

A vibrant, stylized illustration of a night sky with a rainbow, stars, and a field with a fence. The background is a deep blue with a dark, textured ground. A bright, multi-colored rainbow arches across the upper left. Several orange stars and smaller yellow dots are scattered across the sky. In the foreground, a white fence runs across the field. The overall style is modern and celebratory.

ASTRO FEST 24

BUARAMANGA

Rayos cósmicos y agricultura de precisión: estimación de la humedad en el suelo

Luigui Miranda

luigui2248385@correo.uis.edu.co

Christian sarmiento, Luis Nuñez, Luis Piñeres, Hernán Asorey



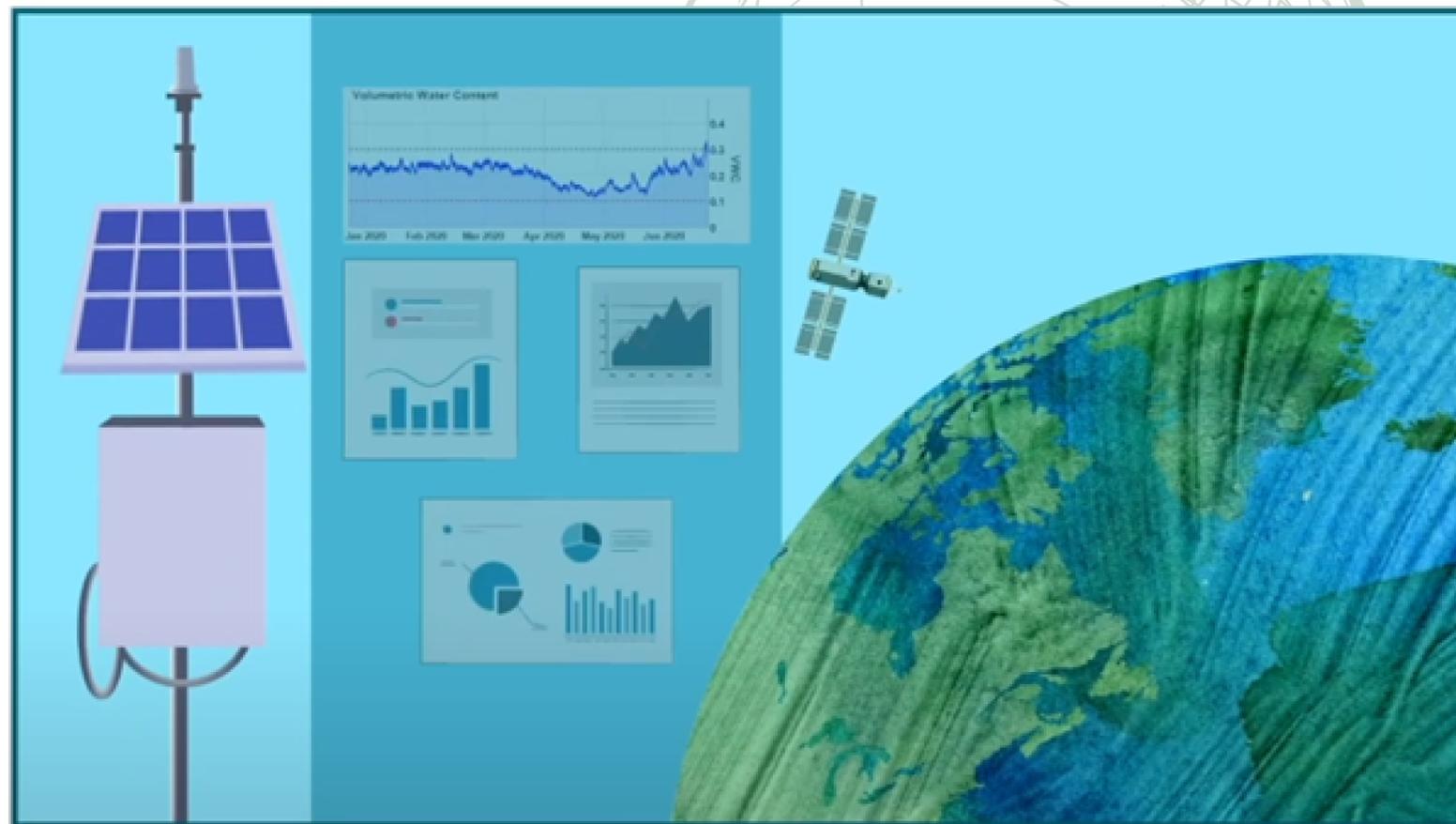
Contenido

- Agricultura de precisión
- Rayos cósmicos y neutrones cósmicos ¿Por qué neutrones?
- Simulación de la interacción de neutrones con suelo húmedo
 - Flujo mono-energético
 - Flujo artificial y simulado con CORSIKA/Geant4
- Conclusiones

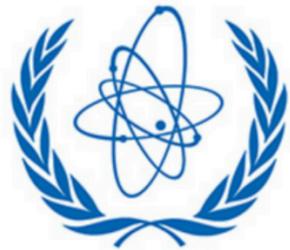


Agricultura de precisión

La agricultura de precisión se enfoca en la integración de tecnologías como la detección remota, la automatización y el análisis de datos, con el propósito de supervisar y optimizar los factores clave en el cultivo, tales como el suelo, el agua, la luz y los nutrientes



Agricultura de precisión



IAEA

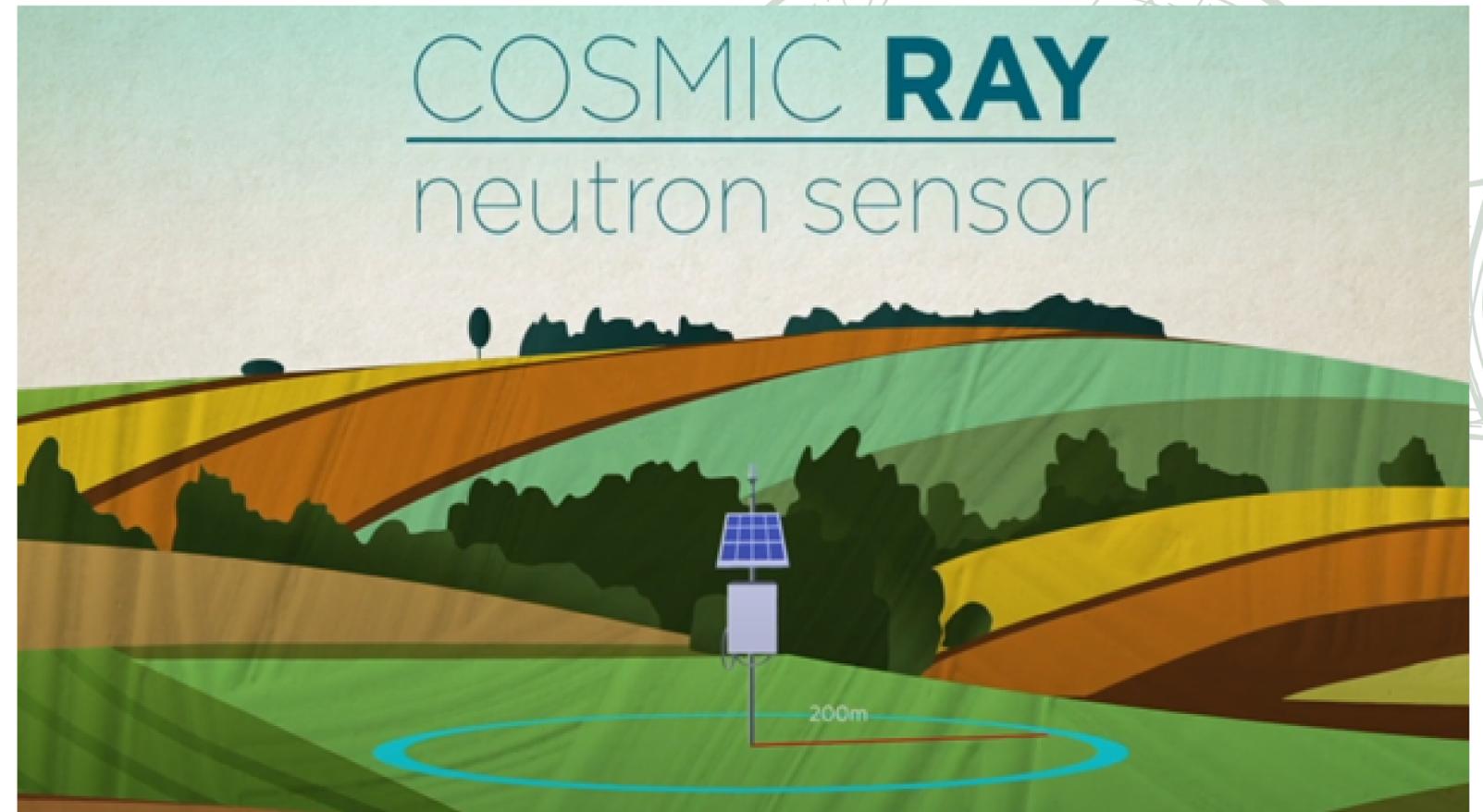
International Atomic Energy Agency



**AGRICULTURA DE PRECISIÓN
PRECISION FARM**

El potencial del estudio de la espectroscopia para predecir el contenido de nitrógeno y materia orgánica en el suelo con la combinación del GIS y las aplicaciones de la Agricultura de Precisión

