

Beyond the Standard Model Higgs Physics: Hunting $h \rightarrow bs$ with Higgs-strahlung at CEPC and FCC-ee

M. A. Arroyo-Ureña¹, Diego Carreño¹,
A. I. García-Gutiérrez¹, M. G. Villanueva-Urrilla¹, T. A. Valencia-Pérez²

¹Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la Ciencia (CIIEC), BUAP,
México

²Instituto de Física, UNAM, México

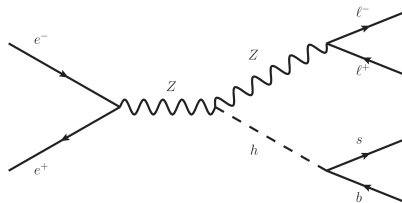
29 de septiembre de 2025



- Higgs descubierto en 2012 (ATLAS/CMS, LHC)
- SM exitoso, pero con desafíos:
 - FCNC muy suprimidas (ej: $\mathcal{BR}(h \rightarrow bs) \sim 10^{-7}$)
 - Eventos = $\sigma(gg \rightarrow h)\mathcal{BR}(h \rightarrow bs) \times \mathcal{L}_{\text{int}} \sim (5 \times 10^5 \text{ fb})(300 \text{ fb}^{-1}) \sim 1$
 - Fondos QCD altos en colisionadores hadrónicos
 - Eventos = $\sigma(pp \rightarrow jj)\mathcal{L}_{\text{int}} \sim (1 \times 10^{12} \text{ fb})(300 \text{ fb}^{-1}) \sim 10^5$,
- Futuros colisionadores e^+e^- (CEPC, FCC-ee):
 - Alta luminosidad integrada $\mathcal{O}(5 \text{ ab}^{-1})$
 - Entorno limpio



- $h \rightarrow bs$ es una ventana a Nueva Física
- 2HDM Tipo III permite FCNC a nivel árbol
- Predice $\mathcal{BR}(h \rightarrow bs) \sim 10^{-5} - 10^{-4}$
- Objetivo: Estudiar $e^+e^- \rightarrow Zh, Z \rightarrow \ell\ell, h \rightarrow bs$



- Dos dobletes de Higgs: Φ_1, Φ_2 , $\Phi_i^T = (\phi_i^+, \phi_i^0)$ ($i = 1, 2$)
 - Lagrangiano de Yukawa

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_Y = & Y_1^u \bar{Q}_L \tilde{\Phi}_1 u_R + Y_2^u \bar{Q}_L \tilde{\Phi}_2 u_R + Y_1^d \bar{Q}_L \Phi_1 d_R \\ & + Y_2^d \bar{Q}_L \Phi_2 d_R + Y_1^\ell \bar{L}_L \tilde{\Phi}_1 \ell_R + Y_2^\ell \bar{L}_L \tilde{\Phi}_2 \ell_R + H.c., \end{aligned} \quad (1)$$

donde $\tilde{\Phi}_j = i\sigma_2 \Phi_j^*$ ($j = 1, 2$).

- Después del rompimiento espontáneo de la simetría:

$$M_f = \frac{1}{\sqrt{2}} (v_1 Y_1^f + v_2 Y_2^f), \quad f = u, d, \ell. \quad (2)$$

- Matrices de Yukawa

$$Y_1^f = \begin{pmatrix} 0 & d_1^f & 0 \\ d_1^f & c_1^f & b_1^f \\ 0 & b_1^f & a_1^f \end{pmatrix}, \quad Y_2^f = \begin{pmatrix} 0 & d_2^f & 0 \\ d_2^f & c_2^f & b_2^f \\ 0 & b_2^f & a_2^f \end{pmatrix},$$

- Acoplamientos no diagonales controlados

$$\left[\tilde{Y}_a^f \right]_{ij} = \frac{\sqrt{2}}{v_a} \delta_{ij} \bar{M}_{ij}^f - \frac{v_b}{v_a} \left[\tilde{Y}_b^f \right]_{ij}, \quad \text{con} \quad \left[\tilde{Y}_b^f \right]_{ij} = \frac{\sqrt{m_i m_j}}{v} \left[\chi_b^f \right]_{ij}.$$



Acoplamiento hbs y espacio de parámetros

$$g_{hbs} = \frac{\cos(\alpha - \beta) \tan \beta}{\sqrt{2} \sin \beta} \cdot \frac{\sqrt{m_s m_b}}{v} \chi_{bs}$$

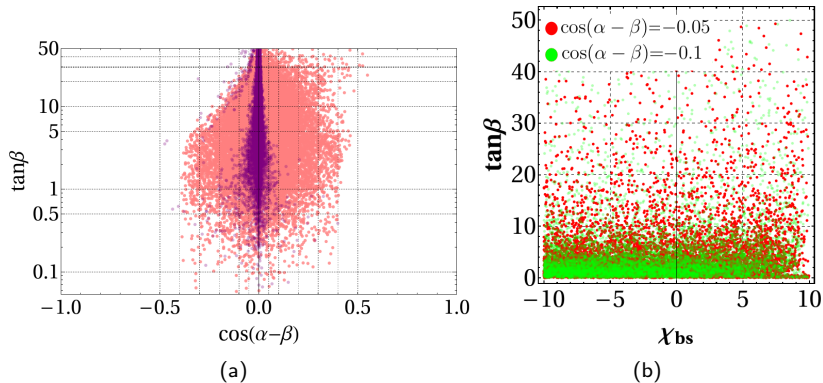


Figura: (a) Zona rosa: procesos con violación de sabor, zona morada: física del bosón de Higgs y (b) $B_s^0 \rightarrow \mu\mu\gamma$ mezcla $B - \bar{B}$.

