



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas

*Responsable de tutorización:* Diego García Gámez

*Correo electrónico:* dgarcia@ugr.es

*Departamento:* Física Teórica y del Cosmos

*Área de conocimiento:* Física Teórica

*Responsable de cotutorización:*

*Correo electrónico:*

*Departamento:*

*Área de conocimiento:*

*(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)*

*Estudiante que propone el trabajo:* Víctor Bayona Marchal

*Título:* Efectos nucleares en experimentos de oscilaciones de neutrinos en LArTPCs

*Número de créditos:* 6 ECTS 12 ECTS

*Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):*

- 1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
- 2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
- 3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
- 4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
- 5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
- 6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

*Descripción y resumen de contenidos:*

Los neutrinos atmosféricos se producen debido a las interacciones de los rayos cósmicos con la atmósfera terrestre. Estos neutrinos proceden fundamentalmente de las desintegraciones de mesones y por lo tanto serán de tipo muón y electrón en una proporción de dos a uno, respectivamente. Sin embargo, debido a las masas no degeneradas de los neutrinos, estos pueden oscilar y cambiar su naturaleza mientras se propagan, y neutrinos atmosféricos de tipo tau pueden aparecer y ser detectados en nuestros detectores de partículas.

Podría decirse que el neutrino tau es la partícula menos comprendida del Modelo Estándar, y por lo tanto cualquier estudio relacionado con ésta es de gran interés. La identificación de estos neutrinos mediante sus interacciones de corriente cargada (CC), donde se genera su leptón compañero, se hace extremadamente complicada debido a la corta vida media de la partícula tau. Esto hace que la estrategia típicamente utilizada para identificar estas interacciones se base en medidas precisas del momento transversal (con respecto a la dirección del neutrino) en el estado final [1]. Si ignoramos los efectos nucleares, en el caso de neutrinos del muon y del electrón el momento transversal debe ser cero para topologías donde se reconstruyen todas las partículas en el estado final (partículas cargadas). Sin embargo, tras la desintegración del tau siempre se produce al menos un neutrino (del tau) en el estado final, dando lugar a valores no despreciables de momento transversal.

Las Cámaras de Proyección Temporal de Argón Líquido (LArTPCs) son la tecnología elegida para varios de los más relevantes experimentos de neutrinos actuales (SBND, MicroBooNE, ICARUS [2]) y futuros (DUNE [3]) por su alta capacidad para la reconstrucción de sucesos (posición, tiempo y energía). Pero debemos tener en cuenta que los núcleos de argón tienen un elevado número de nucleones y por lo tanto efectos nucleares, como el movimiento de Fermi, las interacciones de estado final (FSI), o la correlación entre nucleones [4, 5, 6], afectarán de manera importante la topología y cinemática de los estados finales tras las interacciones de los neutrinos.

#### *Actividades a desarrollar:*

En este trabajo se pretende que el estudiante se familiarice con el formalismo matemático de las oscilaciones de neutrinos a tres familias. Por otro lado, se estudiarán los principales retos experimentales para distinguir entre interacciones de neutrinos de diferentes sabores (muón, electrón y tau). Todo se llevará a cabo dentro del contexto de la tecnología LArTPC ampliamente utilizada en el campo de la física de neutrinos. Finalmente, se pretende cuantificar los efectos nucleares en las variables cinemáticas típicamente utilizadas para seleccionar sucesos de neutrinos tipo tau. Para ello se usarán simulaciones en LArSoft [7] de interacciones de neutrinos de diferente sabor y energía, dentro del detector Short Baseline Near Detector (SBND [8]), situado en Fermilab y que empezará a tomar datos en el 2024.

#### *Objetivos planteados*

Desarrollo matemático para obtener las probabilidades de oscilaciones de neutrinos a tres familias.

Entender cómo funciona la tecnología LArTPC.

Aprender a utilizar la herramienta de análisis ROOT [9], estándar en el campo de la Física de Partículas experimental.

Reconstruir las variables cinemáticas en el plano transversal para una muestra de neutrinos del muón (dominantes en el flujo de neutrinos atmosférico y en los haces de neutrinos artificiales), y compararlas con los resultados para una muestra de neutrinos del tau.

Definir una estrategia de selección de neutrinos de tipo tau basada en los resultados obtenidos. Cuantificar eficiencia y pureza.

Escribir un informe final que motive el trabajo realizado, y que describa la metodología y resultados obtenidos.

#### ***Bibliografía***

[1] T. Cai et al. Nucleon binding energy and transverse momentum imbalance in neutrino-nucleus reactions. Phys. Rev. D, 101:092001, May 2020.

[2] P. Machado, O. Palamara, D. Schmitz. The Short-Baseline Neutrino Program at Fermilab. Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 69 (2019) 363-387

[3] <https://www.dunescience.org/>

[4] Tomasz Golan, Cezary Juszczak, and Jan T. Sobczyk. Effects of final-state interactions in neutrino-nucleus interactions. Phys. Rev. C, 86:015505, Jul 2012.

[5] M. Veltri, Nuclear Physics B - Proceedings Supplements, Volume 112, 2002, A study of nuclear effects in  $\nu$  interactions with the NOMAD detector.

[6] P. Astier et al. Nuclear Physics B. 609. 255-279. 10.1016. A study of backward going p and  $\pi^-$  in  $\nu\mu$  CC interactions with the NOMAD detector.

[7] <https://larsoft.org/>

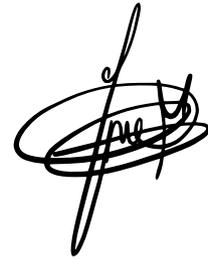
[8] <http://sbn-nd.fnal.gov/>

[9] <https://root.cern.ch>

Firma del estudiante  
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Firma del responsable de tutorización  
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

A handwritten signature in black ink, featuring a large circular loop and a vertical stroke.

Firma del responsable de cotutorización *(en su caso)*  
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

En Granada, a 15 de Mayo de 2023