

Predicción de la masa del Higgs en el modelo supersimétrico

Javier Díaz García

Director del trabajo: Sven Heinemeyer

Trabajo de fin de grado. Grado en Física

Universidad de Cantabria / CSIC

Junio 2014

Indice

1. Objetivos
2. El Modelo Standard
 - Partículas fundamentales e interacciones
 - Doblete de Higgs y vev
 - Correcciones radiativas
3. Supersimetría y el MSSM
 - Que es la supersimetría y por qué nos interesa
 - Qué es el MSSM
 - Sector de Higgs en el MSSM
4. Análisis y conclusiones
 - Escenarios y parámetros relevantes
 - Predicciones para la Masa del Higgs
 - Conclusiones

Objetivos

- La masa del bosón de Higgs en el modelo Standard es un parámetro libre
- Modelo más allá: MSSM
- En el MSSM existen cinco bosones de Higgs:

$$h, H, A, H^\pm$$

- Existen ciertos parámetros libres en el MSSM: $X_t, M_{H^\pm}, \tan \beta$
- M_h se relaciona con estos parámetros
- Análisis: dependencia de M_h con X_t complejo

El Modelo Standard: partículas e interacciones

Three Generations of Matter (Fermions)				
	I	II	III	
mass →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

- Qué es el Modelo Standard
- Partículas de fuerza y partículas de materia
- Interacción EM
- Interacción débil
- Interacción Fuerte
- Partícula de Higgs: completando el SM

El Modelo Standard: Doblete de Higgs y vev

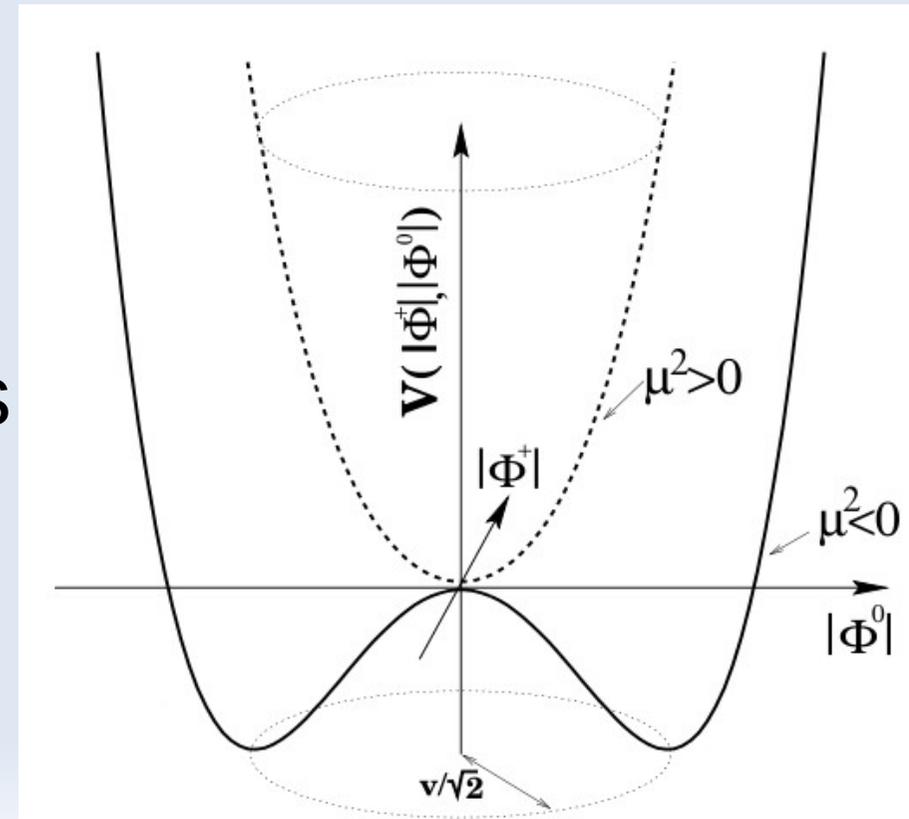
- Descubrimiento del bosón de Higgs en 2012
- Doblete de Higgs:

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}$$

- Campo de Englert-Brout Higgs (EBH) y las constantes de acoplamiento

$$V(\phi^\dagger \phi) = \mu^2 \phi^\dagger \phi + \lambda (\phi^\dagger \phi)^2$$

$$M_H^{\text{exp}} = 125.6 \pm 3.1$$



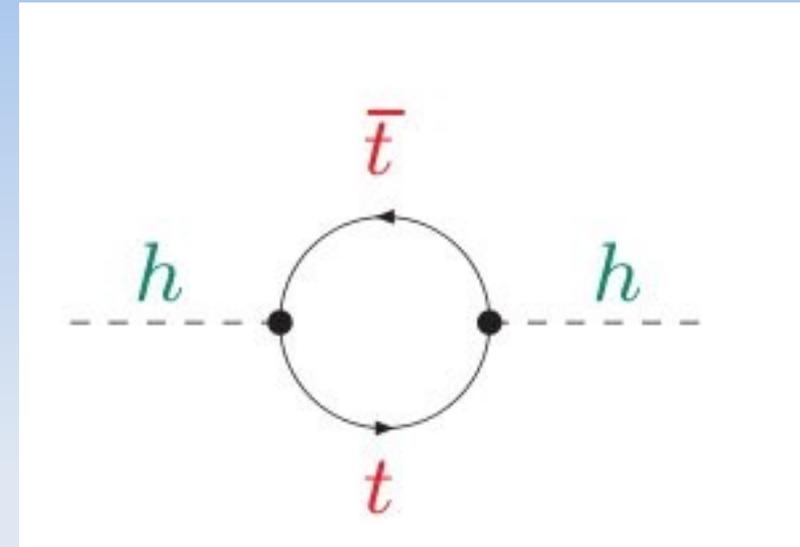
El Modelo Standard: Correcciones radiativas

