

# Producción de bosones de Higgs en dispersión inelástica profunda en colisiones de $eP$ en el contexto del LHeC.

Sebastián Rosado Navarro

Colaboradores

Marisol Alvarado Mayorga

Adrián Román Hernández

Centro Interdisciplinario de Investigación y Enseñanza de la Ciencia (CIIEC), BUAP

Noviembre 2025

# Introducción

En este trabajo nos interesamos en calcular la producción de bosones de Higgs neutros en dispersiones inelásticas profundas  $e^- p$ , en el contexto del Modelo Estándar en el LHeC, haciendo uso del modelo de partones, siendo el proceso  $e^- + p \rightarrow e^- + H^0 + X$ . Los cálculos se realizan la función de distribución partónica “*NPDF23lo.as\_0130.qed*”. Se calculará el proceso mencionado anteriormente con el programa CalcHEP. Además, nos interesa saber que tan dependientes son los valores de la sección transversal de la prescripción que tomemos para el parámetro  $\tilde{Q}^2$  de  $f_q(x', \tilde{Q}^2)$ .

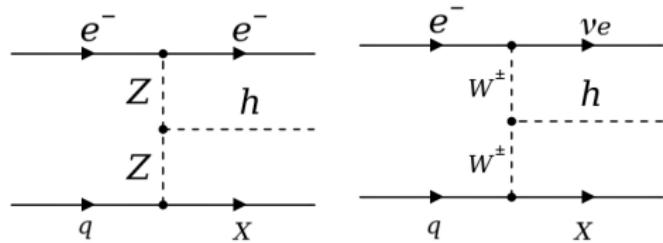
- Estudiar el proceso  $e^- p \rightarrow e^- H^0 X$
- Estudiar el proceso  $e^- p \rightarrow \nu_e H^0 X$
- Analizar sensibilidad a la prescripción de  $\tilde{Q}^2$
- Extender cálculo incluyendo interacción  $\gamma\gamma H$

# Marco teórico – Modelo de Partones

- Protón = partones (quarks + gluones)
- Función de distribución:  $f_q(x', \tilde{Q}^2)$
- Sección transversal:

$$\sigma(ep \rightarrow eHX) = \sum_q \int_0^1 dx' f_q(x', \tilde{Q}^2) \cdot \sigma(eq \rightarrow eHq')$$

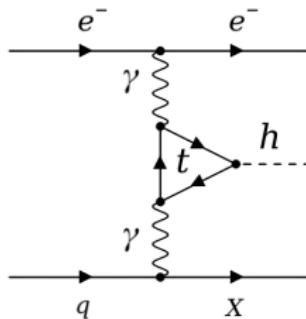
# Diagramas de Feynman



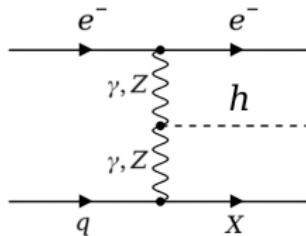
- Vía fusión  $W^\pm W^\mp$
- Vía fusión  $Z^0 Z^0$
- No existe  $\gamma\gamma H$  a nivel árbol en ME

# Diagramas de Feynman

Mediante un rizo podemos tener



De esta forma podemos usar un acoplamiento efectivo



- $M_{ij}$ :  $\sqrt{(p_i + p_j)^2}$
- $S_{ij}$ :  $(p_i + p_j)^2$
- Más popular:  $\sqrt{2stu/(s^2 + t^2 + u^2)}$

- Cálculo de amplitudes y secciones transversales
- **8 prescripciones para  $\tilde{Q}^2$ :**
  - Leptónico MP:  $\text{sqrt}(2*S12*S13*S14/(S12^2+S13^2+S14^2))$
  - Hadrónico MP:  $\text{sqrt}(2*S12*S23*S24/(S12^2+S23^2+S24^2))$
  - M12, M345, S13, S14, S23, S24
- **Función de distribución:** NPDF23.lo.as\_0130.qed
- **Energías:** 60 GeV ( $e^-$ ), 7000 GeV ( $p$ ), i.e.  $\sqrt{s} \approx 1300$  GeV

## Subprocesos considerados

10 subprocesos:  $e^- + q \rightarrow e^- + q + H^0$   
( $q = u, d, c, s, b$  y sus antipartículas)

# Metodología – Uso de CalcHEP

The screenshot shows the CalcHEP\_3.8.10/num interface. The title bar reads "CalcHEP\_3.8.10/num". The main window displays a command-line session:

```
(sub)Process: e, d -> e, d, h
Monte Carlo session: 1(begin)
#IT Cross section[pb] E<
S.F.1: Qisr=1.00E0*sqrtS,Beamstr: OFF
S.F.2: PDT:NNPDF23_lo_as_0130_qed(proton)
First particle momentum[GeV] = 60
Second particle momentum[GeV] = 7000
First particle unpolarized
Second particle unpolarized
```

A "IN state" button is visible in the top right. At the bottom, there is a menu bar with options: F1-Help, F2-Man, F5-Options, F6-Results, F7-Plot, F8-Calc, F9-Ref.

