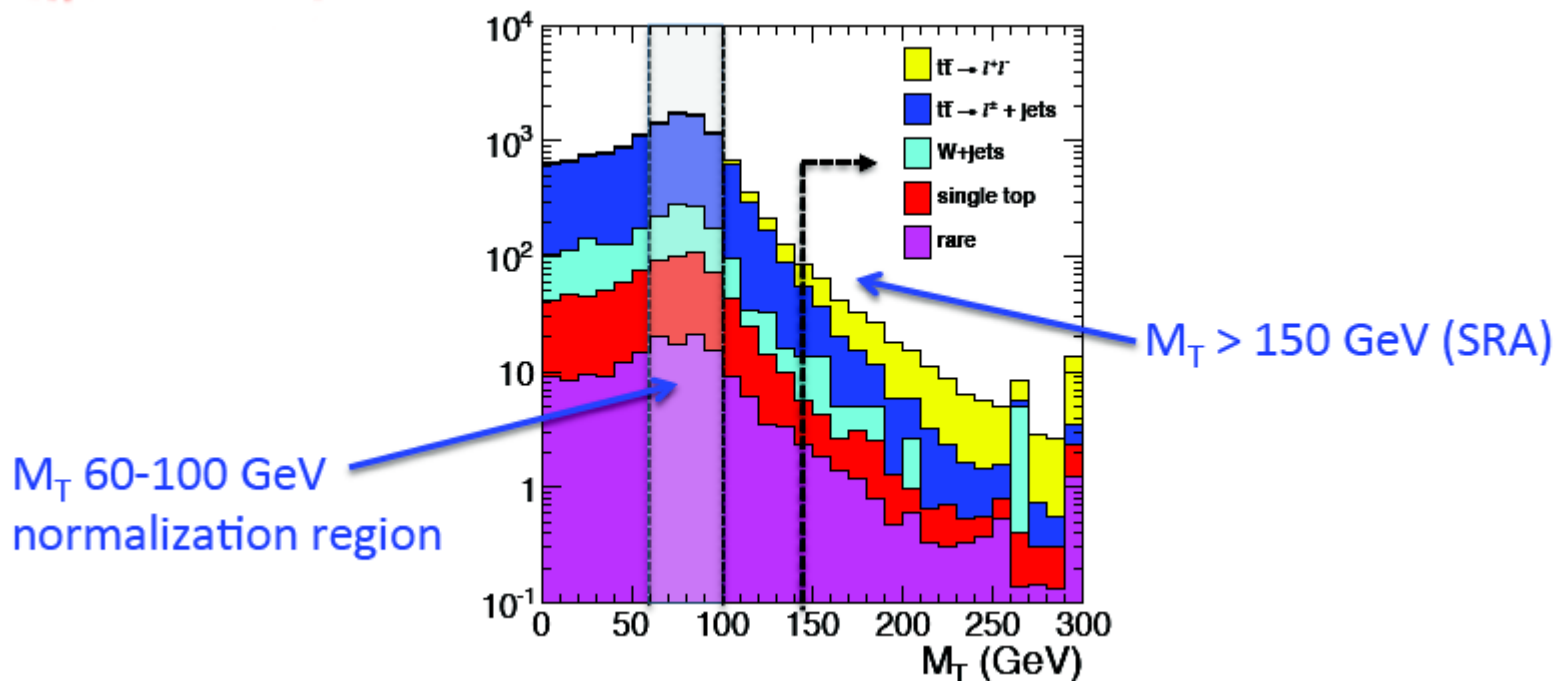
- **Rare (~5% del total)**

- $t\bar{t}V$ (principal),  $VV$ ,  $VVW$ ,  $tW$ ,  $Z$ +jets
- Estimación de Monte Carlo con 50% incertidumbre
- **Ruido de QCD es despreciable**



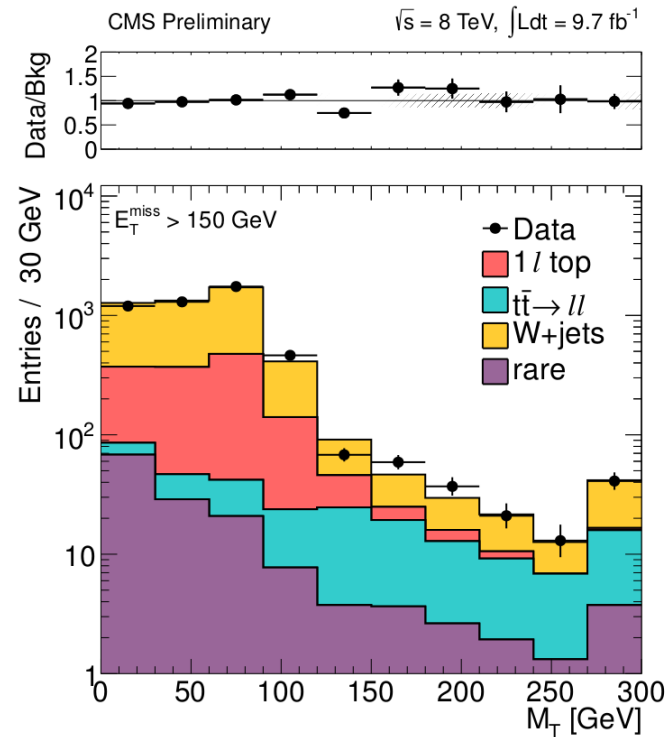
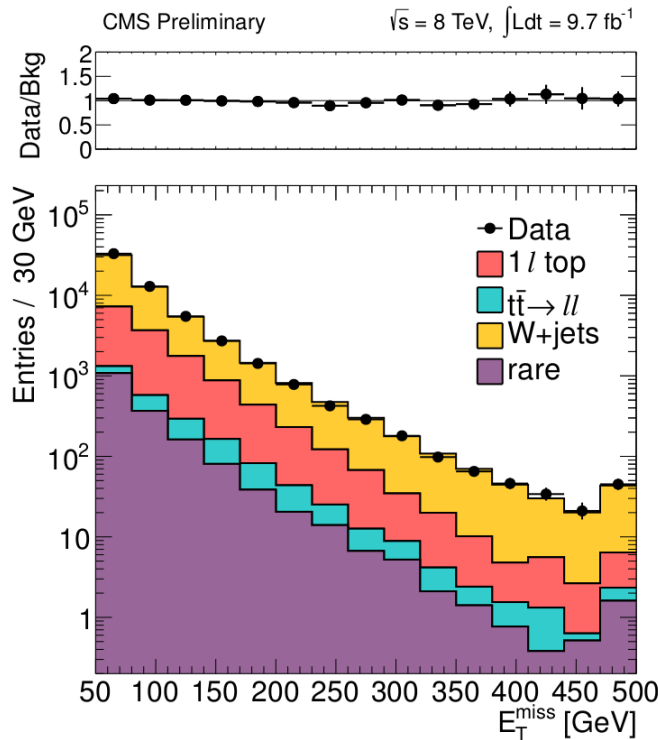
# Selection and Bkg Estimation

