

## Implementación de los paquetes SARAH y SPheno en nuevos modelos de física de partículas

Maria Amelia Melo Ruales

En colaboración con los docentes Eduardo Rojas y Yithsbey Giraldo

Universidad de Nariño, Departamento de Física, Grupo de Altas Energías, Pasto, Colombia, mariaruales99@gmail.com

### INTRODUCCIÓN

El presente proyecto aborda la implementación y análisis de nuevos modelos teóricos en física de partículas, empleando los paquetes computacionales SARAH y SPheno como herramientas fundamentales. SARAH, desarrollado en Mathematica, es ampliamente utilizado para la construcción y estudio del Modelo Estándar y sus extensiones, así como de modelos de física más allá del Modelo Estándar. Por su parte, SPheno permite la realización de cálculos numéricos con gran precisión, cruciales para la evaluación cuantitativa de las propiedades físicas de estos modelos.

### OBJETIVOS

#### GENERAL:

Realizar un análisis del Modelo Escotogénico como extensión del Modelo Estándar mediante su implementación con los softwares de SARAH y SPheno y generar observables que se puedan comparar con resultados ya obtenidos por otros investigadores.

#### ESPECÍFICOS:

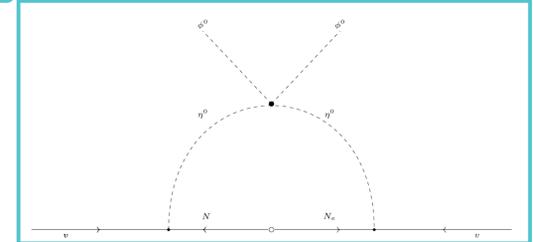
- Lograr una comprensión básica de los fundamentos de la física de partículas.
- Aprender el manejo de los paquetes SARAH y SPheno.
- Instalar los paquetes SARAH y SPheno en los equipos de cómputo del Departamento de Física.
- Analizar los modelos Estándar y Escotogénico.
- Hacer cálculos fenomenológicos y obtener observables para los modelos de nueva física.

### METODOLOGIA

La metodología del proyecto tiene un enfoque predominantemente **cuantitativo**, al involucrar el uso de herramientas computacionales para realizar cálculos precisos y analizar modelos teóricos de física de partículas. Dentro de los pasos a seguir son:

1. Instalación de los paquetes SARAH y SPheno en los equipos de cómputo del departamento de física
2. Estudio de los manuales de los paquetes de software y el material didáctico disponible en la página oficial.
3. Clases magistrales y talleres sobre los rudimentos de la física de partículas y el trabajo con diagramas de Feynman por parte de los profesores del departamento y los estudiantes que están realizando trabajos de grado en el área, lo cual incluye un componente de trabajo con SARAH y SPheno.
4. Una vez se haya alcanzado una comprensión básica de la teoría de física de partículas y un manejo fluido de los paquetes de software, se reproducen los análisis fenomenológicos de modelos de nueva física de los trabajos de los docentes del departamento [2-4, 7-9].
5. Finalmente se realiza el cálculo de nuevos observables que complementen el análisis de los modelos reproducidos en el anterior paso.

### RESULTADOS



DECAY	BR	particle	PDG-exp. decay fraction
25	$3.94503471 \times 10^{-3}$	# hh	
	$2.66302509 \times 10^{-3}$	BR(h $\rightarrow \gamma\gamma$ )	$(2.50 \pm 0.20) \times 10^{-3}$
	$8.72461559 \times 10^{-2}$	BR(h $\rightarrow gg$ )	
	$2.48408517 \times 10^{-2}$	BR(h $\rightarrow ZZ$ )	$(2.80 \pm 0.30) \times 10^{-2}$
	$2.26599428 \times 10^{-1}$	BR(h $\rightarrow W^+W^-$ virt)	$(2.57 \pm 0.25) \times 10^{-1}$
	$2.11242982 \times 10^{-4}$	BR(h $\rightarrow s\bar{s}$ )	
	$5.65822420 \times 10^{-1}$	BR(h $\rightarrow b\bar{b}$ )	$(5.3 \pm 0.8) \times 10^{-1}$
	$2.27603074 \times 10^{-4}$	BR(h $\rightarrow \mu^+\mu^-$ )	$(2.6 \pm 1.3) \times 10^{-4}$
	$6.56985485 \times 10^{-2}$	BR(h $\rightarrow \tau^+\tau^-$ )	$(6.0^{+0.8}_{-0.7}) \times 10^{-2}$
	$2.66900197 \times 10^{-2}$	BR(h $\rightarrow c\bar{c}$ )	