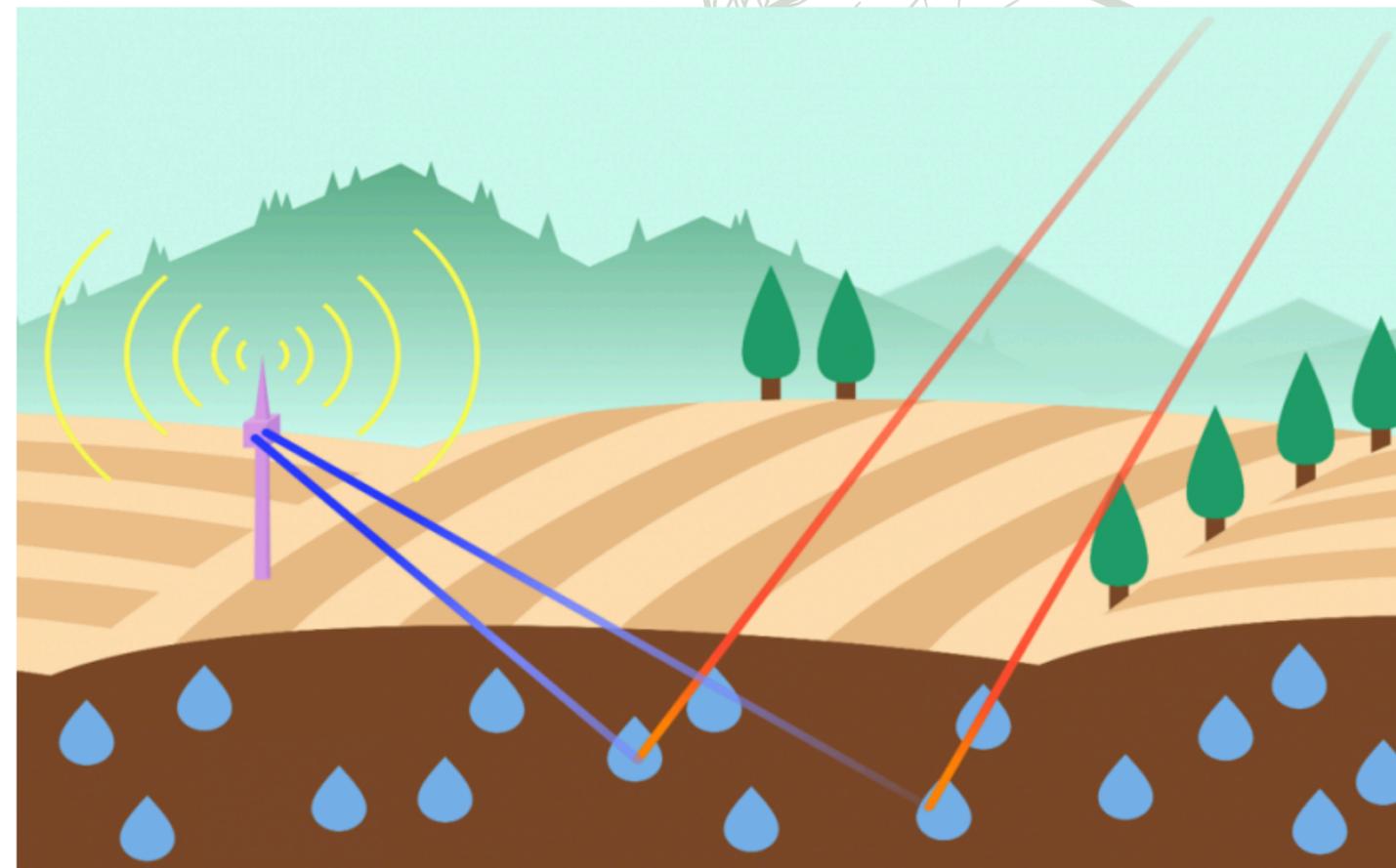
Pereira, A. et al. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 14(1), 27-33, (2005).



Cosmic Ray Neutron Sensor (CRNS): From Cosmic Rays to Soil Moisture

Agricultura de precisión

Pero... ¿Podemos utilizar los rayos cósmicos para determinar la humedad en el suelo?