- Ruido "Rare" suficientemente pequeño para ser predicho por el MC con 50% de incertidumbre.
- **tt dilepton y w+jets es normalizado usando los datos en la región de  $M_T(L, MET) \sim MW$ .**
- Se definen regiones de control:
  - CR1 requerimos 0 b-jets, dominado por W+jets
  - CR5 invertimos el veto a tracks aislados, dominado por ttbar dilepton



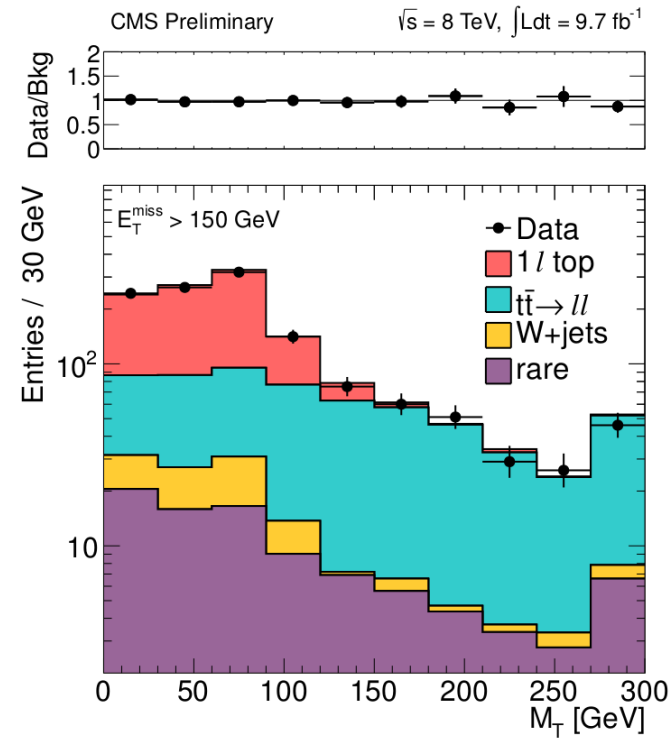
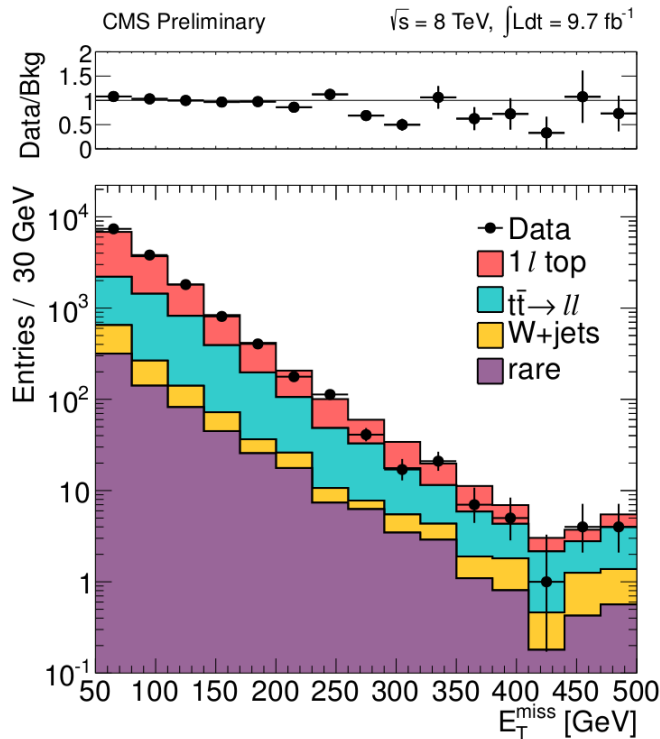
# CR1 0 b-jets (dominado por W+jets)

Esta región de control nos permite comparar la modelación del Monte Carlo de W+jets con los datos.



# CR5 track aislado (dominado por $tt \rightarrow l+l-$ )

Esta region nos permite comparar el Monte Carlo de  $t\bar{t}$  dilepton.