Block MASS #	Mass spectrum (GeV)	PDG-exp. mass	particle
# PDG code	mass		
25	$1.25548349 \times 10^{+2}$	$125.20 \pm 0.11$	h (higgs boson)
1001	$4.30116263 \times 10^{+2}$		$\eta_R$ (neutral CP-even scalar)
1002	$4.30116263 \times 10^{+2}$		$\eta_I$ (neutral CP-odd scalar)
1003	$4.47388134 \times 10^{+2}$		$\eta^+$ (charged scalar)
23	$9.11887000 \times 10^{+1}$	$91.1880 \pm 0.0020$	$Z^0$ (Z boson)
24	$8.03497269 \times 10^{+1}$	$80.3692 \pm 0.0133$	$W^\pm$ (W boson)
1	$5.00000000 \times 10^{-3}$	$(4.70 \pm 0.07) \times 10^{-3}$	d (down quark)
3	$9.50000000 \times 10^{-2}$	$(9.35 \pm 0.08) \times 10^{-2}$	s (strange quark)
5	$4.18000000 \times 10^0$	$4.183 \pm 0.007$	b (bottom quark)
2	$2.50000000 \times 10^{-3}$	$(2.16 \pm 0.07) \times 10^{-3}$	u (up quark)
4	$1.27000000 \times 10^0$	$1.2730 \pm 0.0046$	c (charm quark)
6	$1.73500000 \times 10^2$	$172.57 \pm 0.29$	t (top quark)
11	$5.10998930 \times 10^{-4}$	$(5.1099895000 \pm 0.0000000015) \times 10^{-4}$	e (electron)
13	$1.05658372 \times 10^{-1}$	$(1.056583755 \pm 0.000000023) \times 10^{-1}$	$\mu$ (muon)
15	$1.77669 \times 10^0$	$1.77693 \pm 0.00009$	$\tau$ (tau)
12	$-9.04451554 \times 10^{-13}$		$\nu_1$ (electron neutrino)
14	$-1.00553015 \times 10^{-11}$		$\nu_2$ (muon neutrino)
16	$-4.81551646 \times 10^{-11}$		$\nu_3$ (tau neutrino)
1012	$-3.45 \times 10^{+2}$		$N_1$ (fermion singlet 1)
1014	$-4.80 \times 10^{+3}$		$N_2$ (fermion singlet 2)
1016	$-6.80 \times 10^{+3}$		$N_3$ (fermion singlet 3)

### CONCLUSIONES

El proyecto logró establecer un marco sólido para simular y analizar extensiones del Modelo Estándar, lo que abre nuevas vías de investigación en física de partículas y permite la exploración de teorías que podrían ser confirmadas o refutadas por futuros experimentos.

Además, tuvo un impacto notable en la formación de nuevos investigadores, los cuales adquirieron nuevas habilidades a en el uso de herramientas computacionales clave para el análisis de modelos más allá del Modelo Estándar. Esto incluye la comprensión profunda de los cálculos del espectro de partículas, la implementación de lagrangianos complejos y la comparación de predicciones teóricas con datos experimentales.

### REFERENCIAS

- [1] A. Crivellin and J. Matias, "Beyond the Standard Model with Lepton Flavor Universality Violation," in 1st Pan-African Astro-Particle and Collider Physics Workshop, 4 2022.
- [2] R. H. Benavides, Y. Giraldo, L. Muñoz, W. A. Ponce, and E. Rojas, "Systematic study of the SU (3)<sub>c</sub> x SU (3)<sub>L</sub> x U (1)<sub>X</sub> local gauge symmetry," 11 2021.
- [3] C. H. García-Duque, J. H. Muñoz, N. Quintero, and E. Rojas, "Extra gauge bosons and lepton flavor universality violation in  $\eta$  and B meson decays," Phys. Rev. D, vol. 103, no. 7, p. 073003, 2021.
- [4] D. J. Blandon, D. A. Restrepo, W. A. Ponce, and E. Rojas, "Non-universal electroweak extensions of the standard model and the scotogenic models," in 38th International Symposium on Physics in Collision, 12 2018.
- [5] B. Fornal, S. A. Gadam, and B. Grinstein, "Left-Right SU(4) Vector Leptoquark Model for Flavor Anomalies," Phys. Rev. D, vol. 99, no. 5, p. 055025, 2019.