- Las correcciones cuánticas modifican la masa inicial
- Son consecuencia directa del principio de incertidumbre

$$\Delta E \Delta t \approx \hbar$$

- En el modelo Standard:

$$\delta M_H^2 \sim \delta M_{planck}^2$$



- Corrección cuántica a la masa del Higgs

El Modelo Standard: Problemas

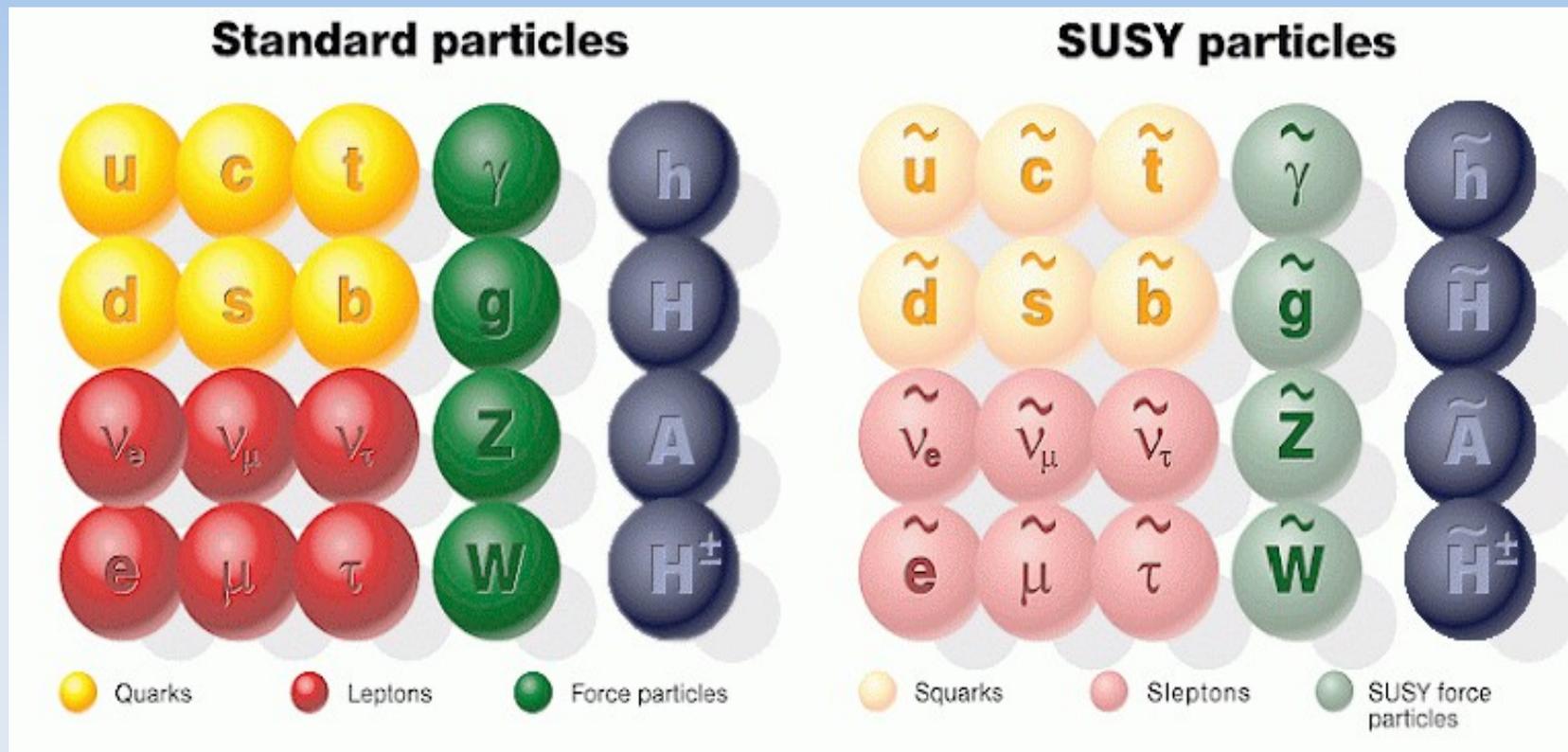
- Materia y energía oscura: No hay candidatos
- Gravedad: No un modelo cuántico de gravedad en el Modelo Standard
- Jerarquía: La masa del Higgs no converge
- Violación CP: ¿Por qué no vemos tanta materia como antimateria?

SUSY y MSSM:

Qué es y por qué nos interesa

- Supersimetría: Unión de bosones y fermiones bajo un mismo marco
- Ruptura de simetría (Soft SUSY Breaking)
- Solución a los problemas del SM
 - Candidato CDM
 - Vías para incluir la gravitación
 - Jerarquía
 - Violación CP

SUSY y MSSM: Partículas en el MSSM



- Modelo supersimétrico mínimo
- Nueva fenomenología:
 - 5 bosones de Higgs
 - Candidato para la materia oscura fría: $\tilde{\gamma}$

SUSY y MSSM: Sector de Higgs

- Dos dobletes en lugar de uno:

$$H_u = \begin{pmatrix} H_u^+ \\ H_u^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_u^+ \\ v_u + (\phi_d + i\chi_u)/\sqrt{2} \end{pmatrix}; \quad H_d = \begin{pmatrix} H_d^0 \\ H_d^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_d + (\phi_d - i\chi_d)/\sqrt{2} \\ -\phi_d^- \end{pmatrix}$$

- Mayor número de grados de libertad
- Constantes de acoplamiento y parámetros del MSSM

$$\tan \beta = \frac{v_u}{v_d}$$

SUSY y MSSM: Acoplamiento de h al squark top

- Importancia de X_t en las correcciones radiativas

$$X_t = A_t - \frac{\mu}{\tan \beta} \approx A_t$$

- A_t es proporcional al acoplamiento $h - \tilde{t} - \bar{\tilde{t}}$
- Un acoplamiento complejo es el caso más general
 - $A_t = |A_t| e^{i\varphi_A}$
 - Posibles nuevas dependencias
 - Nuevos escenarios para la búsqueda de los Higgs