# Metodología – Uso de CalcHEP

The screenshot shows the CalcHEP 3.8.10/num interface. The main window displays a command-line session:

```
(sub)Process: e, D -> ne, U, h  
Monte Carlo session: 1  
  
#IT Cross section[pb] Error[%] nCall Eff. chi^2
```

A context menu is open over the command line, listing various options:

- <
- Subprocess
- IN state
- Model parameters
- Constraints
- QCD alpha & scales
- Breit-Wigner
- Aliases
- Cuts
- Phase space mapping
- Monte Carlo simulation

At the bottom of the window, there is a menu bar with the following items:

F1-Help F2-Man F5-Options F6-Results F8-Calc F9-Ref F10-Quit

# Resultados para $e^- p \rightarrow e^- H^0 X$

**Tabla:** Secciones transversales totales para  $e^- p \rightarrow e^- H^0 X$

Prescripción	Sección transversal $\sigma$ (pb)	Error (%)
Hadrónico MP	$6.6785 \times 10^{-4}$	$8.89 \times 10^{-1}$
Leptónico MP	$6.6690 \times 10^{-4}$	$9.52 \times 10^{-1}$
M12	$5.6060 \times 10^{-4}$	$8.62 \times 10^{-1}$
M345	$5.6033 \times 10^{-4}$	$8.37 \times 10^{-1}$
S13	$6.6238 \times 10^{-4}$	$8.96 \times 10^{-1}$
S14	$5.7001 \times 10^{-4}$	$8.88 \times 10^{-1}$
S23	$5.7091 \times 10^{-4}$	$8.15 \times 10^{-1}$
S24	$6.6301 \times 10^{-4}$	$8.95 \times 10^{-1}$

# Resultados para $e^- p \rightarrow \nu_e H^0 X$

**Tabla:** Secciones transversales totales para  $e^- p \rightarrow \nu_e H^0 X$

Prescripción	Sección transversal $\sigma$ (pb)	Error (%)
Hadrónico MP	$3.74615 \times 10^{-3}$	$4.302 \times 10^{-1}$
Leptónico MP	$3.74648 \times 10^{-3}$	$4.924 \times 10^{-1}$
M12	$3.07565 \times 10^{-3}$	$4.203 \times 10^{-1}$
M345	$3.07438 \times 10^{-3}$	$4.274 \times 10^{-1}$
S13	$3.72213 \times 10^{-3}$	$4.628 \times 10^{-1}$
S14	$3.12829 \times 10^{-3}$	$4.056 \times 10^{-1}$
S23	$3.13087 \times 10^{-3}$	$4.151 \times 10^{-1}$
S24	$3.71578 \times 10^{-3}$	$4.628 \times 10^{-1}$

## Teoría efectiva:

- Rizo de quark top
- Lagrangian efectivo:

$$\mathcal{L}_{\gamma\gamma H} = \frac{g_{\gamma\gamma H}}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} H$$

$$g_{\gamma\gamma H} \propto \frac{\alpha}{\pi V} A_{1/2}(\tau_t)$$

$$\tau_t = \frac{4m_t^2}{m_H^2},$$

$A_{1/2}(\tau)$ : forma de loop fermiónico

## Implementación en CalcHEP

Se añade vértice efectivo  $\gamma\gamma H$  con acoplamiento calculado vía un rizo de top. Para evitar divergencias es de suma importancia realizar cortes cinemáticos:

- Masa invariante del electrón y el partón salientes
- Ángulo de las partículas salientes

# Impacto esperado de $\gamma\gamma H$

- **Nueva contribución** a la sección transversal total
- **Sensibilidad a nueva física** a través del acoplamiento  $\gamma\gamma H$
- **Exploración de régimen electromagnético** en producción de Higgs
- Posible **amplificación** en altas energías (FCC)

# Resultados para $e^- p \rightarrow e^- H^0 X$ mediante interacción electromagnética

**Tabla:** Secciones transversales totales para  $e^- p \rightarrow e^- H^0 X$

Prescripción	Sección transversal $\sigma$ (pb)	Error (%)
Hadrónico MP	$3.351 \times 10^{-5}$	$7.324 \times 10^{-2}$
Leptónico MP	$3.344 \times 10^{-5}$	$9.805 \times 10^{-2}$
M12	$3.427 \times 10^{-5}$	$7.4 \times 10^{-2}$
M345	$3.43 \times 10^{-5}$	$6.957 \times 10^{-2}$
S13	$2.099 \times 10^{-5}$	$7.599 \times 10^{-2}$
S14	$3.386 \times 10^{-5}$	$6.903 \times 10^{-2}$
S23	$3.498 \times 10^{-5}$	$6.772 \times 10^{-2}$
S24	$3.478 \times 10^{-5}$	$8.95 \times 10^{-1}$

## Resultados principales

- Sección transversal calculada exitosamente usando CalcHEP
- Dependencia débil de la prescripción de  $\tilde{Q}^2$
- Similitudes identificadas entre diferentes prescripciones

Gracias por su atención!