

## Medidas conjuntas de flujo de neutrones cósmicos y variables locales a lo largo de Chile: Preparación y campañas experimentales.

Francisco Molina<sup>1,2\*</sup>, Marcelo Zambra<sup>1,3</sup>, Jaime Romero-Barrientos<sup>1</sup> Franco López-Usquiano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones CEFNEN, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Nueva Bilbao 12501, Las Condes Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Físicas, Universidad Andres Bello, Sazié 2212, 837-0136, Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Universidad Diego Portales, Manuel Rodríguez Sur 415, Santiago, Chile.

\*Francisco.Molina@cchen.cl

### Resumen

El flujo de neutrones como producto de reacciones de rayos cósmicos primarios con núcleos atómicos de la atmósfera en medidas a nivel del suelo,  $\Phi_G(s,r_c,d,E,w)$  depende de la actividad solar  $s$ , de la profundidad atmosférica (altura respecto al nivel del mar)  $d$ , de la latitud y longitud de la medida (corte de rigidez geomagnética)  $r_c$ , de la energía del neutrón  $E$  (desde  $\mu\text{eV}$ -  $\text{TeV}$ ) y de la humedad del suelo  $w$  [1]. En especial  $w$  afecta al flujo de neutrones desde el rango térmico hasta neutrones rápidos ( $E \sim 1 \text{ MeV}$ ). Al rededor del mundo existen  $\sim 50$  estaciones operativas de monitoreo continuo de neutrones [2], ubicados en su mayoría en el hemisferio norte en latitudes altas, utilizando dos tipos de monitores estandar IGY [3] y NM64 [4]. En particular la función respuesta de detección este último monitor, es sensible a neutrones de rápidos y epitérmicos en un 5-10% [5]. Así el conteo de neutrones del monitor NM64 se ve afectado por las condiciones locales en el lugar de la medida tales como humedad del suelo, humedad ambiental y tipo de suelo. En la última década la comunidad de Neutron Monitor Data Base NMDB [2] se ha interesado en entender los cambios estacionales del conteo de neutrones relacionados con la acumulación de nieve sobre las estaciones de monitoreo [6,7]. Este proyecto propone estudiar el flujo de neutrones en conjunto con medidas de variables locales que puedan afectar el conteo de neutrones como la humedad ambiental, humedad del suelo y componentes químicos del suelo, como boro, cadmio y otros materiales hidrogenados además del agua. Chile se presenta como el Laboratorio Natural ideal para realizar estas medidas debido a su diversidad climática, sus distintos tipos de suelo y su longitudinalidad. En este trabajo se presenta la idea de investigación, la preparación y primeros resultados de los dos equipos que se utilizaran en las campañas experimentales: el espectrometro de neutrones LIN y una estación meteorologica portatil RAWS de Campell Scientific [8].

**Agradecimientos:** Los autores agradecen el compromiso de las siguientes instituciones que albergarán las campañas experimentales cortas entre 2022-2026: Instituto Milenio SAPHIR, Universidad Católica del Norte, Universidad de Atacama, Universidad de la Serena, Universidad de Viña del Mar, Universidad Federico Santa María, Universidad de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Talca, Universidad de Concepción, Universidad de la Frontera, Universidad Austral y Universidad de Magallanes. FM y MZ agradecen el apoyo financiero de ANID/FONDECYT Regular 1221364.

### Referencias

- [1] T.Sato and K.Niita, 'Analytical functions to predict cosmic-ray neutron spectra in the atmosphere'. Radiation Research 166, 544-555 (2006)
- [2] <https://www.nmdb.eu/>
- [3] Simpson, J.A.: 1957 'Cosmic radiation neutron intensity monitor'. Ann. Int. Geophys. Year 4, 351-373.
- [4] Hatton, C.J.; Carmichael, H.: 1964. 'Experimental Investigation of the NM-64 Neutron Monitor' Can. J. Phys. 42, 2443-2472, 1964.

- [5] Pioch, C. et al.: 2011 'Measurement of cosmic ray neutrons with Bonner sphere spectrometer and neutron monitor at 79°N', Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 626-627, (2011) 51-57.
- [6] Kobelev P.G., Trefilova L.A., Yanke V.G. et al. 'Monitoring of the thickness of the snow cover based on the neutron component data of cosmic rays', Proc. 37th ICRC, Berlin, PoS(ICRC2021)282, 2021.
- [7] Kobelev P.G., Trefilova L.A., Yanke V.G. et al. Snow Effect on the neutron monitor network for 2018-2019 Proc. of virtual symposium on cosmic ray studies with neutron detectors. 2020. Cosmic ray studies with neutron detectors, V.1, P183-190, 2021.
- [8] <https://www.campbellsci.com/raws-f>