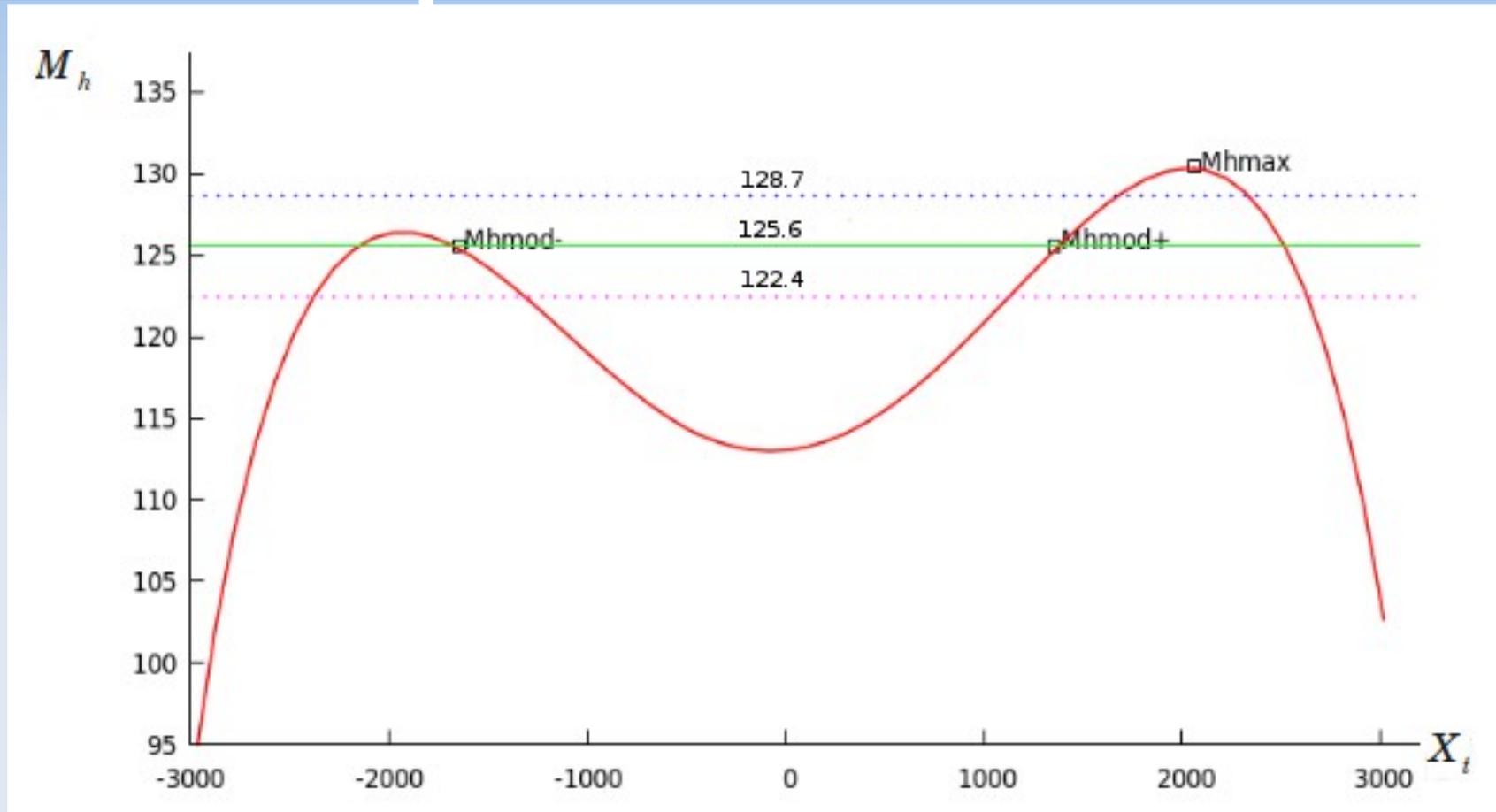
Análisis: Parámetros

- M_{SUSY} : Masa soft SUSY breaking para los squarks top y bottom.

$$m_{\tilde{t}_{1,2}}^2 \approx M_{SUSY}^2 + m_t^2 \mp m_t X_t$$

- μ : Higgs mixing parámetro
- A_t : medida de la intensidad en el acoplamiento de los bosones de Higgs neutros con los squark top.

Análisis: Búsqueda de escenarios



- Búsqueda de escenarios más acordes con los resultados

Análisis:

