

# 1. Problema Científico

Con la entrada en operación del LHC, se espera descubrir señales de materia oscura y de modelos que tengan algún mecanismo radiativo para generar masas de neutrinos.

Por otro lado, los recientes datos reportados por las colaboraciones PAMELA y Fermi han impuesto restricciones muy fuertes sobre el flujo de rayos cósmicos provenientes de partículas de materia oscura. Los futuros experimentos de rayos cósmicos, tales como el experimento AMS-02, Planck, IceCube, etc, esperan mejorar la sensibilidad a este tipo de señales. Así mismo, los experimentos de detección directa de materia oscura como DAMA, CDMS, CoGeNT, XENON han creado grandes expectativas por los resultados presentes y los que se espera obtener en los próximos meses. Los experimentos de física de neutrinos y de radiación cósmica de fondo han entrado ya en una era de medidas de precisión.

Con base en lo planteado anteriormente, lo que proponemos en este proyecto es tratar de responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles serían las restricciones impuestas por los recientes y futuros datos de todos estos experimentos sobre modelos que presenten una partícula candidata a materia oscura o que generen masas para los neutrinos?

## 2. Objetivos generales

Proponer modelos que tengan consecuencias medibles en experimentos de aceleradores, de rayos cósmicos, y de detección directa de materia oscura, así como encontrar modelos que expliquen los resultados que puedan ser obtenidos en cualquiera de ellos. En modelos específicos para la generación radiativa de masas de neutrinos, establecer si la matriz de masa de neutrinos resultante puede llegar a ser reconstruida en el LHC. Se considerarán especialmente modelos que a su vez contengan candidatos de materia oscura [1,2]. Para algunos modelos específicos que posean un candidato a materia oscura, estudiar de manera sistemática la fenomenología de estos modelos a luz de los resultados experimentales presentes y futuros. Para este tipo de modelos, establecer cuáles son las restricciones sobre el espacio de parámetros, impuestas por los aceleradores, y por los actuales y futuros experimentos de rayos cósmicos. Se considerarán modelos de violación de paridad R con el neutralino [3] o gravitino [4] como candidatos a materia oscura inestable (CMOI), además del seesaw radiativo [2]. Dichos modelos serán implementados en el paquete computacional Micromegas [5] para establecer las regiones del espacio de parámetros donde se obtiene la densidad de reliquia apropiada y las regiones donde se esperan señales observables en los experimentos de detección directa de materia oscura. Las referencias citadas se encuentran en el Anexo.

### 3. Objetivos específicos

Para el modelo supersimétrico con violación bilineal de paridad R (VBPR) [1], establecer a través de la simulación de eventos con neutralinos en el LHC, con que nivel de precisión se pueden llegar a medir las correlaciones establecidas entre señales de neutralinos y diferentes observables de física de neutrinos.

Calcular el flujo de rayos gamas y confrontarlo con lo observado en experimentos de rayos cósmicos en modelos supersimétricos donde el gravitino es el candidato de materia oscura inestable (CMOI) en la región de masa de hasta 80 GeV. Estudios recientes muestran que en esta región son importantes canales de decaimiento que no se habían considerado previamente [4].

Explicar los resultados de PAMELA y ATIC en modelos supersimétricos con violación trilineal de paridad R (VTPR) y una simetría horizontal con un mecanismo see-saw para la generación de masas de neutrinos y con el gravitino como CMOI.

Obtener las restricciones que los diferentes experimentos de rayos cósmicos presentes y futuros imponen sobre el neutralino o el gravitino como CMOI.

Establecer las señales en aceleradores de modelos con VTPR y violación de número bariónico inducida por una simetría Abelianana anómala  $U(1)$ .

Determinar las regiones del espacio de parámetros compatible con física de neutrinos y con la densidad de materia oscura del seesaw radiativo, para estudiar sus implicaciones experimentales.

Continuar con el estudio sistemático [6] de modelos 3-3-1 de tres y cuatro familias.

## 4. Justificación

Las evidencias más sólidas de nueva física son las medidas de masas y mezclas de neutrinos y de materia oscura.

