

Explorando el Universo con IA: Nuevos Métodos en la Detección de Radiación y Rayos Cósmicos

USFQ - ESPOCH
Quito - Ecuador

22 - 26 Septiembre, 2025

Total horas: 40
E-mail: dcazar@usfq.edu.ec

Teoría: 16 - Práctica: 24
Web: <https://lagoproject.net/>

Instructores:

Luis Otiniano Ormachea <https://orcid.org/0000-0003-1453-5789>
Mauricio Suárez Durán <https://orcid.org/0000-0003-1451-630X>

Descripción del curso

El estudio de la física nuclear y de astropartículas es fundamental para comprender cómo la radiación, ya sea de origen natural, artificial o cósmico, interactúa con nuestro entorno. Estas disciplinas permiten analizar los procesos físicos que han modelado la evolución del universo, la influencia de la actividad solar en la Tierra, la interacción de la radiación con la materia entre otros.

A partir de este conocimiento, surgen aplicaciones en diversas áreas de la ciencia y la tecnología como la física médica y la protección radiológica, el monitoreo ambiental, el clima espacial y la geofísica. Además, el estudio de la radiación natural, artificial y cósmica facilita la caracterización de impulsa el desarrollo de sistemas avanzados de detección de radiación y partículas para aplicaciones médicas, científicas o industriales, así como el desarrollo de innovativos métodos de simulación computacional y análisis de datos.

Este curso ofrece una introducción completa a la detección de radiación y partículas, abarcando desde la fenomenología hasta el estudio de las metodologías experimentales más avanzadas. Se explorarán los mecanismos de interacción de la radiación con la materia y las tecnologías utilizadas para su detección, incluyendo detectores Cherenkov, centelladores plásticos, sensores gaseosos y semiconductores. A través del uso de herramientas computacionales especializadas, los participantes aprenderán a simular la respuesta de los detectores bajo diferentes estímulos (fuentes de radiación o lluvias extensas de astro-partículas) y optimizar su diseño en función de la aplicación. Estas habilidades permitirán a los asistentes comprender cómo se identifican

y caracterizan los eventos de radiación en experimentos científicos y aplicaciones industriales, proporcionando una visión integral sobre la instrumentación utilizada en este campo.

Uno de los aspectos más innovadores del curso es la integración de inteligencia artificial y machine learning en el análisis de datos de detección de radiación. Dado el creciente volumen de datos generados por los experimentos, las técnicas de aprendizaje automático se han convertido en herramientas esenciales para la clasificación de eventos, la reducción de ruido y la identificación de patrones complejos en los registros experimentales. Los participantes implementarán algoritmos de clustering, redes neuronales y modelos de clasificación basados en deep learning, utilizando herramientas de código abierto y enfoque de ciencia abierta. A través de ejemplos prácticos y el uso de datos reales, se explorará cómo la inteligencia artificial optimiza la identificación de señales en detectores de partículas y mejorar la precisión de los análisis científicos.

Esta combinación de instrumentación avanzada y análisis computacional prepara a los profesionales para enfrentar los desafíos actuales en astrofísica, física médica, monitoreo ambiental y clima espacial, aplicando metodologías de vanguardia en sus áreas de especialización.

En este curso se desarrollan dos tipos de actividades complementarias que permiten la transmisión efectiva del conocimiento: estudio de los principios básicos mediante exposiciones de los instructores y talleres prácticos donde los participantes podrán aplicar los conocimientos adquiridos a situaciones reales como pueden ser la optimización de la respuesta de un detector y el análisis de los datos obtenidos.

Este curso está dirigido a profesionales e investigadores en física, ingeniería y ciencias de la computación interesados en la detección de radiación, instrumentación y análisis de datos. Los participantes adquirirán una formación integral que les permitirá aplicar estos conocimientos en proyectos de investigación, experimentos científicos y aplicaciones industriales. Con un enfoque práctico, cada módulo del curso proporcionará herramientas teóricas y computacionales necesarias para abordar problemas complejos en la detección de partículas y el procesamiento de datos científicos.

Objetivos

Capacitar a profesionales en física e ingeniería en los fundamentos, las técnicas experimentales y computacionales de detección de radiación y partículas, incluyendo el diseño y simulación de detectores, así como el análisis avanzado de grandes cantidades de datos mediante Inteligencia Artificial y Machine Learning.

- Estudiar la fenomenología de la radiación cósmica y nuclear, incluyendo su propagación en la atmósfera y su interacción con la materia, así como los principios de detección en diferentes medios.
- Explorar la física y el diseño de detectores de radiación, con énfasis en tecnologías como detectores Cherenkov de agua (WCD), centelladores plásticos, detectores gaseosos y semi-conductores.
- Comprender los principios de detección y Adquisición de Datos (DAQ): respuesta instrumental, calibración de detectores, procesamiento de señales y los desafíos técnicos en la construcción y operación de sistemas de detección de radiación para física de astropartículas, monitoreo ambiental y física nuclear.

- Utilizar herramientas computacionales para la simulación y análisis de detectores, incluyendo el uso de software para modelar la respuesta de los detectores ante diferentes flujos de partículas, escenarios geográficos y experimentales.
- Aplicar técnicas de machine learning y herramientas de IA en el análisis de datos de radiación y eventos detectados, implementando algoritmos de clasificación, redes neuronales y modelos de detección de anomalías (reducción de ruido, clustering y detección de eventos) para grandes volúmenes de datos.