Escenarios más relevantes

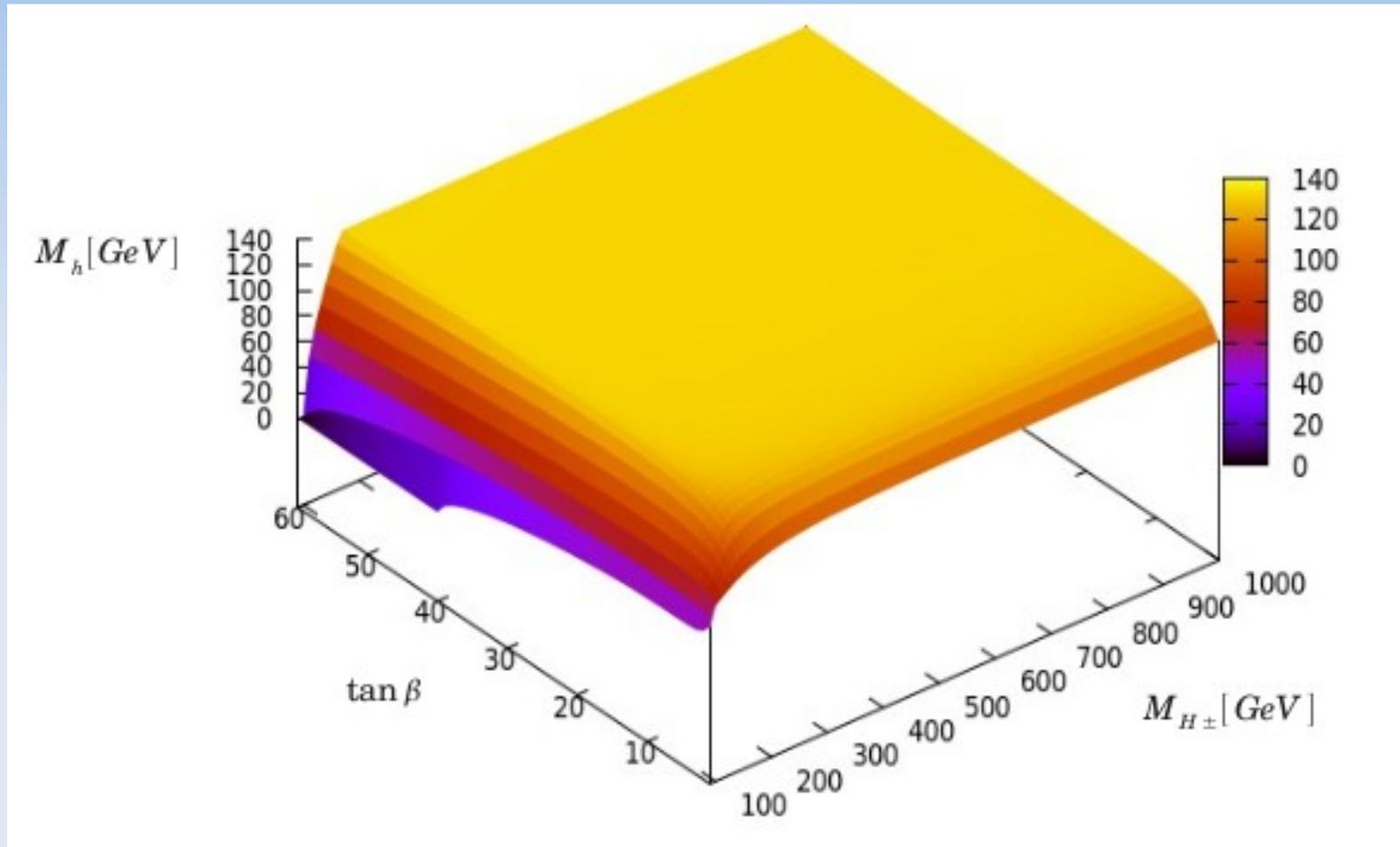
- m_h^{max} : Valores máximos de M_h
- m_h^{mod+} : Reduce el parámetro de mezcla X_t para adecuar m_h^{max} a las observaciones.
- $\tau - phobic$: Acoplamiento reducido de h a quarks bottom y leptones τ que en principio concuerda con la masa experimental del bosón h .

Análisis: Escenarios más relevantes

	m_h^{max}	m_h^{mod+}	$\tau - phobic$
M_{SUSY}/GeV	1000	1000	1500
μ/GeV	200	200	2000
A_t/GeV	2000	1500	3675

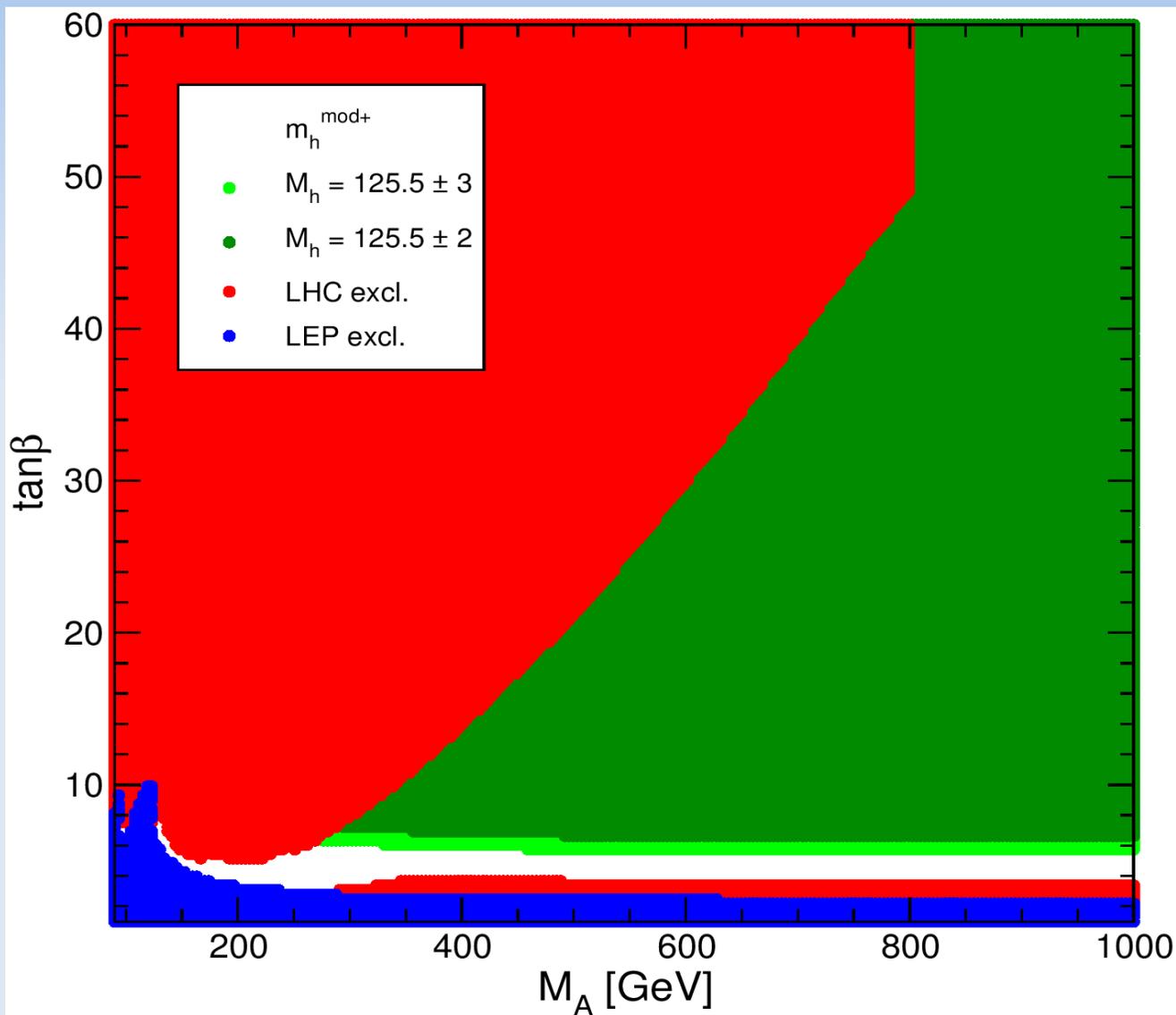
- Calculos mediante el uso del programa FeynHiggs desarrollado en el IFCa