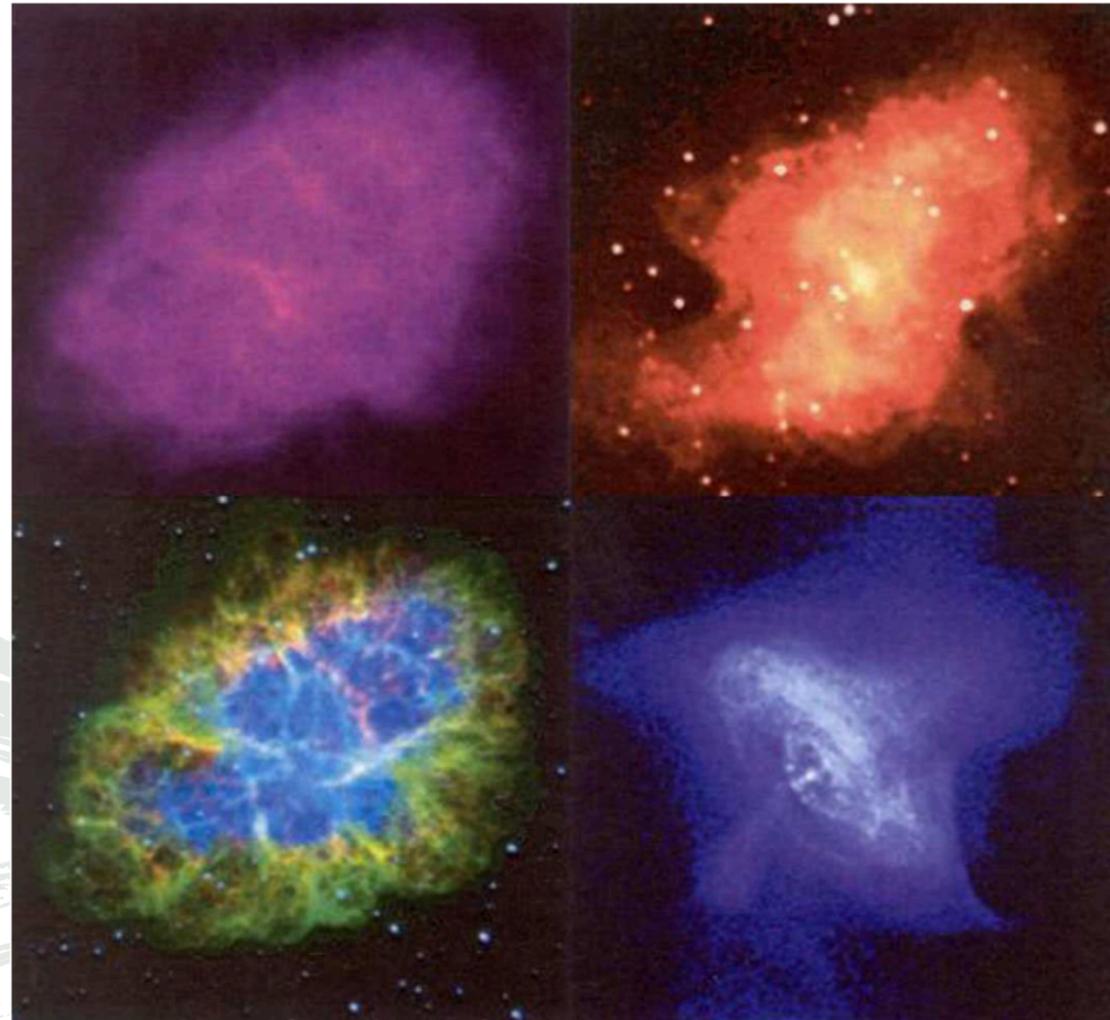


GEANT4
A SIMULATION TOOLKIT

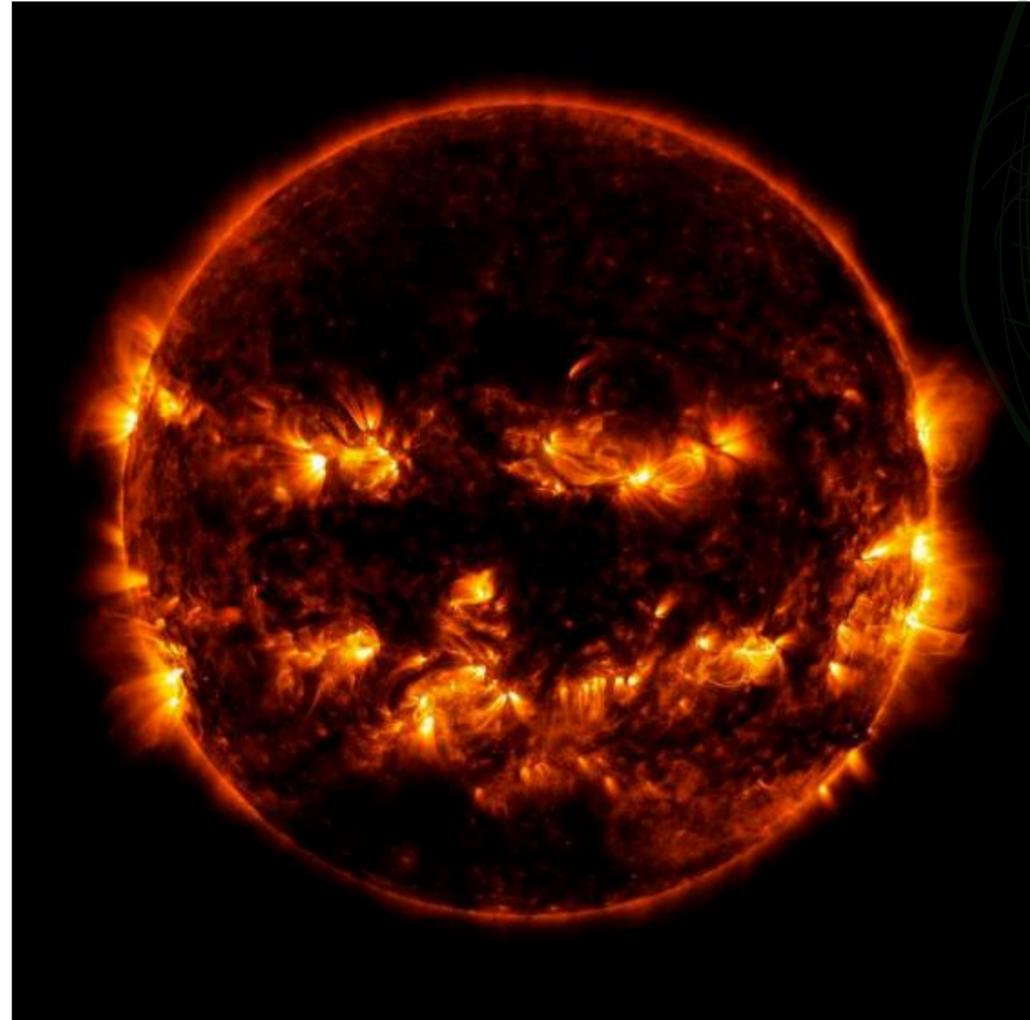


Rayos cósmicos

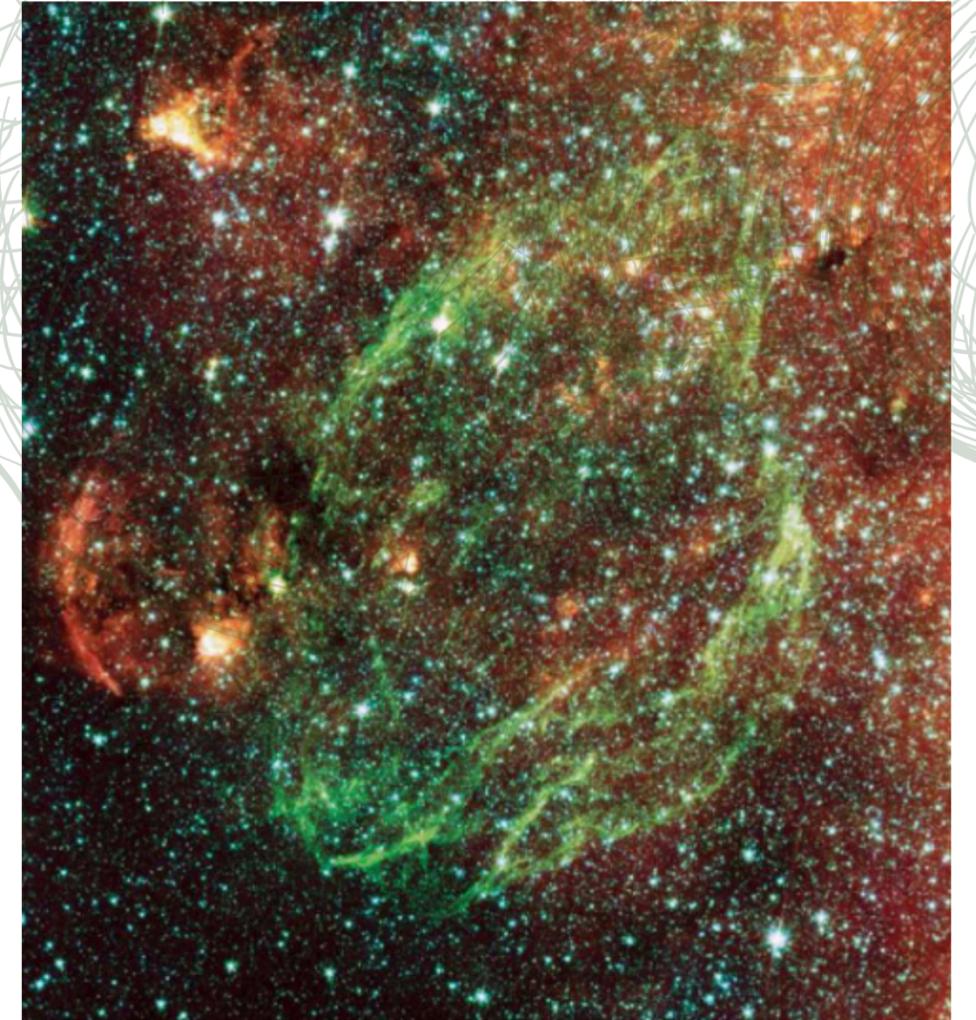
Nebulosas



Sol



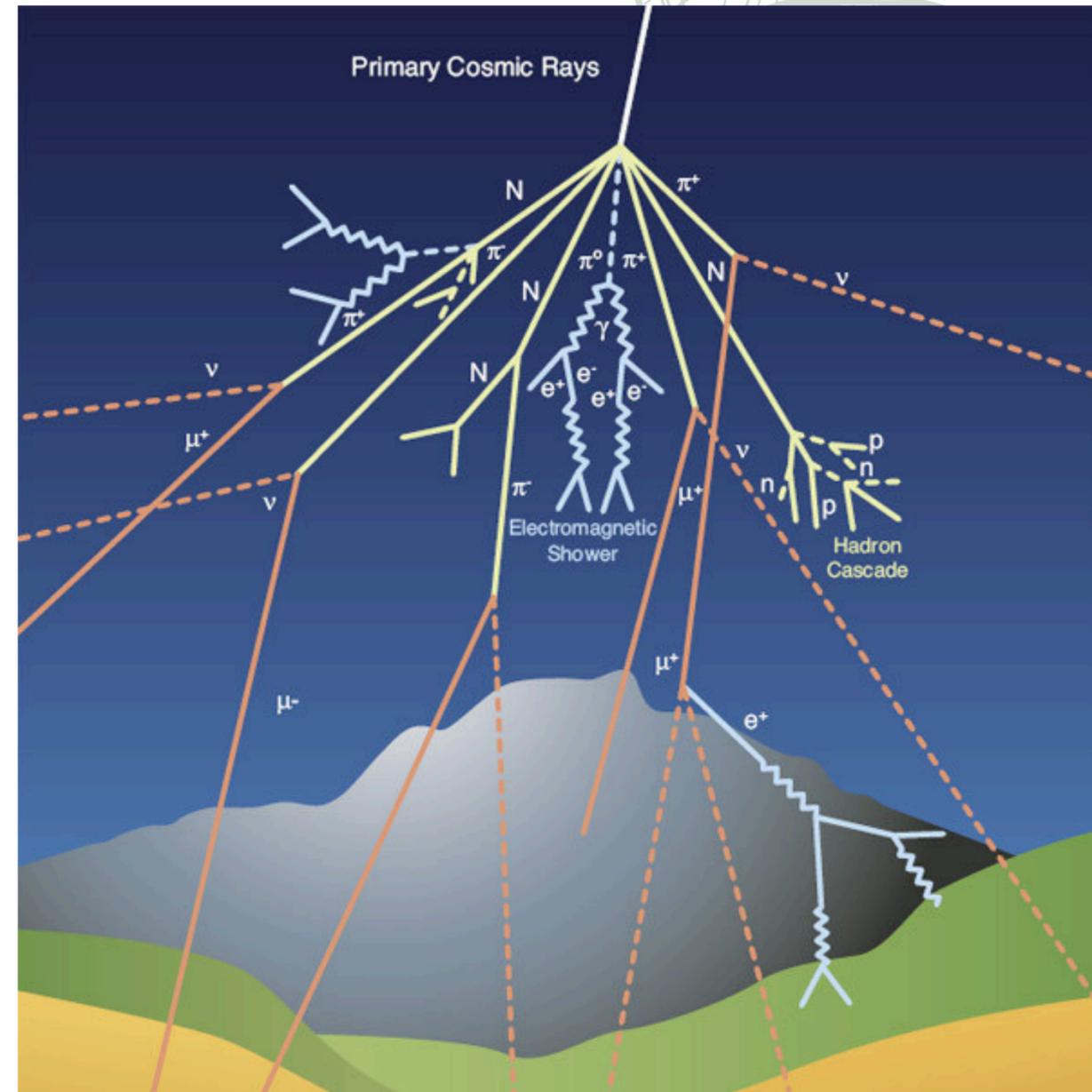
Remanentes de supernova



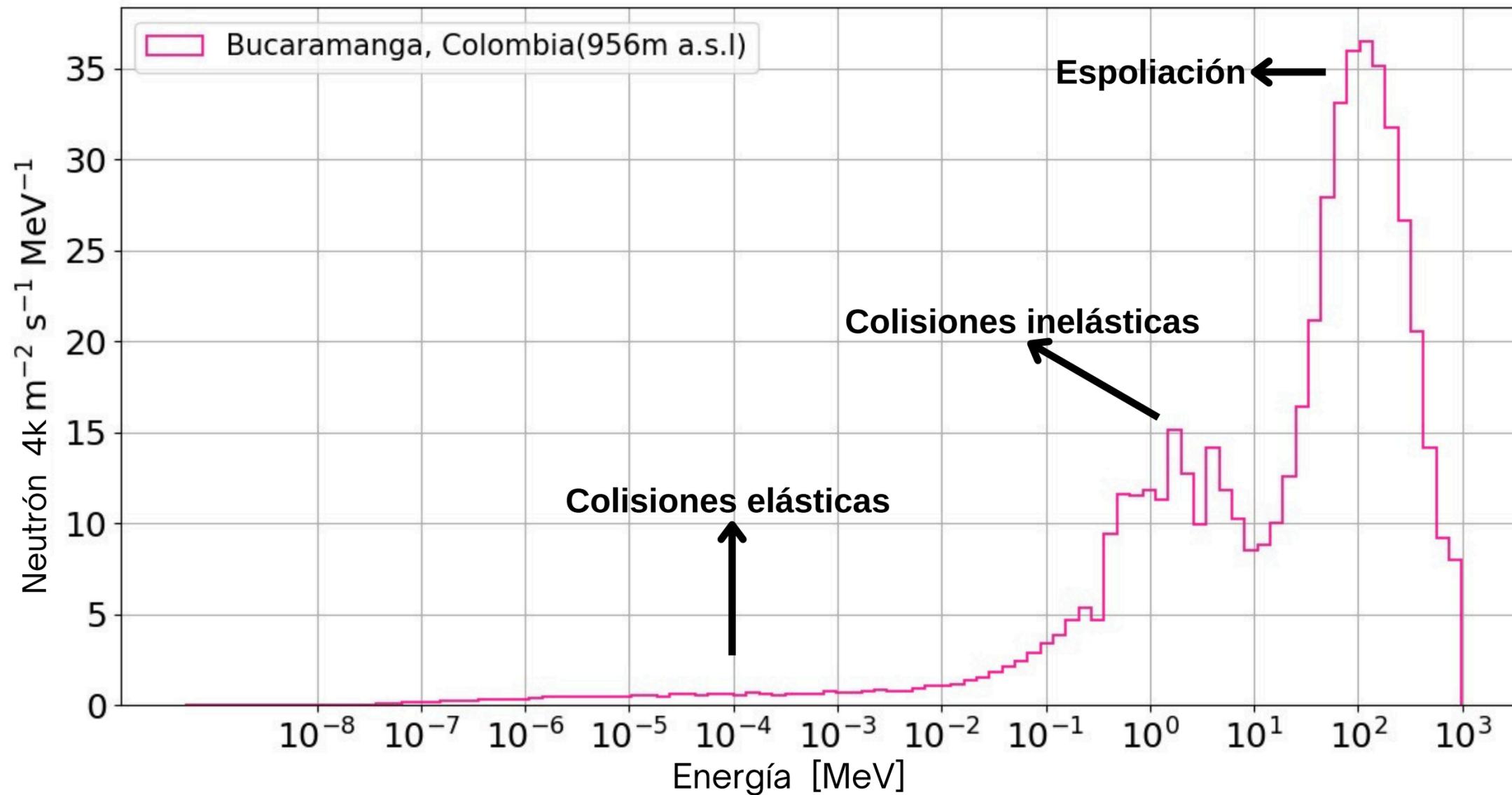
Lluvias extendidas de astropartículas

Componentes

- Electromagnética
- Muónica
- Hadrónica



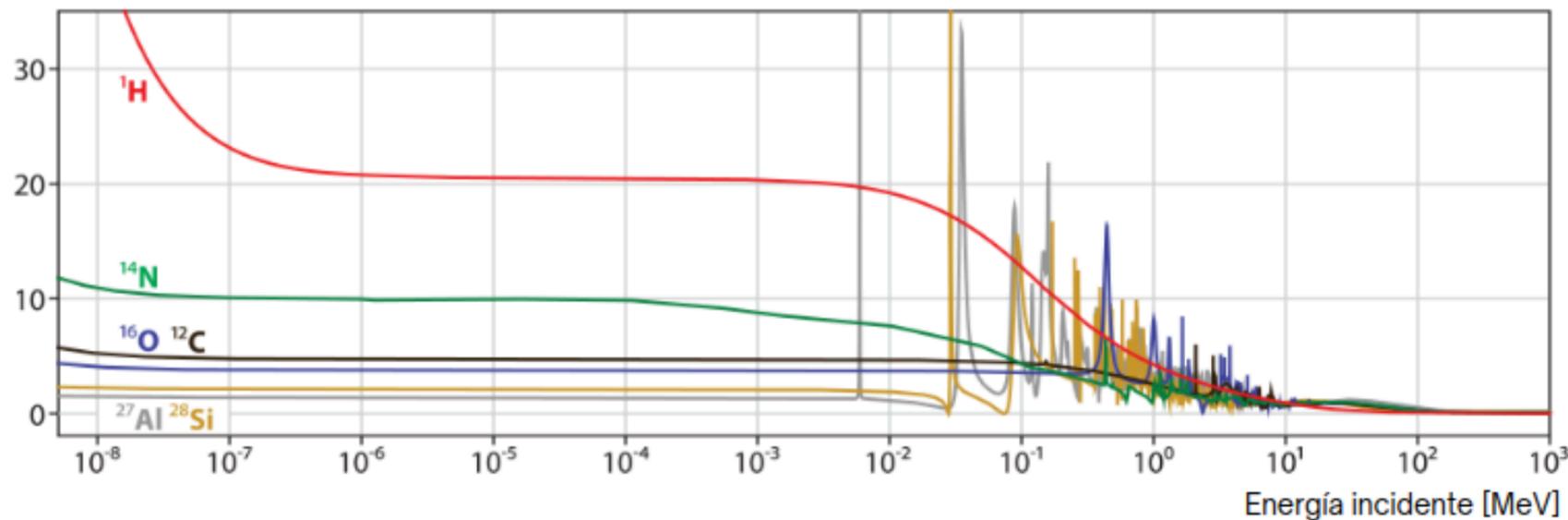
Producción de neutrones