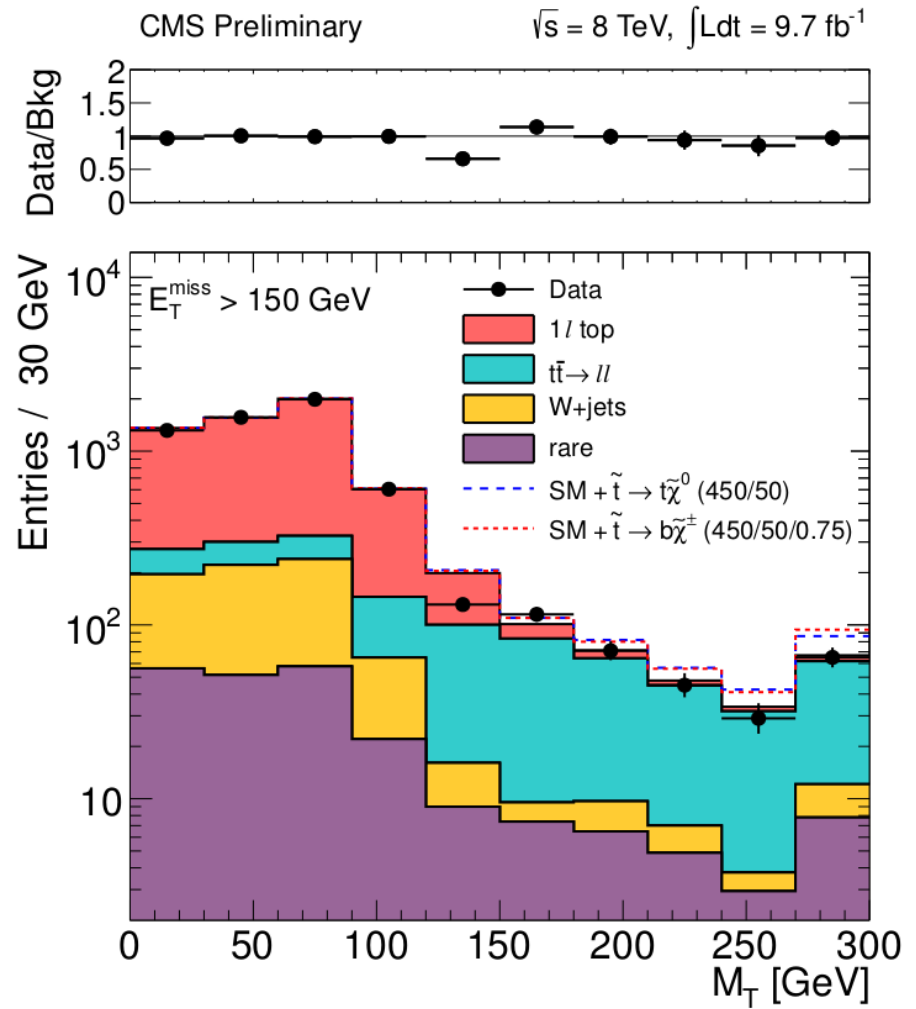
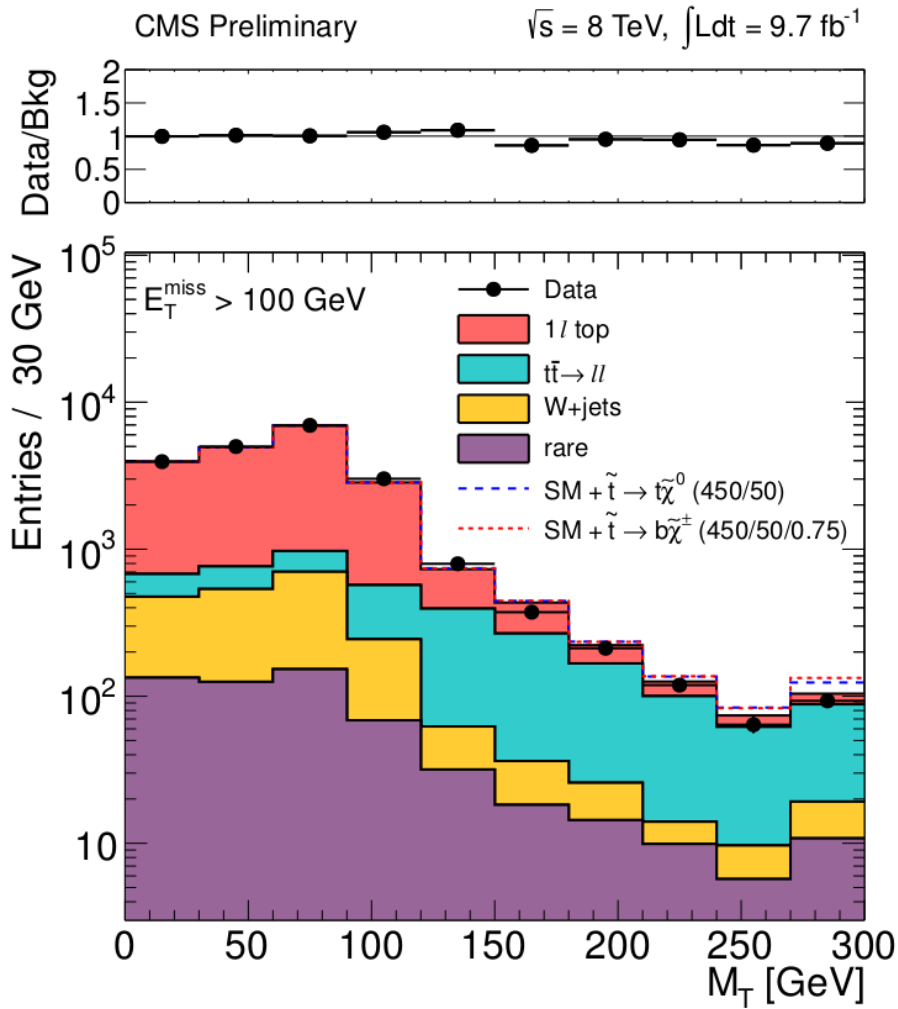
# Otras correcciones al Monte Carlo

- **Step 0) Correct madgraph for incorrect BF( $W \rightarrow \ell\nu$ ) (!!!)**
  - BF( $W \rightarrow \ell\nu$ ) is wrong in Madgraph and MC@NLO
  - Alters  $t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$  /  $t\bar{t} \rightarrow \ell$ +jets ratio by 4%
- **Step 1) Correct for (possible) mis-modeling of ISR/FSR jets**
  - Additional ISR/FSR jets required to pass  $n_{\text{jets}} \geq 4$  requirement
  - Apply correction factors based on data/MC comparison in  $t\bar{t}$  dilepton control sample
  - Reduces  $t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$  prediction by  $\sim 15\%$
- **Step 2) Overall background normalization**
  - Based on  $M_T$  peak region, **before** application of isolated track veto  $\rightarrow$  requires that isolated track veto efficiency is well-reproduced in MC (see step 4)
  - Reduces  $t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$  prediction by 8% (SRA), 15% (SRB)
- **Step 3) Estimate theoretical/modeling uncertainties with various generators**
  - Madgraph (nominal) vs. MCatNLO vs. Powheg vs. Pythia
  - Very top mass,  $Q^2$  scale, ME-PS matching parameters, PDF/ $\alpha_s$
  - Resulting uncertainty: 7% (SRA), 12% (SRB)
- **Step 4) Estimate uncertainties from reconstruction effects**
  - Isolated track veto efficiency uncertainty is dominant  $\rightarrow$  compare data vs. MC with Z T&P
  - Resulting uncertainty: 7%

# Errores sistemáticos

Source	SRA	SRB	SRC	SRD	SRE	SRF	SRG
$M_T$ peak data and MC (stat)	0.9	1.7	2.9	4.7	7.0	10.1	15.4
$W$ +jets cross-section	1.7	2.3	3.0	3.9	4.3	4.3	5.1
$K_3$ and $K_4$ $N_{\text{jets}}$ scale factors	1.9	2.0	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
$t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$ (CR4 and CR5 tests)	3.1	6.5	10.3	17.3	26.1	24.7	24.5
2nd lepton veto	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2
$t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$ (stat)	1.2	1.6	3.0	5.1	7.4	11.1	13.6
top tail-to-peak ratio	12.5	8.7	8.5	6.5	7.7	9.5	6.0
$W$ +jets tail-to-peak ratio	6.4	5.2	5.7	6.6	9.6	13.3	17.6
rare cross-sections	2.0	2.2	3.2	4.9	6.4	6.2	7.6
total	14.9	12.9	15.9	21.8	31.7	34.2	38.2