Análisis: Vista de escenarios



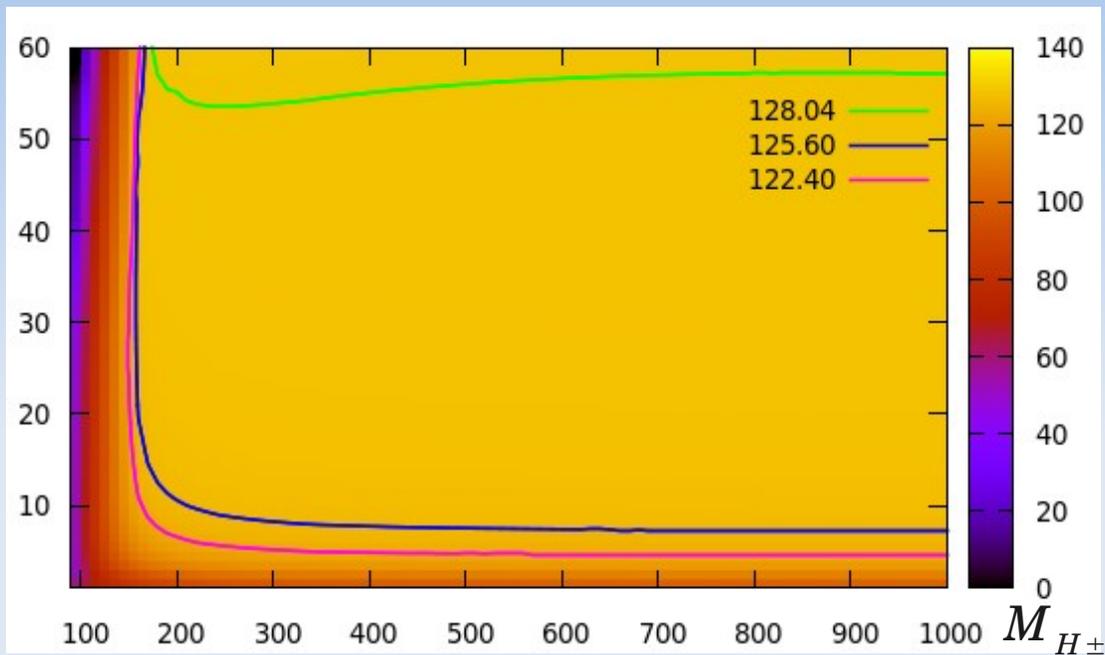
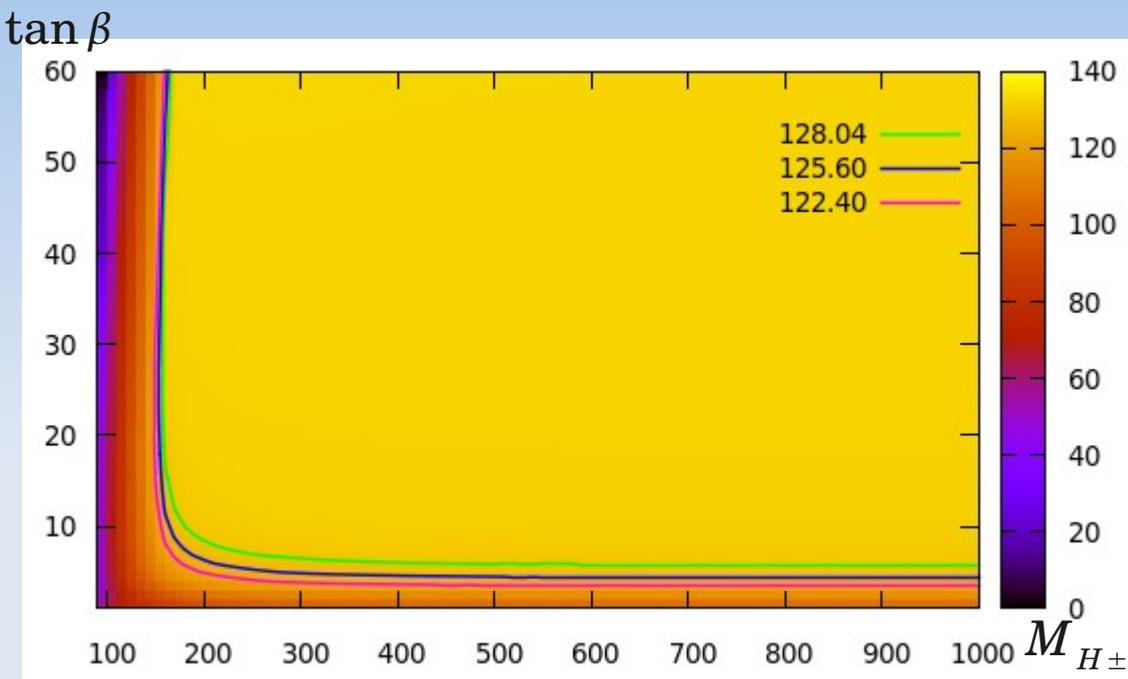
- Los valores para la masa del Higgs ligero se corresponden con planos de corte
- Calculos realizados para MSSM completo

Análisis: Zonas de exclusión



- Zonas roja y azul: Regiones excluidas
- Zona blanca: Regiones aún no excluidas por búsquedas directas
- Zona verde: Región adecuada para la masa y su relación con otros parámetros