Domínguez, Y. B. Master thesis in High Energy Physics. (2023)

Relación entre los neutrones y el hidrogeno

Sección eficaz de dispersión de un neutrón [barn]



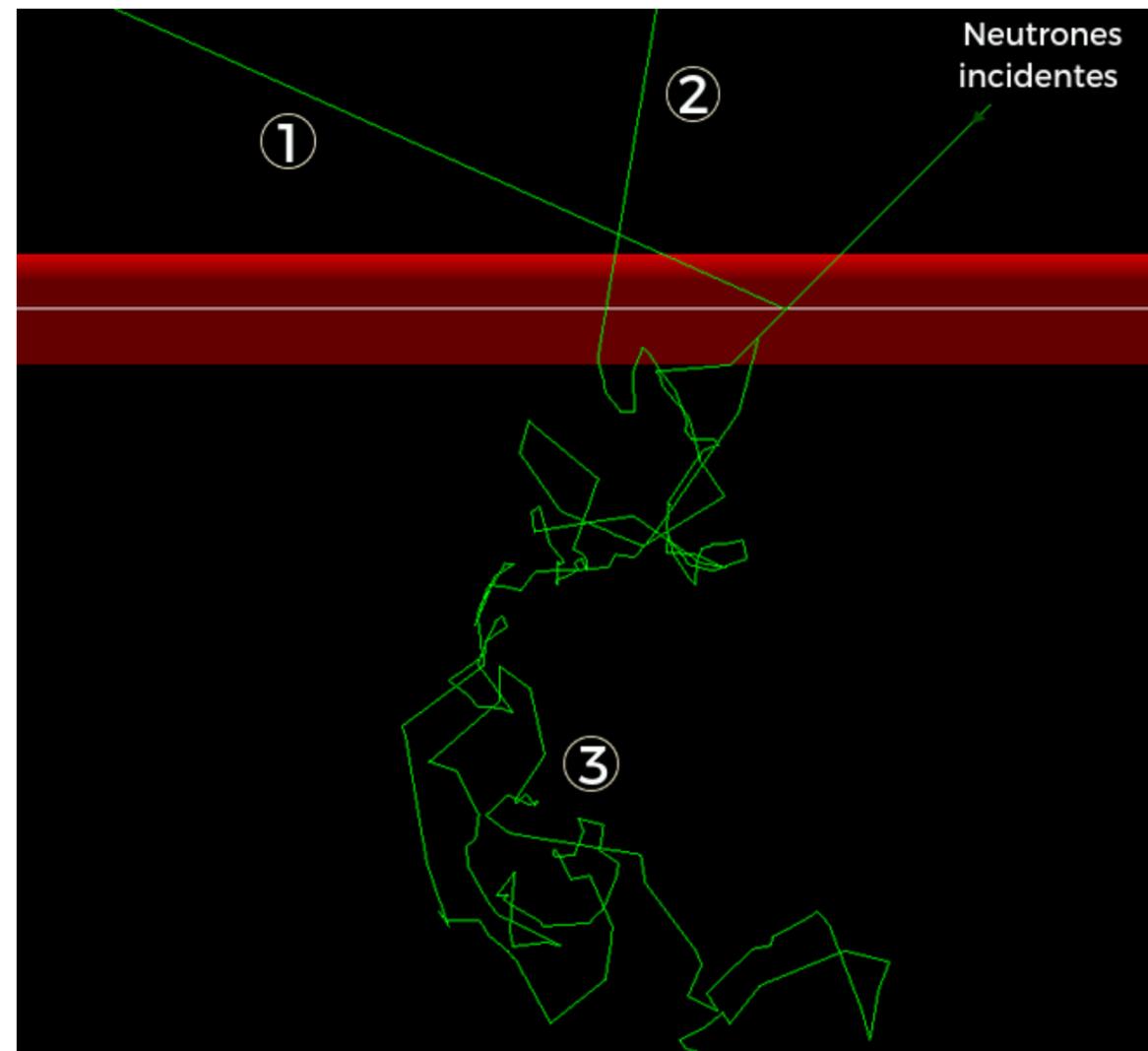
[Köhli et al., Water Resources Research, 51(7):5772–5790 2015]

Los neutrones muestran la probabilidad **más alta de dispersión con el hidrógeno**. Además, esta interacción se caracteriza por tener la **tasa más alta de pérdida de energía**.