# Results





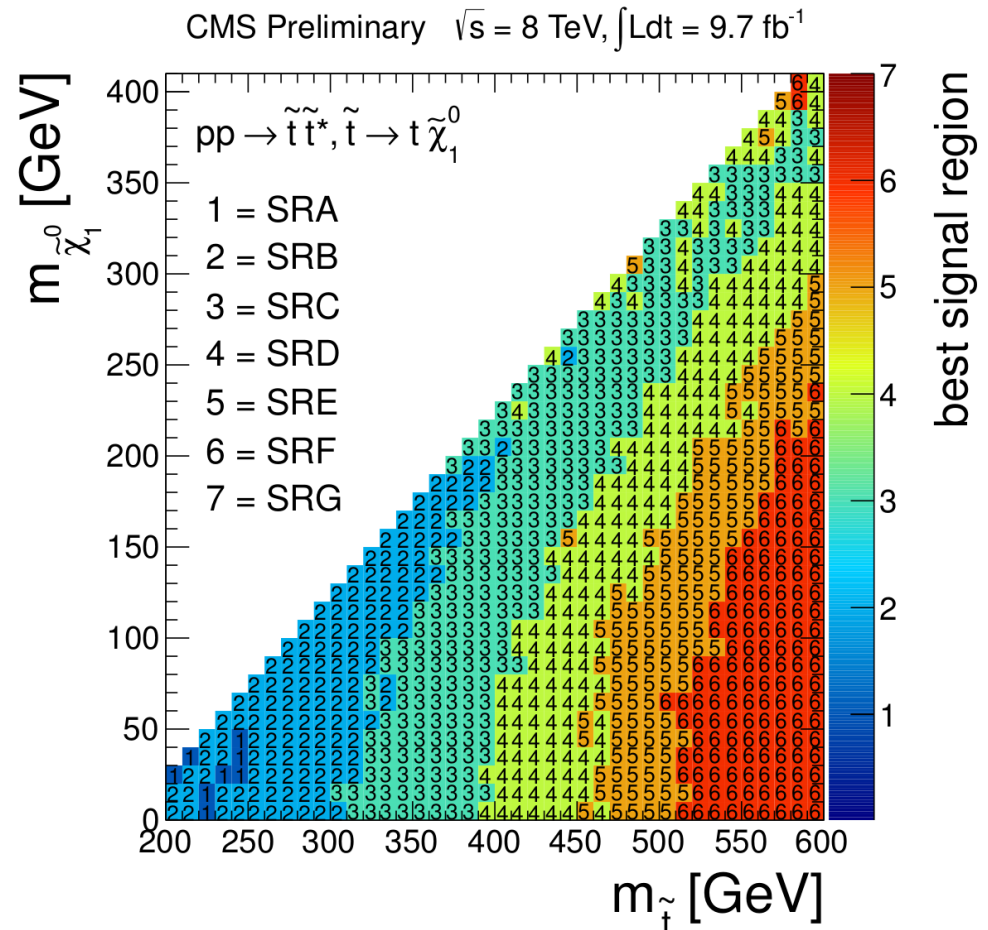
# Results

Sample	SRA	SRB	SRC	SRD	SRE	SRF	SRG
Muon							
$t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$	$331 \pm 22$	$183 \pm 21$	$59.5 \pm 10.0$	$23 \pm 6$	$9.0 \pm 3.9$	$3.7 \pm 1.8$	$2.2 \pm 1.2$
$t\bar{t} \rightarrow \ell + \text{jets \& single top } (1\ell)$	$148 \pm 75$	$67.9 \pm 28.9$	$16.1 \pm 9.1$	$4.7 \pm 3.2$	$1.8 \pm 1.6$	$0.9 \pm 0.9$	$0.4 \pm 0.5$
W+jets	$19.2 \pm 4.5$	$10.0 \pm 2.2$	$3.11 \pm 0.98$	$1.2 \pm 0.6$	$0.6 \pm 0.4$	$0.4 \pm 0.3$	$0.2 \pm 0.2$
Rare	$33.2 \pm 16.6$	$22.7 \pm 11.4$	$9.00 \pm 4.50$	$4.8 \pm 2.4$	$2.9 \pm 1.5$	$1.2 \pm 0.6$	$1.0 \pm 0.5$
Total	$531 \pm 80$	$284 \pm 37$	$87.7 \pm 14.2$	$33 \pm 7$	$14 \pm 5$	$6.1 \pm 2.1$	$3.8 \pm 1.4$
Data	494	254	76	31	8	2	1
Electron							
$t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$	$248 \pm 17$	$144 \pm 17$	$51.1 \pm 8.8$	$16 \pm 5$	$5.5 \pm 2.5$	$2.5 \pm 1.3$	$1.3 \pm 0.7$
$t\bar{t} \rightarrow \ell + \text{jets \& single top } (1\ell)$	$108 \pm 55$	$51.8 \pm 22.1$	$12.9 \pm 7.3$	$3.0 \pm 2.0$	$1.2 \pm 1.1$	$0.7 \pm 0.7$	$0.4 \pm 0.5$
W+jets	$14.3 \pm 3.3$	$7.50 \pm 1.66$	$2.43 \pm 0.77$	$0.8 \pm 0.4$	$0.4 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.2$	$0.1 \pm 0.2$
Rare	$25.8 \pm 12.9$	$15.8 \pm 7.9$	$7.10 \pm 3.55$	$2.9 \pm 1.5$	$0.7 \pm 0.4$	$0.3 \pm 0.2$	$0.1 \pm 0.1$
Total	$396 \pm 59$	$219 \pm 29$	$73.5 \pm 11.9$	$23 \pm 5$	$7.8 \pm 2.7$	$3.9 \pm 1.5$	$1.9 \pm 0.9$
Data	367	202	74	30	15	7	2
Muon+Electron Combined							
$t\bar{t} \rightarrow \ell\ell$	$579 \pm 38$	$328 \pm 37$	$111 \pm 18$	$39 \pm 10$	$14 \pm 6$	$6.2 \pm 2.9$	$3.5 \pm 1.8$
$t\bar{t} \rightarrow \ell + \text{jets \& single top } (1\ell)$	$256 \pm 131$	$120 \pm 51$	$29.0 \pm 16.4$	$7.7 \pm 5.1$	$3.1 \pm 2.7$	$1.7 \pm 1.6$	$0.8 \pm 1.0$
W+jets	$33.5 \pm 8.2$	$17.5 \pm 4.5$	$5.54 \pm 1.98$	$2.0 \pm 1.0$	$1.0 \pm 0.7$	$0.7 \pm 0.6$	$0.3 \pm 0.4$
Rare	$59.0 \pm 29.5$	$38.5 \pm 19.3$	$16.1 \pm 8.1$	$7.7 \pm 3.9$	$3.6 \pm 1.8$	$1.5 \pm 0.8$	$1.1 \pm 0.6$
Total	$927 \pm 138$	$504 \pm 65$	$161 \pm 26$	$56 \pm 12$	$22 \pm 7$	$10 \pm 3$	$5.7 \pm 2.2$
Data	861	456	150	61	23	9	3