Análisis: Escenario m_h^{\max}

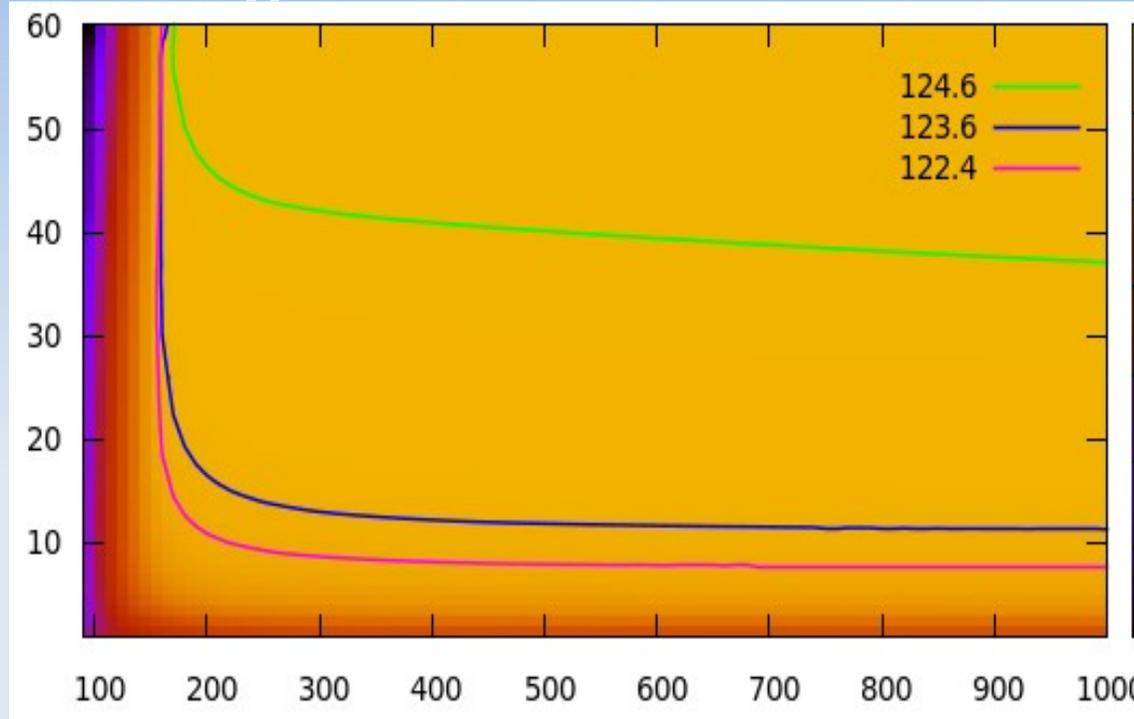
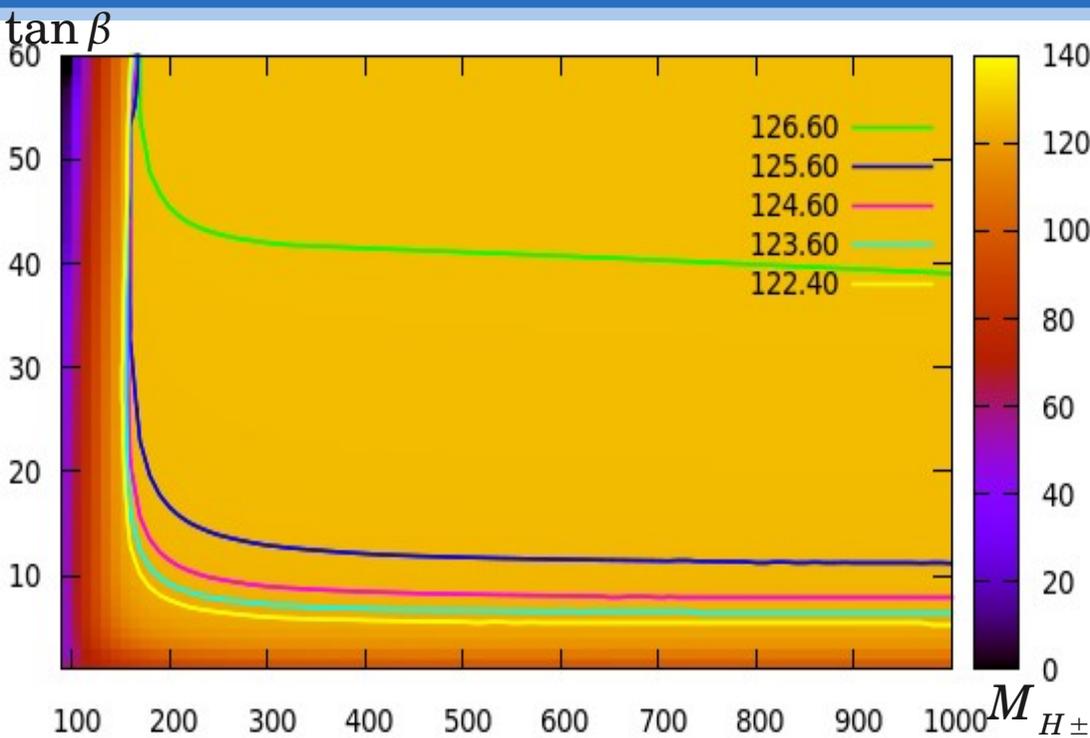


- Acoplamiento real
 $\varphi = 0$

- Acoplamiento Imaginario
 $\varphi = \pi/2$

Se observa un incremento en el area permitida para los parámetros $M_{H^\pm} - \tan \beta$

