

# Implementación de paquetes de SARAH y SPheno en modelos de nueva física

Maria Amelia Melo Ruales  
Departamento de Física  
Universidad de Nariño



# INTRODUCCIÓN

Se implemento el Modelo Escotogénico original propuesto por Ernest Ma en 2006, utilizando los paquetes SARAH y SPheno. Como resultado, se obtuvo el espectro de masas tanto de las partículas del Modelo Estándar como de las partículas exóticas. Para los parámetros seleccionados, nuestros resultados son consistentes con los datos experimentales de las masas y los decaimientos del bosón de Higgs.



# MODELO ESTÁNDAR

El modelo estándar (ME) de partículas elementales ha logrado reproducir la mayor parte de observaciones experimentales de la naturaleza; sin embargo, unos pocos observables no logran explicarse mediante el ME. Por ejemplo:

- La asimetría materia-antimateria.
- El problema de CP fuerte.
- Materia oscura.
- Energía oscura.
- Las masas de neutrinos



# Modelo Escotogénico Original

En el presente trabajo se reviso e implemento el llamado Modelo Escotogénico Original (Ernest Ma, 2006), que permite relacionar el problema de la existencia de la materia oscura con el problema de la pequeñez de las masas de neutrinos.



Campo	Espín	$SU(3)_c$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$	$Z_2$
$\ell_i$	$\frac{1}{2}$	1	2	$-\frac{1}{2}$	+
$e^i$	$\frac{1}{2}$	1	1	-1	+
$q_i$	$\frac{1}{2}$	3	2	$\frac{1}{6}$	+
$u_i$	$\frac{1}{2}$	3	1	$\frac{2}{3}$	+
$d_i$	$\frac{1}{2}$	3	1	$-\frac{1}{3}$	+
$H$	0	1	2	$\frac{1}{2}$	+
$N_i$	$\frac{1}{2}$	1	1	0	-
$\eta$	0	1	2	$\frac{1}{2}$	-

Tabla 1: Contenido de partículas y números cuánticos bajo la simetría  $SU(3)_c \otimes SU(2)_L \otimes SU(1) \otimes Z_2$ . Los índices  $i = 1, 2, 3$  corresponde a cada una de las familias de ME y de los fermiones  $N$ .

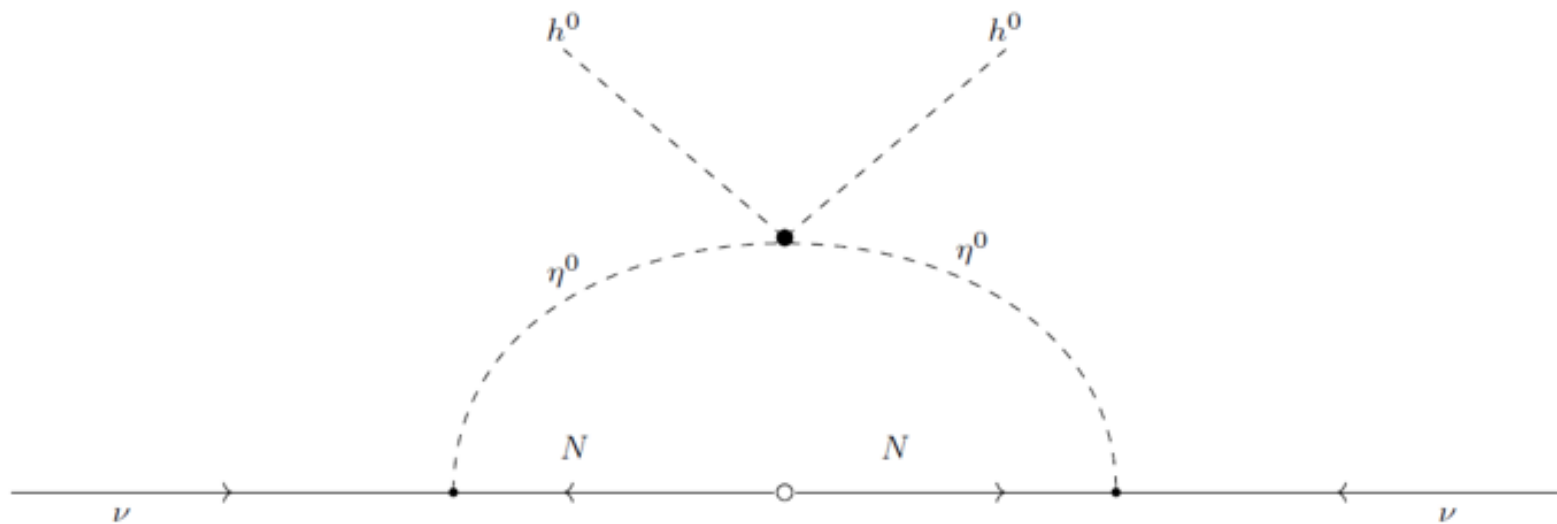


Figura 1: Auto energía de neutrino a un bucle.



Universidad de Nariño  
FUNDADA EN 1904



Universidad de Nariño

ACREDITADA DE ALTA CALIDAD  
RESOLUCIÓN MEN 040522 - ENERO 11 DE 2023



Universidad de Nariño



# SARAH Y SPENO

**SARAH** es un software diseñado para automatizar el estudio de modelos teóricos, generando de manera automática todos los vértices, matrices de masa, ecuaciones de "tadpoles", correcciones a un lazo para los tadpoles y autoenergías.

SARAH genera el código fuente para **SPheno**, un programa escrito en Fortran que permite una evaluación numérica eficiente de las expresiones analíticas derivadas por SARAH. SPheno cuenta con numerosas rutinas numéricas, independientes del modelo, que permiten realizar operaciones estándar como la diagonalización de matrices o la resolución de ecuaciones diferenciales.



Block MASS # Mass spectrum (GeV)			
# PDG code	mass	PDG- exp mass	particle
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	$1.05658372 \times 10^{-1}$	$(1.056583755 \pm 0.0000000023) \times 10^{-1}$	$\mu$ (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)

Tabla 1: Espectro de masas del modelo.



Universidad de Nariño  
FUNDADA EN 1904



Universidad  
ACREDITADA DE  
RESOLUCIÓN MEN 0002





# CONCLUSIONES

- Implementación el modelo Escotogénico original propuesto por Ernest Ma en 2006 utilizando las herramientas computacionales SARAH y SPheno.
- Obtener el espectro de masas de las partículas del Modelo Estándar y de las partículas exóticas predichas por el modelo.
- Verificar la consistencia de estos resultados con los datos experimentales disponibles.
- Reforzar la relevancia de Modelo Escotogénico como una extensión viable del Modelo Estándar que aborda algunas de sus limitaciones, como la generación de masas de neutrinos y la naturaleza de la materia oscura.