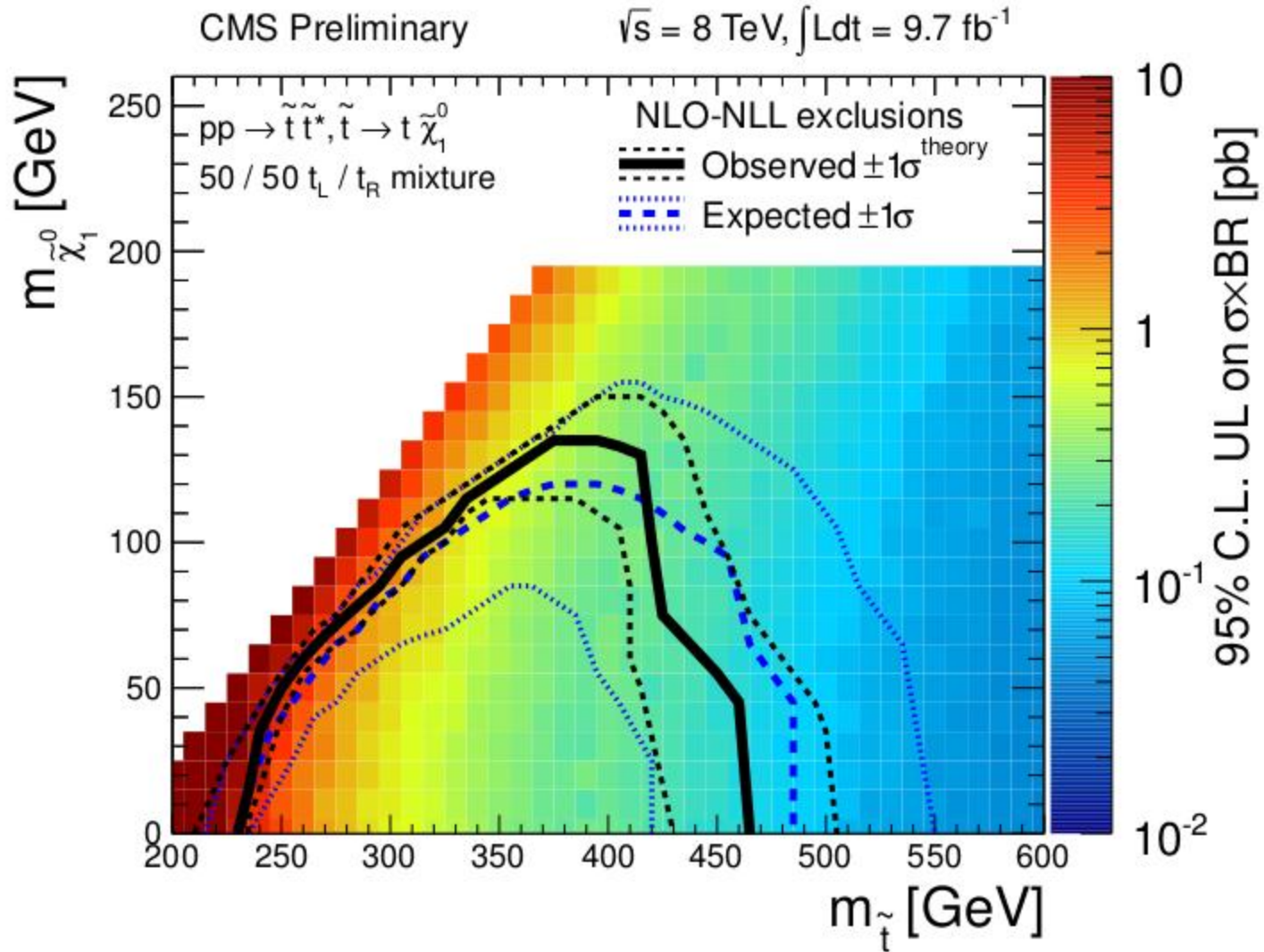
**No se observa un exceso de eventos**

# Limits $t \rightarrow t X_0$

- Dado que no se observa ningún exceso de eventos calculamos el límite de la sección eficaz, esto depende del modelo que escojamos.
- Calculamos el limite esperado para cada valor de  $m_{\text{stop}}$  y  $m_{\text{LSP}}$ .
- Utilizamos la región que de el mejor límite para calcular el límite observado.