Análisis: Escenario $m_h^{\text{mod+}}$

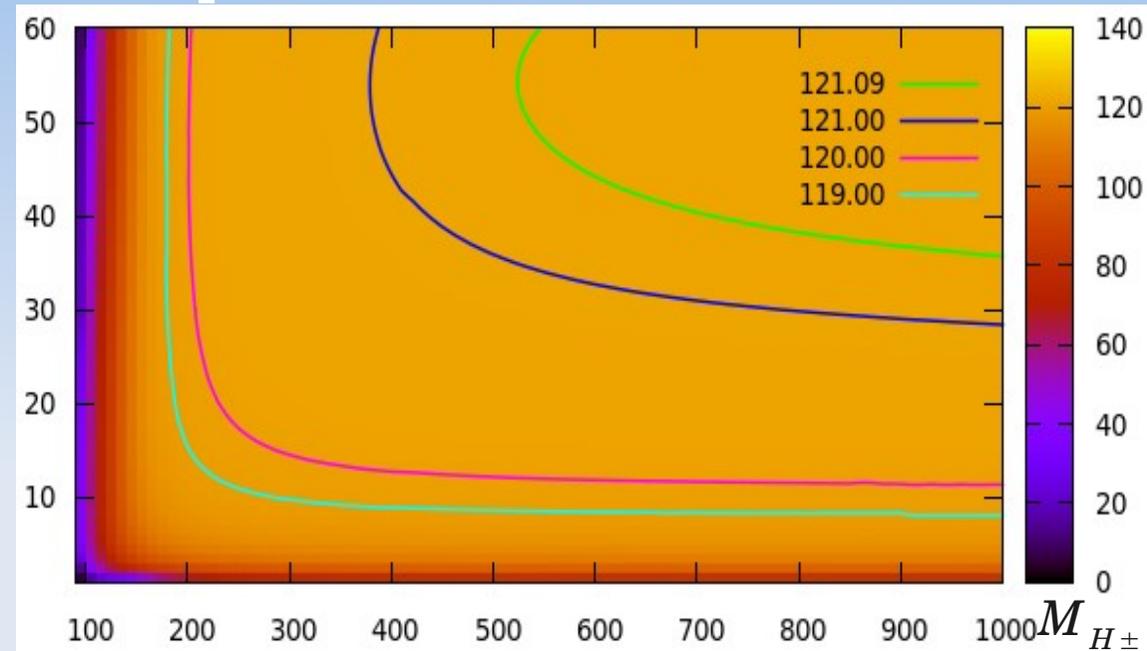
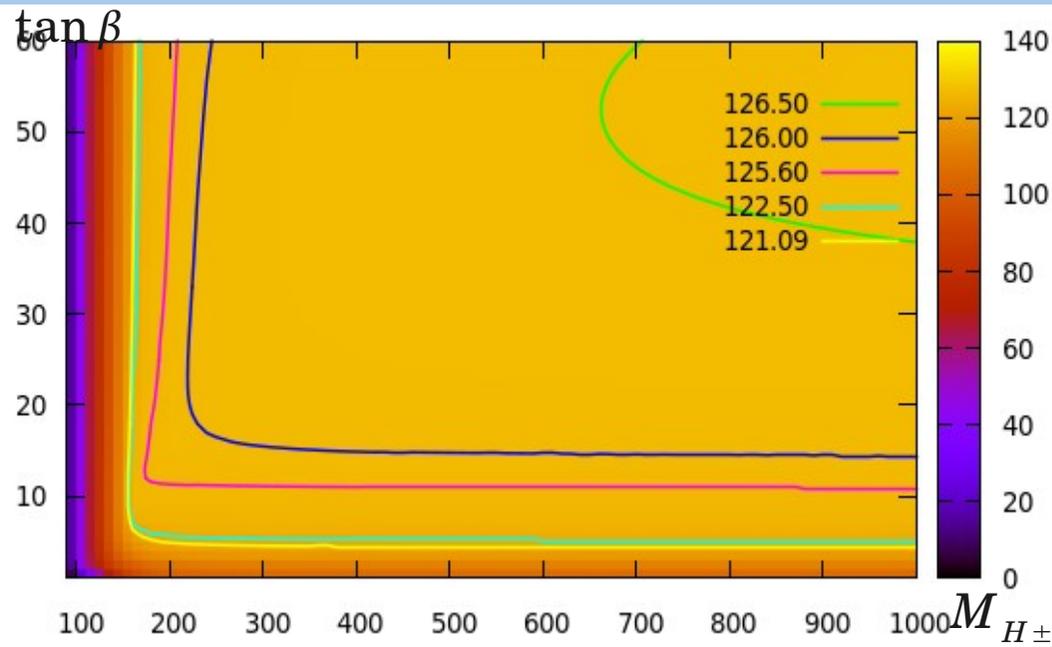


- Acoplamiento Real
 $\varphi = 0$

- Acoplamiento Imaginario
 $\varphi = \pi/2$

Los valores del espacio de parámetros se ajustan para rangos inferiores de la masa del Higgs