Elemento	Masa [u]	Tasa de pérdida de energía ξ	n_{col} para termalizar
H	1	1	18
H ₂ O	-	0.92	20
N	14	0.134	135
O	16	0.12	153
Al	27	0.0723	255
Si	28	0.0698	264
Fe	56	0.0353	522
SiO ₂	-	0.11	166
Aire (seco)	-	0.135	135

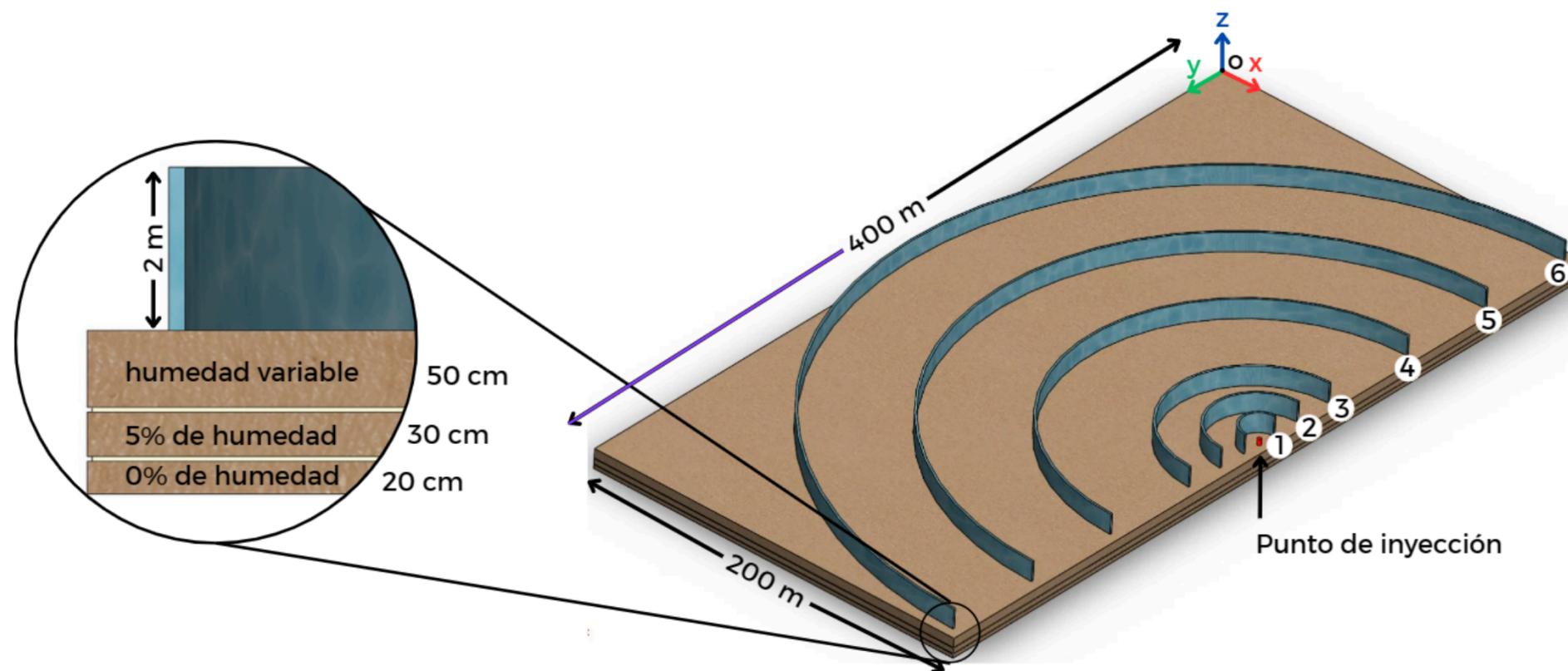
[Köhli et al., Frontiers in Water, 2:544–847 2021].

Interacción neutron-materias



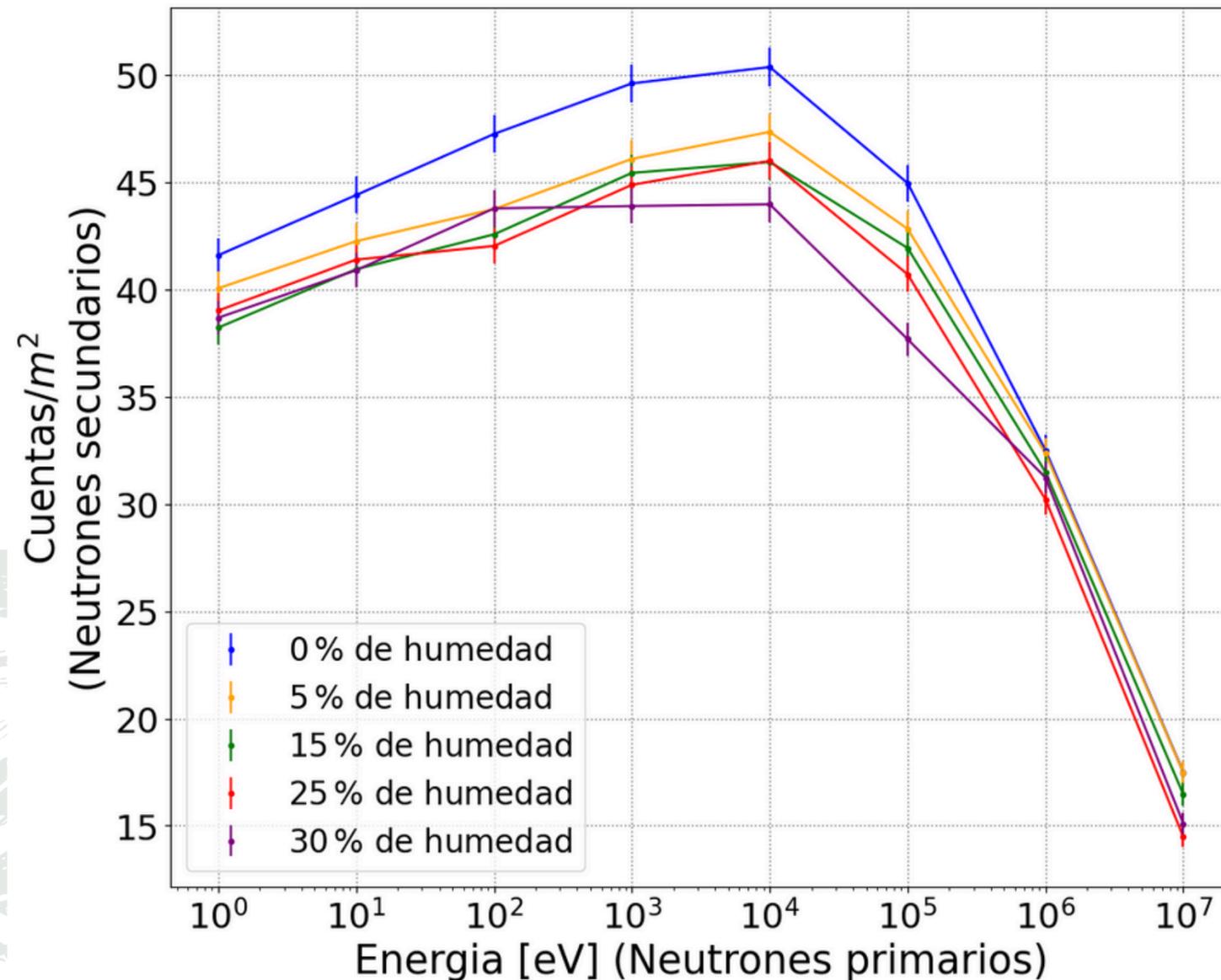
Distancia recorrida por los neutrones

El punto rojo representa el centro de 6 anillos concéntricos con radios de **10, 25, 45, 95, 145, y 195 m**.



Parámetros físicos	Valor
Número de neutrones	10000
Energía	$1 \text{ eV} \leq E \leq 10 \text{ MeV}$
Ángulo cenital	$0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$
Humedad	0% - 30%

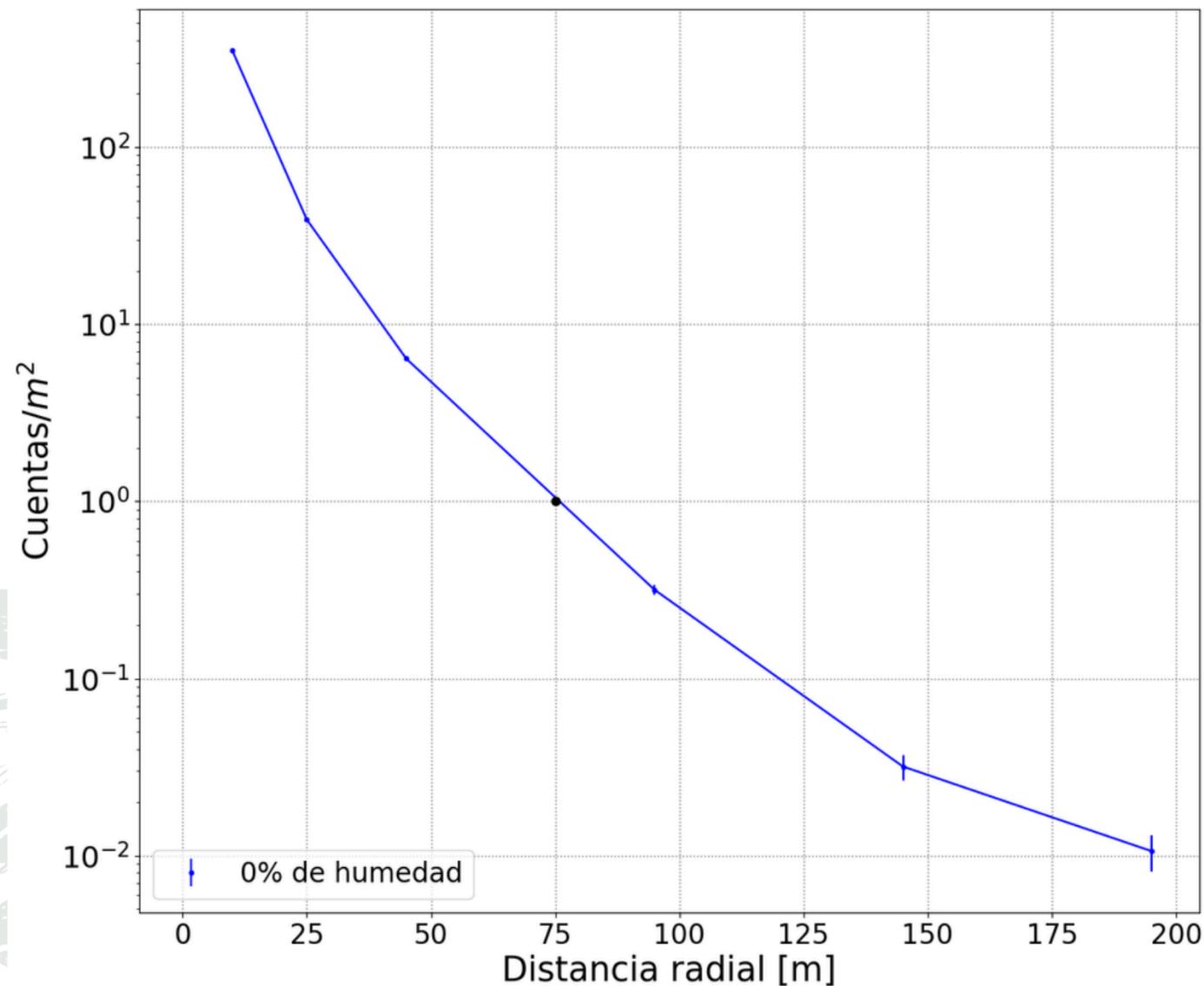
Relación entre el Conteo de Neutrones y la Energía



Se determinó que los **neutrones primarios con energías inferiores a los 1 MeV generan 66% más neutrones secundarios** que aquellos con energías superiores.