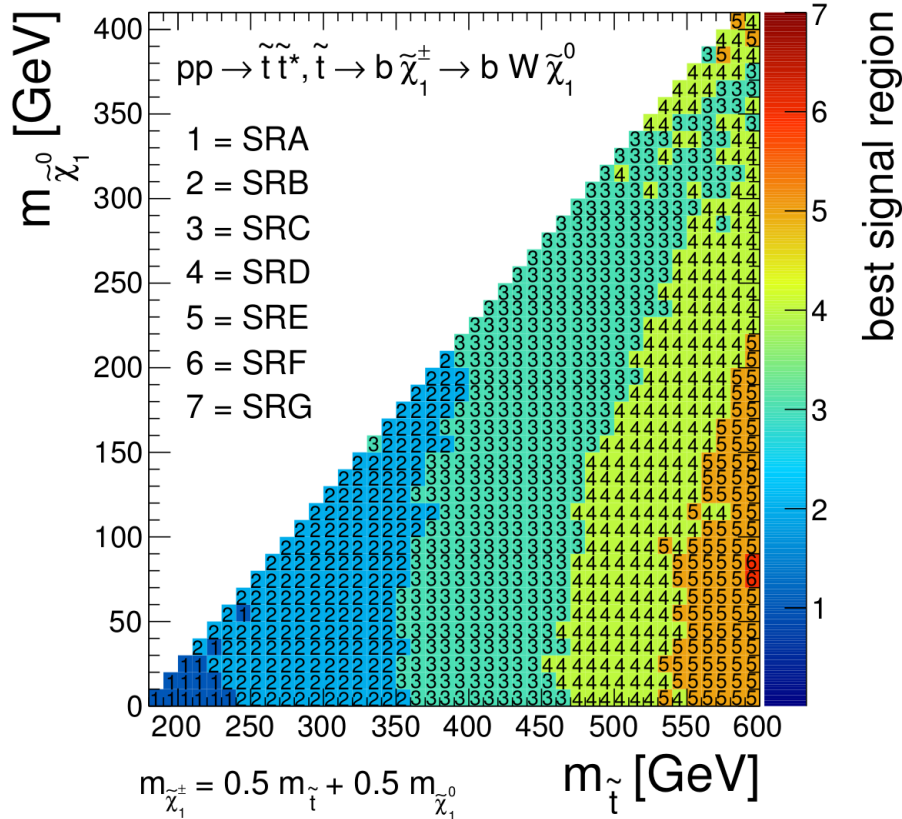
# Limits $t \rightarrow t \chi_0$



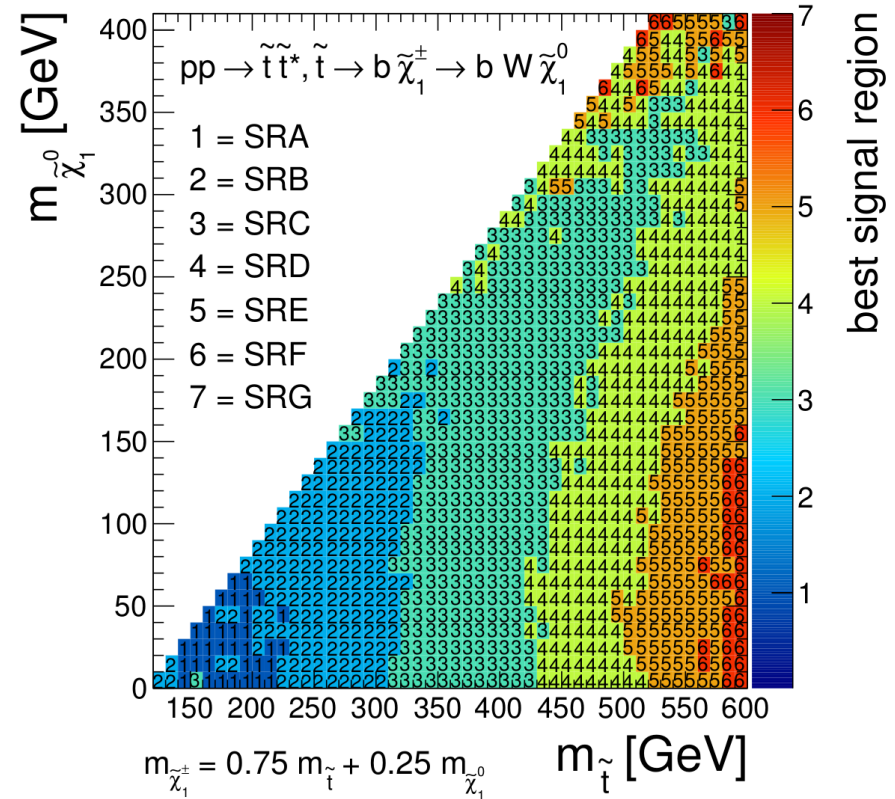
# Limits $t \rightarrow b \chi^+$

Realizamos el mismo procedimiento para el modelo  $t \rightarrow b \chi^+$   
 En este caso debemos considerar también la masa del chargino

CMS Preliminary  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, \int \text{Ldt} = 9.7 \text{ fb}^{-1}$

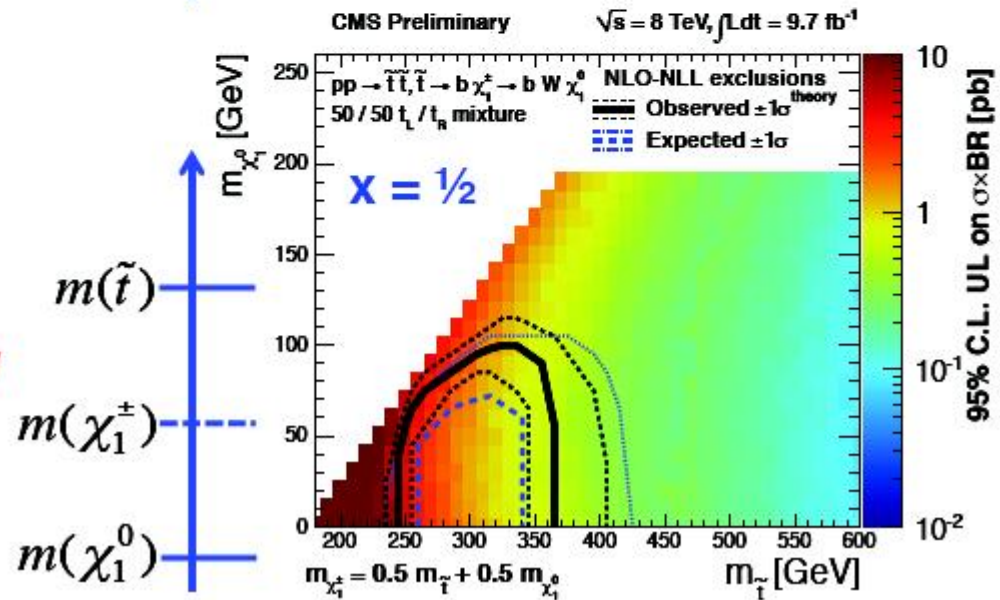
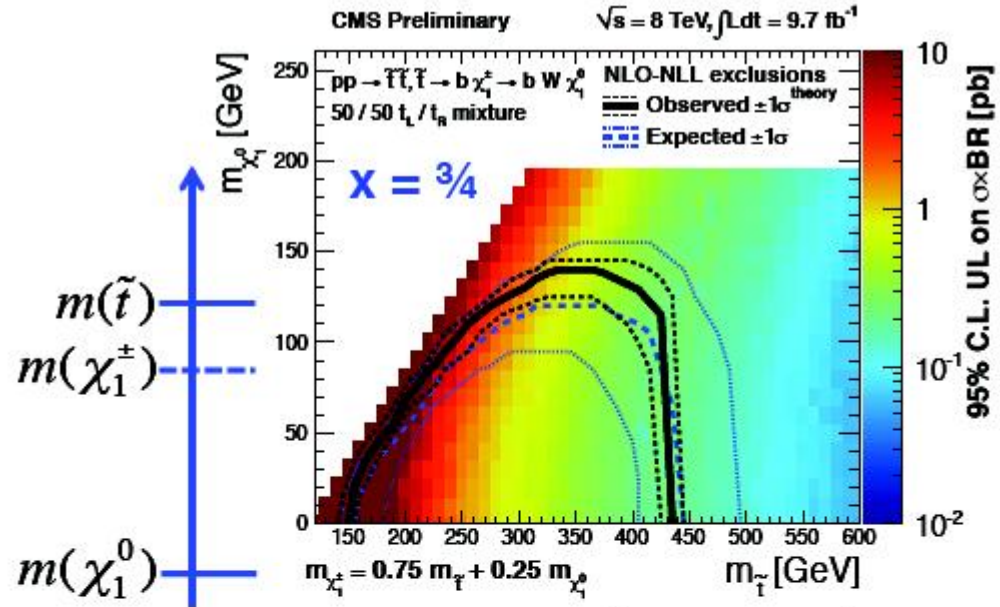