Análisis: Escenario τ -phobic



- Acoplamiento Real

$$\varphi = 0$$

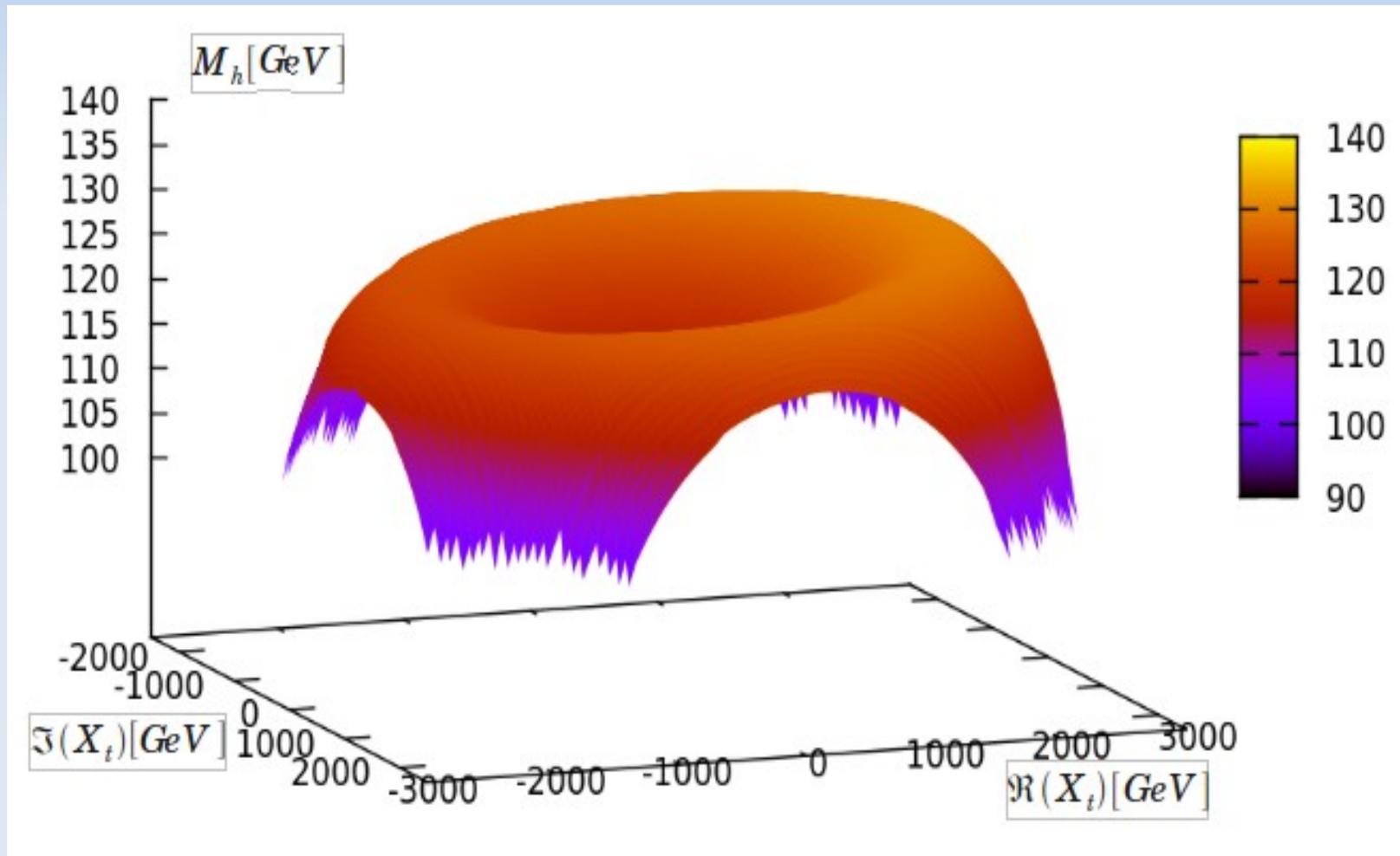
- Acoplamiento Imaginario

$$\varphi = \pi/2$$

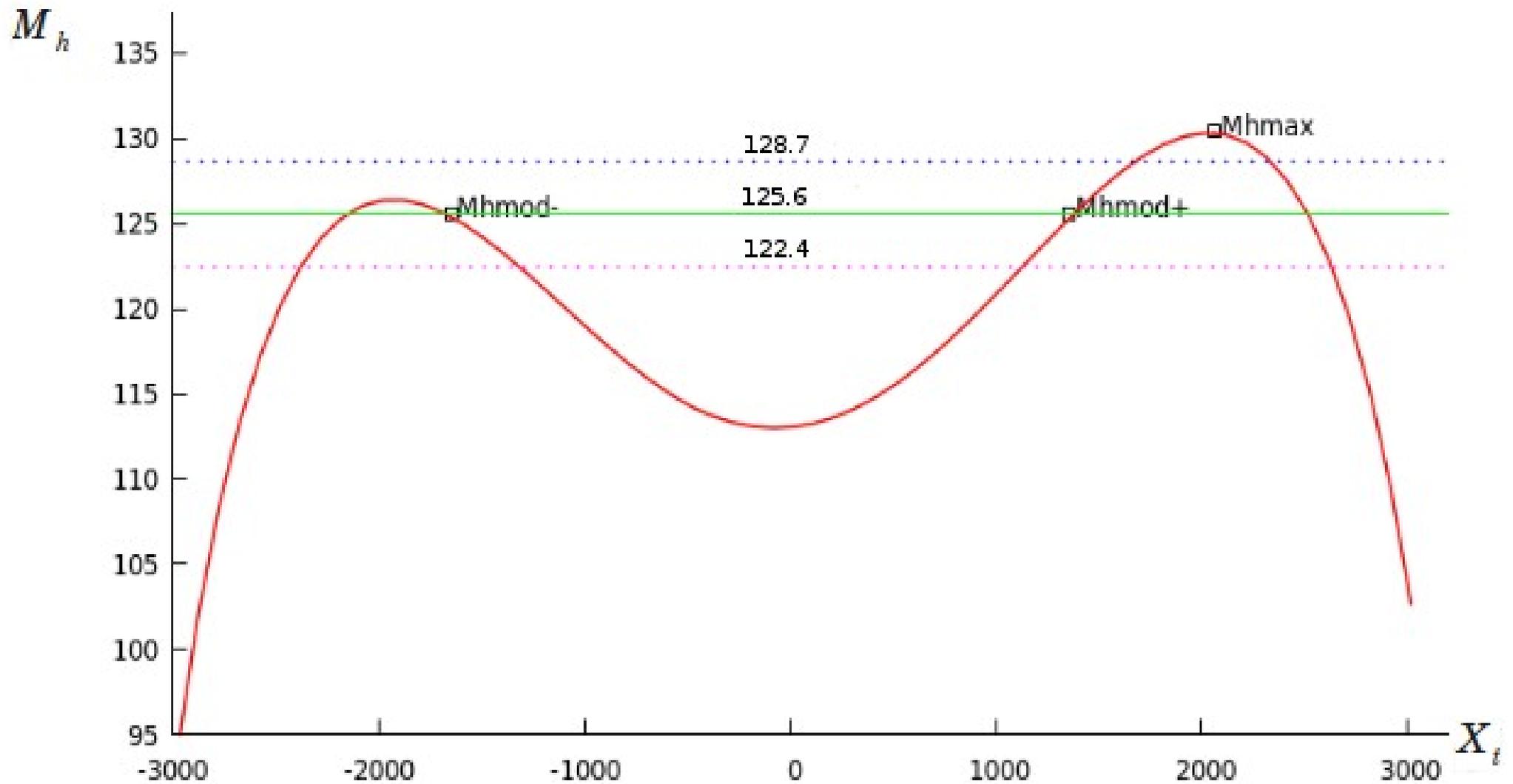
La masa del Higgs solo resulta válida para valores muy elevados en el espacio de parámetros

Conclusiones

- Dependencia $M_h - X_t$



Conclusiones: Comparativas



Conclusiones

- Escenarios más relevantes para la búsqueda del Higgs h :

$\tau - phobic$

m_h^{max}

m_h^{mod+}

- Nuevas búsquedas del Higgs
- En general observamos:

$$M_h(\varphi_{At} = 0) > M_h(\varphi_{At} = \pi/2) > M_h(\varphi_{At} = \pi)$$

- Rangos permitidos para $M_{H_{\pm}} - \tan \beta$