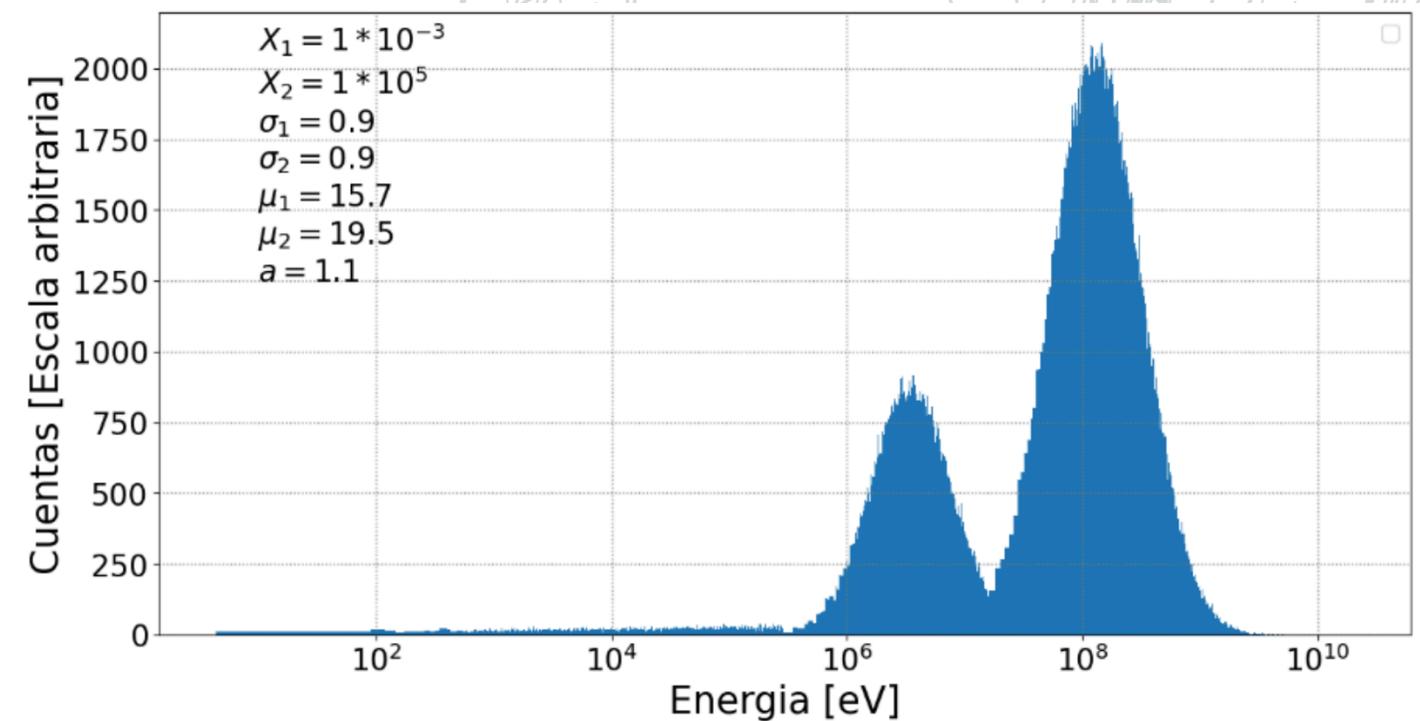
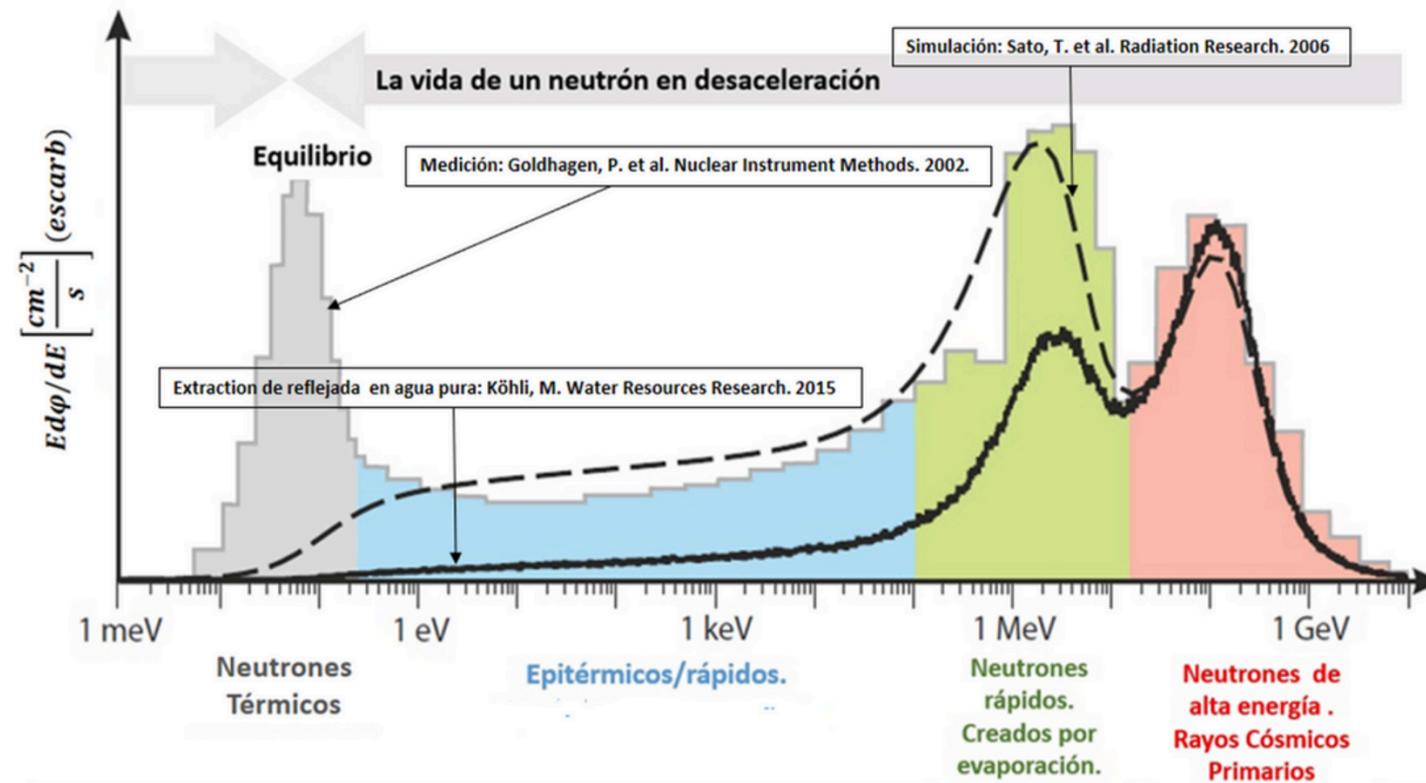
Conincide con lo reportado por [Köhli et al., Water Resources Research, 51(7):5772–5790 2015]

Distancia recorrida por los neutrones



Es posible cubrir un área de **1.68 hectáreas**. En contraste, los detectores dieléctricos miden la humedad de manera local en un área de **0.12 m²**.