CMS Preliminary  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, \int \text{Ldt} = 9.7 \text{ fb}^{-1}$



# Limits $t \rightarrow b \chi^+$

- Los resultados se interpretan en dos opciones:
- $x=3/4$ : prueba masas del stop quark  $\sim 160\text{GeV}$  -  $420\text{GeV}$  par  $m_{\text{lsp}} < 120\text{ GeV}$
- $x=1/2$ : prueba masas del stop quark  $\sim 260\text{GeV}$  -  $340\text{GeV}$  para  $m_{\text{lsp}} < 80\text{ GeV}$



# Mejoras a futuro

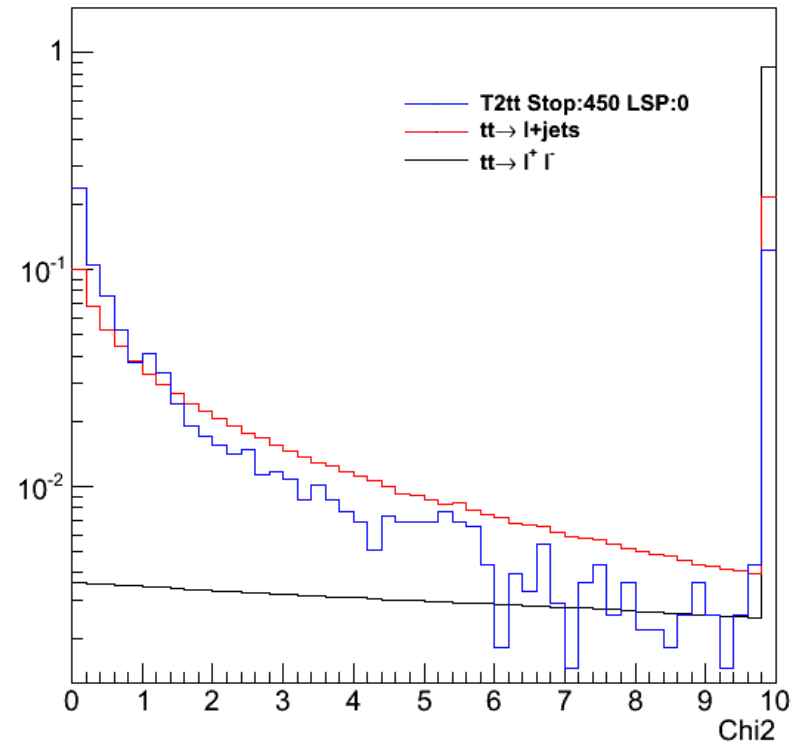
- Hadronic top reconstruction
- Nuevas variables
- Analysis multivariado.

# Hadronic top reconstruction

La reconstrucción del top hadrónico puede ayudar a separar T2tt de T2bw y reducir el ruido ttba- $\rightarrow$  dilepton

La reconstrucción se hace como sigue:

1. Se hacen todas las posibles combinaciones de 3 jets utilizando los 6 jets con mayor pt.
  - a. Dos jets ( $j_1, j_2$ ) se combinan para producir el W.
  - b. Se restringe la masa de la suma de los jets a ser la masa del W.
  - c. Se agrega otro jet ( $j_b$ ) para reconstruir el top.
  - d. La combinación de estos tres jets forman un candidato
2. Se pide que todos los jets tengan  $p_{t>30}$ .
3.  $j_b$  debe ser b-tagged o uno de los tres primeros jets.
4. Se busca el  $\chi^2$  más pequeño del evento.



$$\chi^2 = \left( \frac{m_{jj} - m_W}{\sigma_{m_{jj}}} \right)^2 + \left( \frac{m_{jjj} - m_t}{\sigma_{m_{jjj}}} \right)^2$$

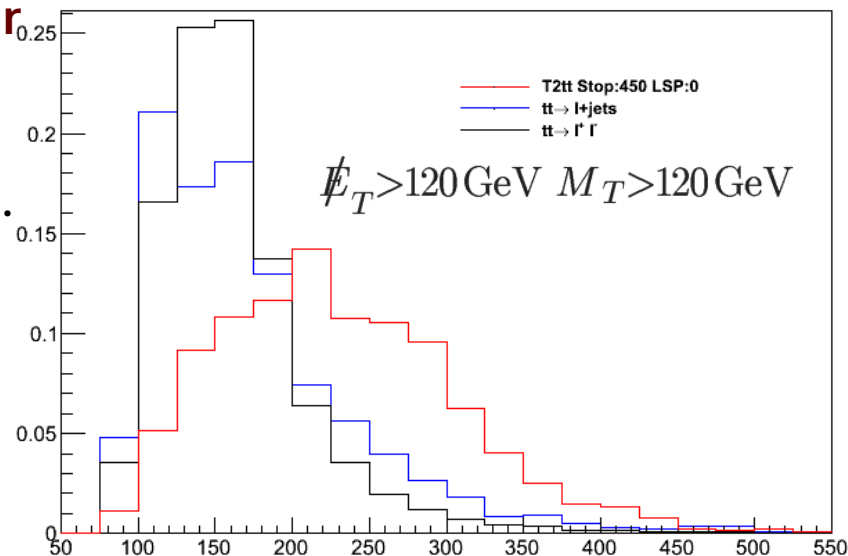
# Variables al estilo MT2

Estas variables están diseñadas para reducir el ruido  $t\bar{t}$  a dilepton.

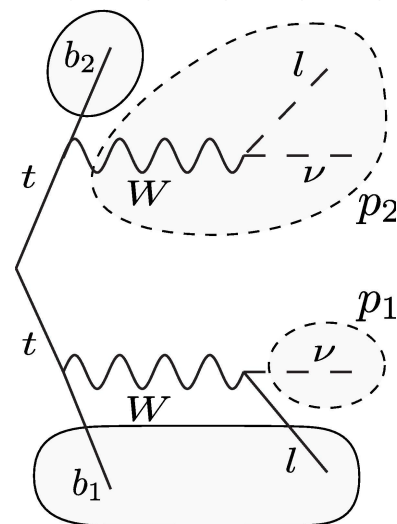
Estas variables fueron sugeridas por Y. Bai, H. Cheng, J. Gallicchio and J. Gu en <http://arxiv.org/abs/1203.4813>

Se introducen tres variables: MT2b, MT2bl and MT2w. Esta variable permitirá reducir mucho el ruido  $t\bar{t}$  a dilepton.