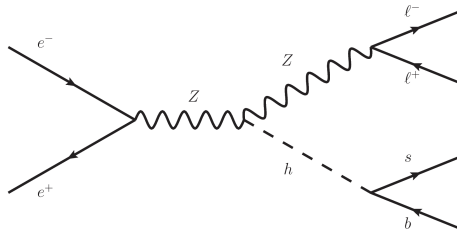
- Puntos de Referencia (BMP):

BMP	χ_{bs}	$\cos(\alpha - \beta)$	$\tan \beta$
1	10	-0.1	20
2	10	-0.05	10
3	5	-0.05	10

- $\cos(\alpha - \beta) \rightarrow 0$ límite de alineamiento,
- $\tan \beta \equiv \frac{v_2}{v_1} \rightarrow v_2 = x v_1$,
- Predichos por Redes neuronales artificiales (Series de tiempo).



- Señal: $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow \ell\ell + bs$



- Fondos principales:

- $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell jj$
- $e^-e^+ \rightarrow e^+e^-Z \rightarrow e^+e^-jj$
- $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t} \rightarrow \ell\ell\nu\nu jj$ (sólo $\sqrt{s} = 350$ GeV)

- Cadena de simulación: LanHEP+MadGraph5+Pythia8+Delphes3+MAYA



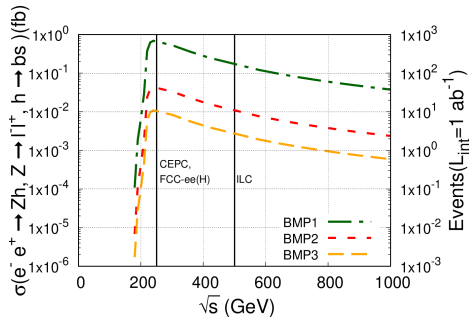


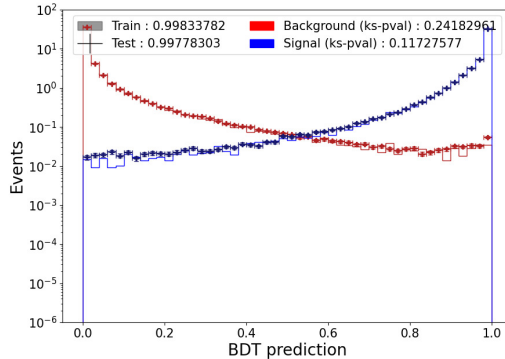
Figura: Sección eficaz $\sigma(e^-e^+ \rightarrow Zh, Z \rightarrow \ell\ell, h \rightarrow bs)$

Cross-section	$\sqrt{s} = 240 \text{ GeV}$
$\sigma(e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell jj)$	106.29 fb
$\sigma(e^-e^+ \rightarrow e^-e^+ Z \rightarrow e^-e^+ jj)$	105.74 fb

Figura: Sección eficaz de los procesos de background.

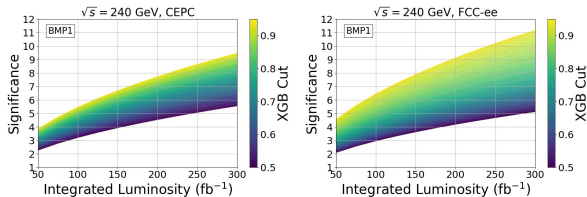


- BDT vs cortes tradicionales $\rightarrow$ mejora de $\sim 6\times$
- Variable XGB en $[0.5, 0.99]$
- Incertidumbre sistemática: 4 %
- KS test: señal 0.12, fondo 0.24

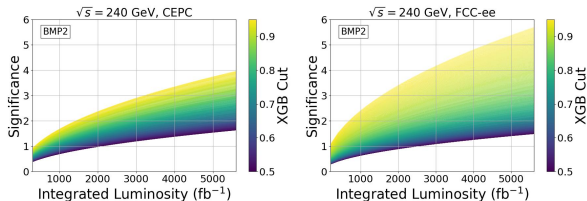


Resultados - $\sqrt{s} = 240$ GeV

$$\mathcal{BR}(h \rightarrow bs) \sim \mathcal{O}(10^{-4})$$



$$\mathcal{BR}(h \rightarrow bs) \sim \mathcal{O}(10^{-5})$$



- CEPC y FCC-ee son ideales para buscar $h \rightarrow bs$ ($\mathcal{BR} \sim \mathcal{O}(10^{-5})$),
- BMP1 es el escenario más prometedor
- Se puede alcanzar 5σ con luminosidades alcanzables por futuros colisionadores e^-e^+ ,
- ¡Invitamos a colaboraciones experimentales a buscar esta señal!



Agradecimientos

- CIIEC
- SECIHTI - Estancias Posdoctorales
- SNII - Sistema Nacional de Investigadores
- UNAM PAPIIT IN111224
- PRO-SNI 2023–2024
- Haydee Hernández-Arellano, Enrique Díaz



¡Gracias!

