

# Búsqueda de resonancias (Higgs)

## Parcial Computacional - MEFE 2025

### Entrega

Subir al campus:

- Un informe en formato PDF.
- El código con el que generó los gráficos y resultados.

En ambos archivos, indicar el nombre, apellido y número de libreta o DNI. La página del curso es: <https://campus.exactas.uba.ar/course/view.php?id=362>. Si aún no habían entrado, la clave de automatriculación es: **completar**

Sobre el informe:

- **Largo:** aproximadamente 1 hoja de texto (500 palabras o 3000 caracteres) + figuras.
- Dar una descripción clara y precisa de la metodología utilizada.
- Mostrar todos los gráficos que considere necesarios y los resultados esperados.
- ¿Cuál es la conclusión?

### Enunciado

En experimentos del Gran Colisionador de Hadrones (LHC), una de las estrategias para la búsqueda del bosón de Higgs fue analizar la distribución en la **masa invariante**  $m_{\gamma\gamma}$  de eventos que contienen dos fotones dado que el Higgs puede decaer a ese estado final. Una partícula consistente con la propuesta de Peter Higgs, produciría una resonancia tipo gaussiana (señal) sobre un espectro que decae suavemente, como predice el Modelo Estándar (fondo).

En este problema se pide simular pseudo-experimentos para estudiar la sensibilidad de un test estadístico que discrimine entre las siguientes hipótesis:

- $H_0$  (solo fondo): eventos que siguen una distribución exponencial decreciente entre 100 GeV y 160 GeV.
- $H_1$  (señal + fondo): eventos que siguen la misma distribución de fondo, más una contribución gaussiana centrada en  $m_H = 125$  GeV con  $\sigma_H = 2$  GeV.

Se propone que los pseudo-experimentos tengan las siguientes características:

- $N_{\text{exps}} = 1000$  pseudo-experimentos bajo cada hipótesis.
- Cada pseudo-experimento incluye  $10^5$  eventos de fondo.
- Bajo  $H_1$ , además se simulan 300 eventos adicionales que siguen la distribución gaussiana.

## Consignas

1. Genere 1000 pseudo-experimentos bajo  $H_0$  muestreando eventos entre 100 y 160 GeV con una ley exponencial  $p(m) \propto \exp(-\lambda m)$ , con  $\lambda = 0,05$ .
2. Para cada pseudo-experimento bajo  $H_0$ , ajuste la distribución a una función exponencial utilizando un ajuste de máxima verosimilitud o cuadrados mínimos y calcule el p-valor del ajuste mediante un estadístico  $\chi^2$ . Interprete el resultado (¿Qué distribución tiene la distribución del p-valor si el test es válido?). Reporte la media y la desviación estándar del p-valor entre los pseudo-experimentos.
3. Genere también 1000 pseudo-experimentos bajo  $H_1$ , sumando a cada pseudo-experimento eventos generados según una distribución gaussiana con los parámetros dados. Calcule para cada pseudo-experimento el estadístico del cociente de verosimilitudes (*Log Likelihood Ratio*, [https://www.probabilitycourse.com/chapter8/8\\_4\\_5\\_likelihood\\_ratio\\_tests.php](https://www.probabilitycourse.com/chapter8/8_4_5_likelihood_ratio_tests.php)):

$$\text{LLR} = -2 \log \frac{\mathcal{L}_{\text{bg}}}{\mathcal{L}_{\text{bg+sig}}},$$

donde  $\mathcal{L}_{\text{bg}}$  es la verosimilitud del ajuste solo fondo y  $\mathcal{L}_{\text{bg+sig}}$  es la verosimilitud del ajuste con fondo y señal.

4. Obtenga la distribución del estadístico LLR bajo  $H_0$  y bajo  $H_1$ . Determine el valor umbral del LLR que deja solo un  $\alpha = 0,05$  en la cola superior bajo  $H_0$ , y calcule la potencia del test (Potencia =  $P(\text{rechazar } H_0 \mid H_1 \text{ es verdadera})$ ) bajo  $H_1$ .
5. Represente gráficamente:
  - Un pseudo-experimento típico bajo  $H_0$  junto con su ajuste solo fondo.
  - Un pseudo-experimento típico bajo  $H_1$  junto con su ajuste solo fondo y su ajuste fondo+señal.
  - Histogramas del estadístico LLR bajo  $H_0$  y bajo  $H_1$ , junto con el valor de LLR para un experimento puntual (el valor observado en el caso que existe el Higgs -  $H_1$  -).

## Resultados esperados

- Número de pseudo-experimentos simulados bajo  $H_0$  y  $H_1$ .
- Parámetro del fondo ( $\lambda$ ) y número de eventos de señal.
- Media y desviación estándar de los p-valores bajo  $H_0$ .
- Umbral del estadístico LLR para nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y potencia estimada del test.
- Gráficos que resuman los espectros y los estadísticos calculados.