La enorme actividad experimental actual en física de partículas intenta determinar los modelos que incorporan esa nueva física. Esto requiere un esfuerzo teórico enorme al que esperamos aportar con este proyecto. En los últimos meses se ha reportado un exceso de rayos cósmicos de electrones y positrones. Esto ha dado lugar a un sinnúmero de publicaciones tratando de explicar su origen [2]. Los diferentes experimentos de detección de materia oscura han comenzado a obtener resultados prometedores. El LHC ya ha comenzado a producir colisiones a una energía de 7 TeV.

El presente proyecto se centra en proponer modelos que tengan consecuencias medibles en todos estos experimentos, y encontrar modelos que expliquen los resultados de cualquiera de ellos. Pretendemos establecer observables que no sólo permitan descubrir [1] sino también comprobar si el VBPR es el mecanismo de generación de masas de neutrinos, así como estudiar las implicaciones de modelos con un candidato de materia oscura.

## 5. Aproximación metodológica

Para un modelo que incluya mecanismos de generación radiativa de masas de neutrinos se determina el espacio de parámetros compatible con los datos experimentales sobre física de neutrinos, se calculan los branchings de decaimiento y las secciones eficaces y se establecen correlaciones entre estos observables y los datos de física de neutrinos [7]. Para el caso de VBPR todo esto ya ha sido implementado en el programa computacional SPheno [8]. Finalmente se hace una simulación con PYTHIA [9] de la factibilidad de descubrir el modelo en aceleradores, como hemos venido haciendo con VBPR en [1], y de la viabilidad de medir las correlaciones establecidas, que es uno de los objetivos del proyecto.

Como hemos ya hecho en [3], obtendremos resultados numéricos para los flujos de rayos cósmicos producidos en el decaimiento del CMOI usando PYTHIA. A partir de los resultados se analizará el tiempo de vida del CMOI en términos de su masa con el fin de obtener y analizar cuáles serían las regiones del espacio de parámetros restringidas o excluidas por los experimentos de rayos cósmicos.

En este proyecto haremos una implementación del modelo de seesaw radiativo en Micromegas con el cual se pueden hacer los cálculos de densidad de reliquia, secciones eficaces, amplitudes de decaimiento, etc. Una vez establecidas las regiones del espacio de parámetros relevantes, se procederá con el método para mecanismos de generación radiativa de masas de neutrinos descrito anteriormente.

## 6. Resultados esperados

Publicar al menos 4 artículos internacionales con algunos de los siguientes resultados:

Determinación de la factibilidad del LHC para determinar las correlaciones de VBPR entre el cociente de branchings de neutralino a  $W$  mu y  $W$  tau con el ángulo de mezcla atmosférico de neutrinos, así como de la correlación entre la longitud de decaimiento del neutralino y la diferencia de masa al cuadrado atmosférica.

Determinación del flujo de rayos gamas y su confrontación con lo observado en experimentos de rayos cósmicos en modelos supersimétricos donde el gravitino es el CMOI con masa de hasta 80 GeV.

Determinación de acoplamientos, vida media y masa del gravitino como CMOI en modelos de ruptura trilineal de paridad R (RTPR) con violación de número leptónico, que pueda explicar el exceso de positrones en rayos cósmicos. Predicciones de flujo de positrones y rayos gama del modelo para experimentos futuros de rayos cósmicos.

Determinación de las restricciones que los diferentes experimentos de rayos cósmicos presentes y futuros imponen sobre el neutralino como CMOI.

Determinación de las señales en el LHC para 1) Modelos de RTPR con violación de número bariónico y mecanismo see-saw para masas de neutrinos, inducida por una simetría Abeliana anómala  $U(1)$ . 2) Regiones del espacio de parámetros compatible con física de neutrinos y densidad de materia oscura del seesaw radiativo. 3) Modelos 3-3-1 con cuatro familias

Formación 1 estudiante de maestría y 1 de doctorado.

[?, ?, ?, ?, ?] [?] [?] [?, ?] [?] [?, ?, ?] [?, ?, ?, ?] [?] [?]

A continuación se listan especialmente artículos de nuestro Grupo y colaboradores internacionales sobre los tópicos del preproyecto. El estado actual de la literatura en las diferentes áreas se pueden encontrar en las referencias de cada uno de los artículos [?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?]