Logros de aprendizaje

1. Analizar la fenomenología de la radiación cósmica y nuclear, en particular los principales mecanismos de interacción con la materia.
2. Comprender los principios de detección de radiación y partículas, diferenciando los distintos métodos, sus limitaciones y sus aplicaciones en diversos contextos científicos e industriales.
3. Desarrollar simulaciones computacionales avanzadas para modelar flujos de partículas y fuentes de radiación, evaluando la respuesta de los detectores y optimizando su configuración experimental
4. Aplicar técnicas de inteligencia artificial y machine learning para el análisis de datos de detección de radiación y partículas, optimizando la clasificación de eventos y la reducción de ruido.

Prerequisitos

El curso está abierto a profesionales y estudiantes con interés en Física de partículas, astropartículas y radiación con conocimientos básicos en:

- Física Moderna y Nuclear
- Programación en Python
- Estadística

Para ser admitido al curso el candidato debe presentar un ensayo corto (máximo 4 páginas) sobre un tema relacionado al curso.

Contenidos y Actividades

Contenidos

1. Introducción a la Física de Radiación y Rayos Cósmicos (4 horas)
 - Partículas elementales
 - Campos

- Fuentes de radiación
 - Origen y composición de los rayos cósmicos
2. Interacción Radiación – Materia (4 horas)
 - Interacción de partículas cargadas
 - Interacción de rayos gamma
 - Interacción de neutrones
 - Exposición a la radiación
 3. Detectores de Radiación y Rayos Cósmicos (4 horas)
 - Tipos de detectores
 - Espectro de alto de pulso PHS
 - Curvas de conteo y Plateaus
 - Resolución de Energía
 - Eficiencia de Detección
 - Tiempos de Respuesta
 4. Principios de IA y Machine Learning (4 horas)
 - Conceptos generales
 - Aprendizaje Supervisado y no supervisado
 - Regresión y Clasificación
 - Ejemplos y Aplicaciones
 5. Simulaciones con MeiGA y Geant4, Corsika y ARTI (4 horas)
 - Introducción a las herramientas
 - Modelos y sets de datos
 - Ejemplos y Aplicaciones
 6. Análisis de Datos de Simulaciones (8 horas)
 - Introducción
 - Trabajo práctico
 - Presentación de resultados
 7. Análisis de datos de Detectores (8 horas)
 - Introducción
 - Trabajo práctico
 - Presentación de resultados

Modalidad

- El curso se desarrollará de manera híbrida
- Cada unidad combina sesiones teóricas, prácticas con trabajo grupal y/o individual.

Actividades

- 5 sesiones teóricas (15 horas)
- 5 sesiones prácticas (10 horas)
- 3 trabajos grupales (12 horas)
- 1 sesión de exposiciones (3 horas)

Criterios de evaluación

Actividad	Porcentaje
Tareas grupales	20
Talleres y ejercicios	30
Exposición	25
Quizes	25

Table 1: Criterios de evaluación

Aprobación

- Para conseguir el certificado de aprobación del curso el estudiante debe obtener mas del 80% de calificación total en las actividades descritas en la tabla 1

Materiales y recursos

Recursos Informáticos

- MeIGA
- Geant4
- Corsika
- ARTI

Recursos Hardware

- Detectores de partículas y radiación
- Detectores Cherenkov ¹

¹Presentes en el Laboratorio de dEtección de Partículas, Astropartículas y RaDiación Leopard USFQ

Bibliografía

- Knoll, G. F. (2010). Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons.
- Martin Erdmann, Jonas Glombitza, Gregor Kasieczka. Deep Learning For Physics Research. World Scientific. 2021.
- P.K.F. Grieder. Cosmic Rays at Earth. Elsevier Science. 2001. Thomas K. Gaisser, Ralph Engel, Elisa Resconi. Cosmic Rays and Particle Physics. Cambridge University Press; 2nd edition (June 24, 2016).
- PHOTOMULTIPLIER TUBES Basics and Applications - Hamamatsu Co. A technical guide to silicon photomultipliers (MPPC) - Hamamatsu Co.
- Peralta, T. T., Molina, M. G., Otiniano, L., Asorey, H., Sidelnik, I., Taboada, A., ... & LAGO Collaboration. (2023). Particle classification in the LAGO water Cherenkov detectors using clustering algorithms. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1055, 168557.
- Otiniano, L., Taboada, A., Asorey, H., Sidelnik, I., Castromonte, C., Fauth, A., & LAGO Collaboration. (2023). Measurement of the muon lifetime and the Michel spectrum in the LAGO water Cherenkov detectors as a tool to enhance the signal-to-noise ratio. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1056, 168567.
- Sarmiento-Cano, C., Suárez-Durán, M., Calderón-Ardila, R. et al. The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations. Eur. Phys. J. C 82, 1019 (2022).
- A. J. Rubio-Montero, R. Pagán-Muñoz, R. Mayo-García, A. Pardo-Díaz, I. Sidelnik and H. Asorey, "A Novel Cloud-Based Framework For Standardized Simulations In The Latin American Giant Observatory (LAGO)," 2021 Winter Simulation Conference (WSC), Phoenix, AZ, USA, 2021, pp. 1-12
- L. H. Arnaldi, D. Cazar, M. Audelo and I. Sidelnik, "The new data acquisition system of the LAGO Collaboration based on the Redpitaya board," 2020 Argentine Conference on Electronics (CAE), Buenos Aires, Argentina, 2020, pp. 87-92