mt2bl



$$M_{T2}^{bl} = \min \left\{ \bigcup_{\vec{p}_1^T + \vec{p}_2^T = \vec{E}_T^{\text{miss}}} \max \left[ M_T(\vec{p}_{b_1} + \vec{p}_l, \vec{p}_1^T), M_T(\vec{p}_{b_2}, \vec{p}_2^T) \right] \right\}$$



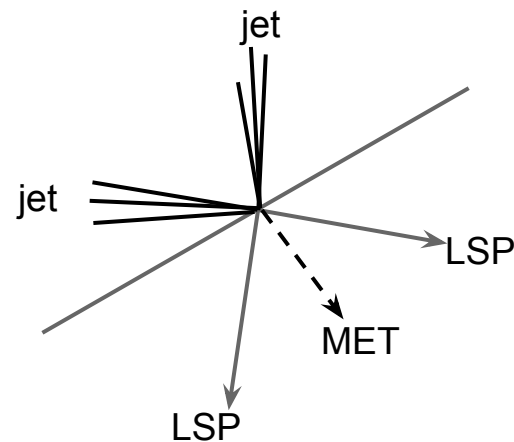
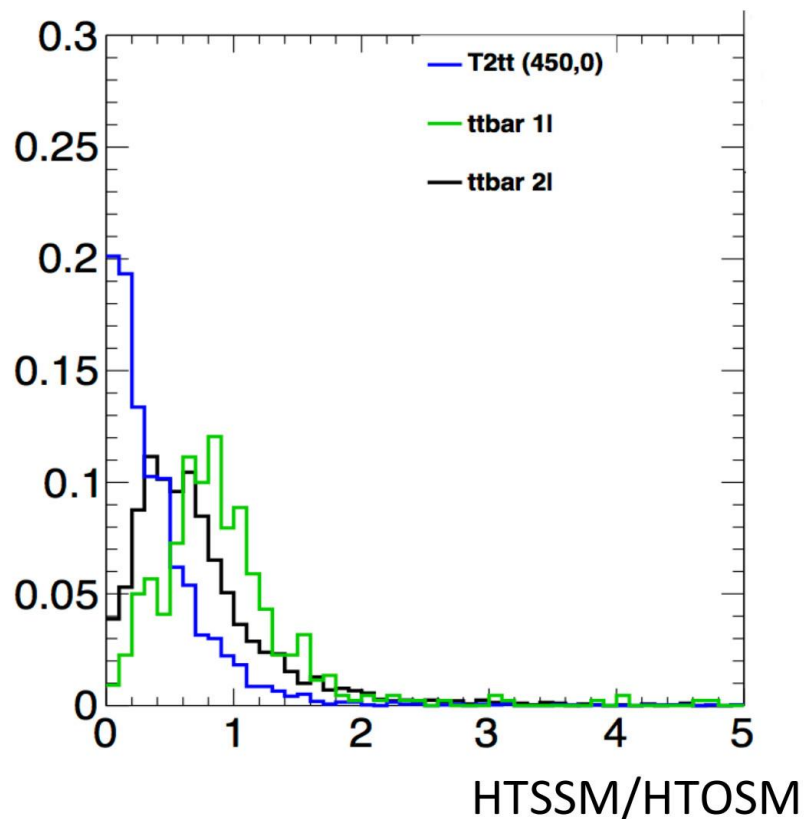


# Otras variables cinematicas

La variable  $HT(SSM)/HT(OSM)$ .

- SSM = mismo lado que la MET
- OSM = lado opuesto de la MET

Esta variable muestra gran poder de separacion.



Probamos las variables clasicas de formas de eventos

- Trust
- Sphericity
- circularity

... y no las encontramos particularmente utiles.

# Análisis Multivariado

- Nuevas variables cinemáticas para mejorar la separación
- Integraremos las nuevas variables mediante un análisis multivariado

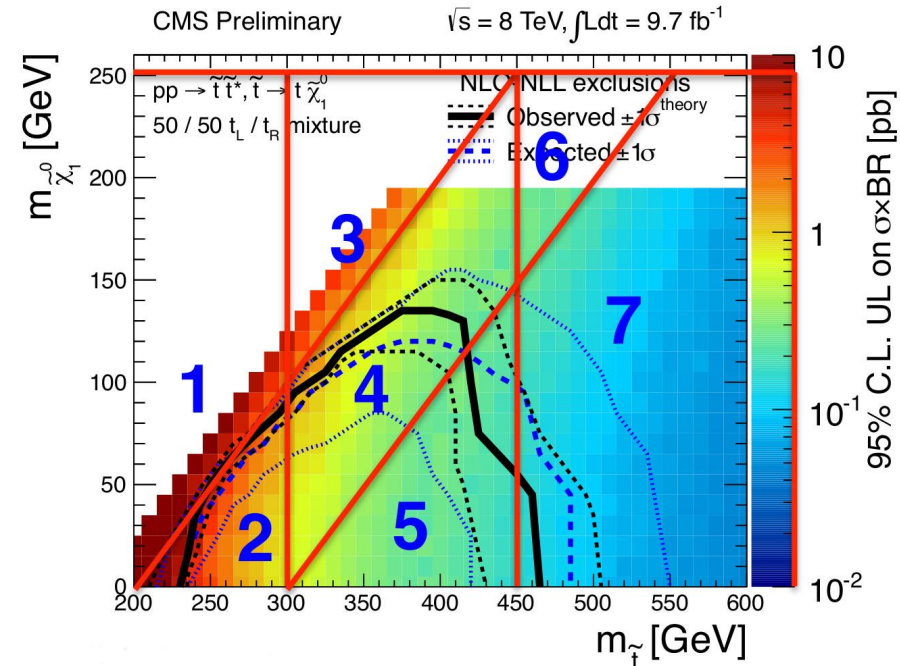
Las variables que serán agregadas al análisis multivariado serán

1. Missing ET
2. Lepton Pt
3.  $\chi^2$
4. mt2w
5. HTSSM/HT
6. ...

MT no será incluido en elMVA

La estrategia será similar a lo presentado pero con un corte en MVA en lugar de cortes en MET

**Mantendremos el análisis de cortes simples para comparación**



La optimización del mva será en las diferentes regiones del espacio de masas masa-lsp masa-stop. Además optimizaremos para T2tt y T2bw

# Resumen

- Se buscaron stop quarks en el canal semileptónico usando  $9.7 \text{ fb}^{-1}$
- No se ha observado exceso
- Los resultados pruebas stop quarks con masa hasta algunos cientos de GeV
- Estamos en rango en el interesante rango dado por la "Natural SUSY"
  
- Nuevas mejoras y más luminosidad para mejorar los resultados.
- Los resultados (de ser aprobados) de estas mejoras serán presentados en LHCP conference en Abril.

**Stay Tuned !**