Simulaciones con un flujo de neutrones artificial



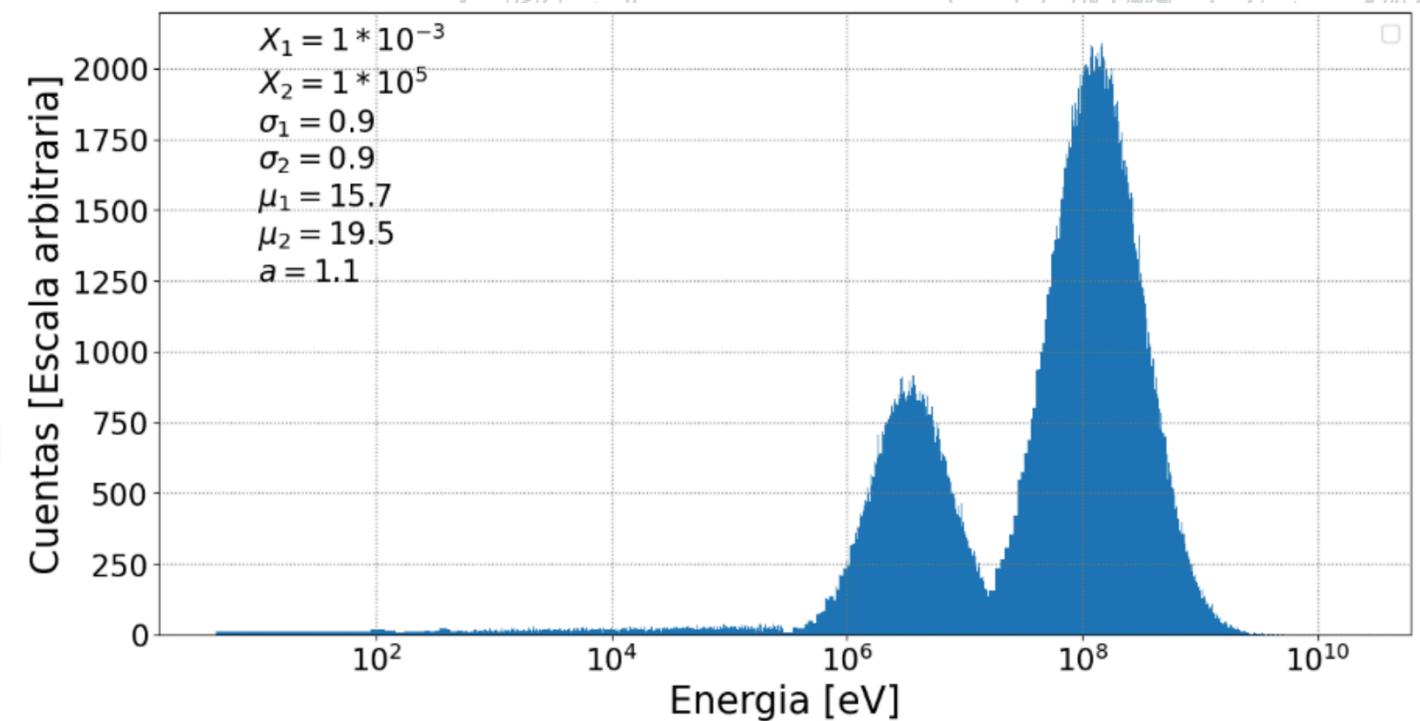
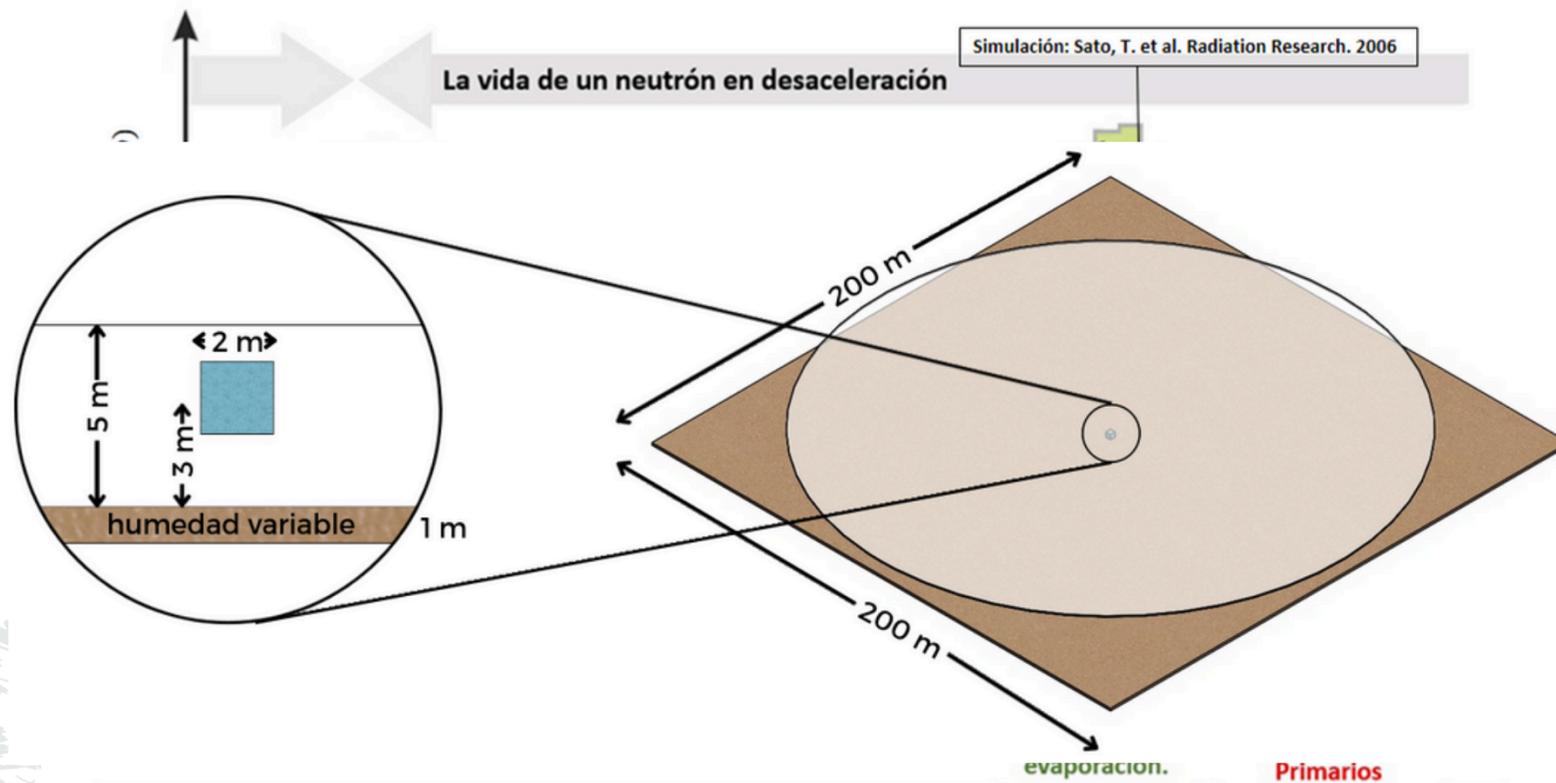
$$f(x) = \exp\left(\frac{\ln(\text{Unif}(X_1, X_2))}{a}\right) + \frac{1}{x\sigma_1\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x)-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + \frac{1}{x\sigma_2\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x)-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

Neutrones rápidos

Neutrones evaporados

Neutrones de alta energía

Simulaciones con un flujo de neutrones artificial



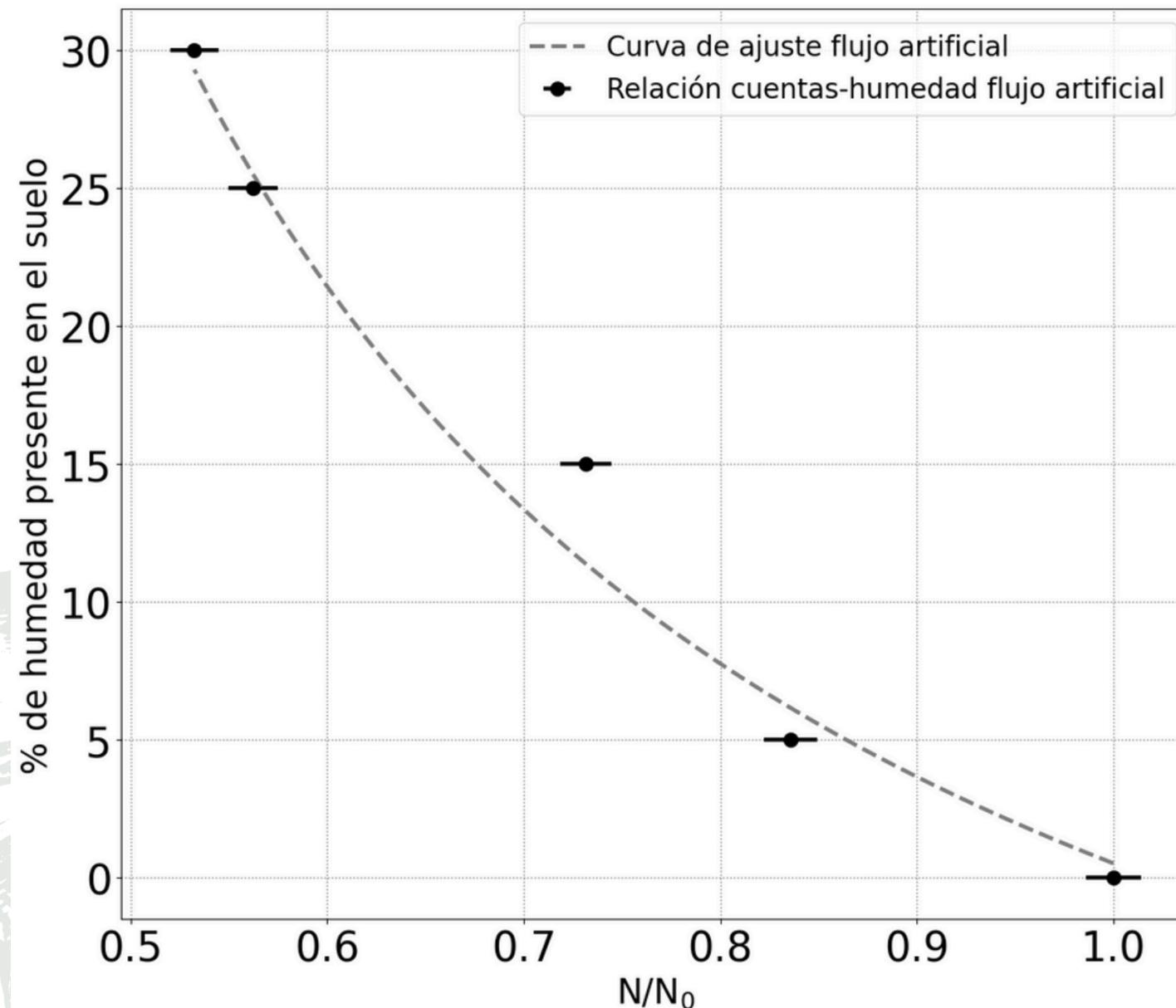
$$f(x) = \exp\left(\frac{\ln(\text{Unif}(X_1, X_2))}{a}\right) + \frac{1}{x\sigma_1\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x)-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + \frac{1}{x\sigma_2\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x)-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

Neutrones rápidos

Neutrones evaporados

Neutrones de alta energía

Relación entre la humedad del suelo y el conteo de neutrones

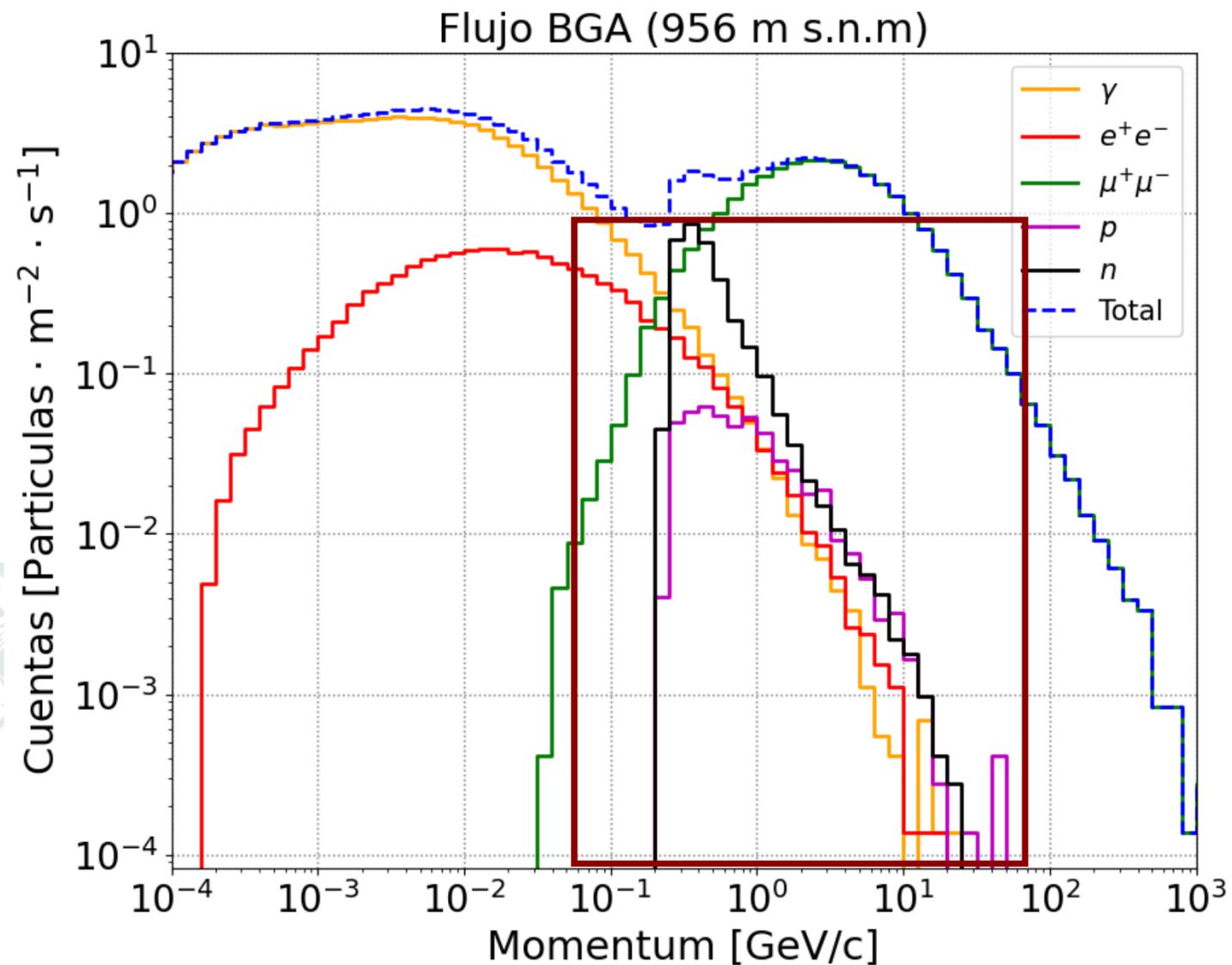


$$\Gamma(N) = \frac{a_0}{N/N_0 - a_1} - a_2$$

Se observa que un **aumento en el conteo de neutrones** detectados se asocia con una **menor concentración de humedad en el suelo**.

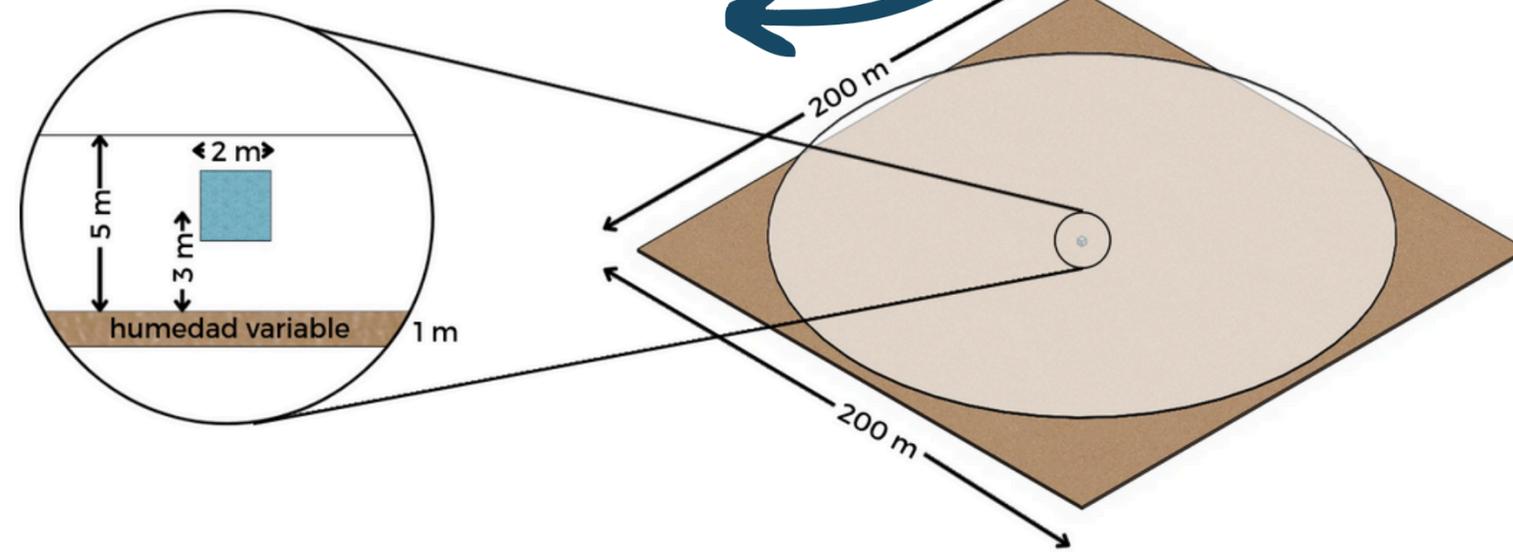
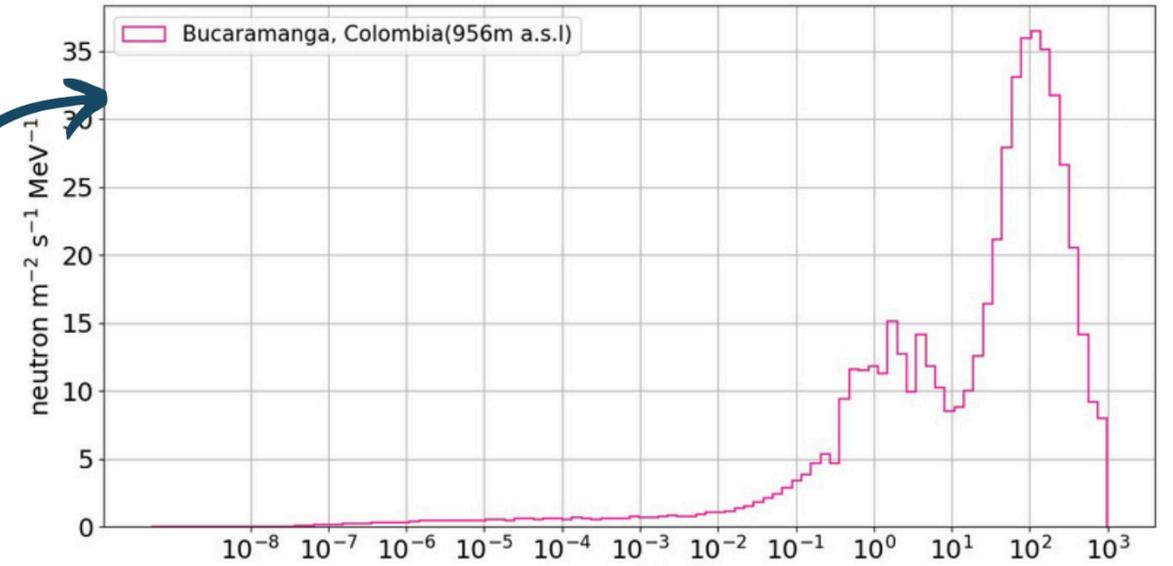
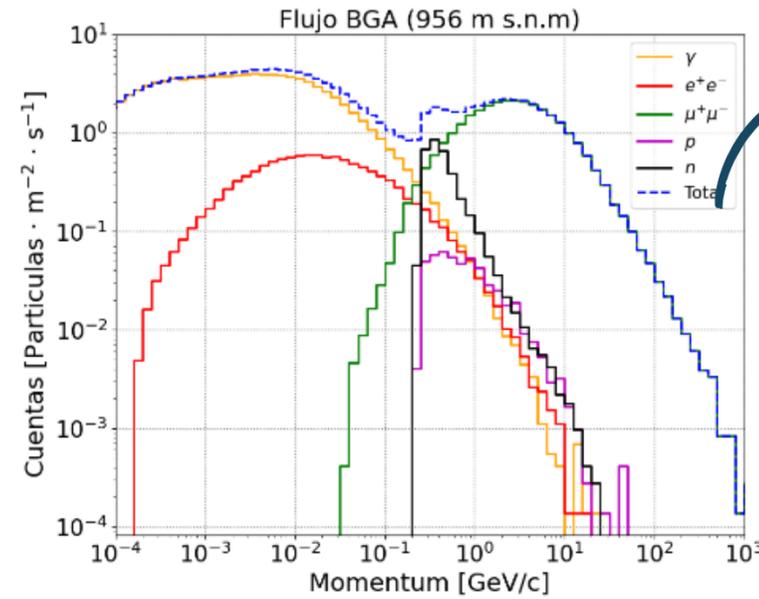
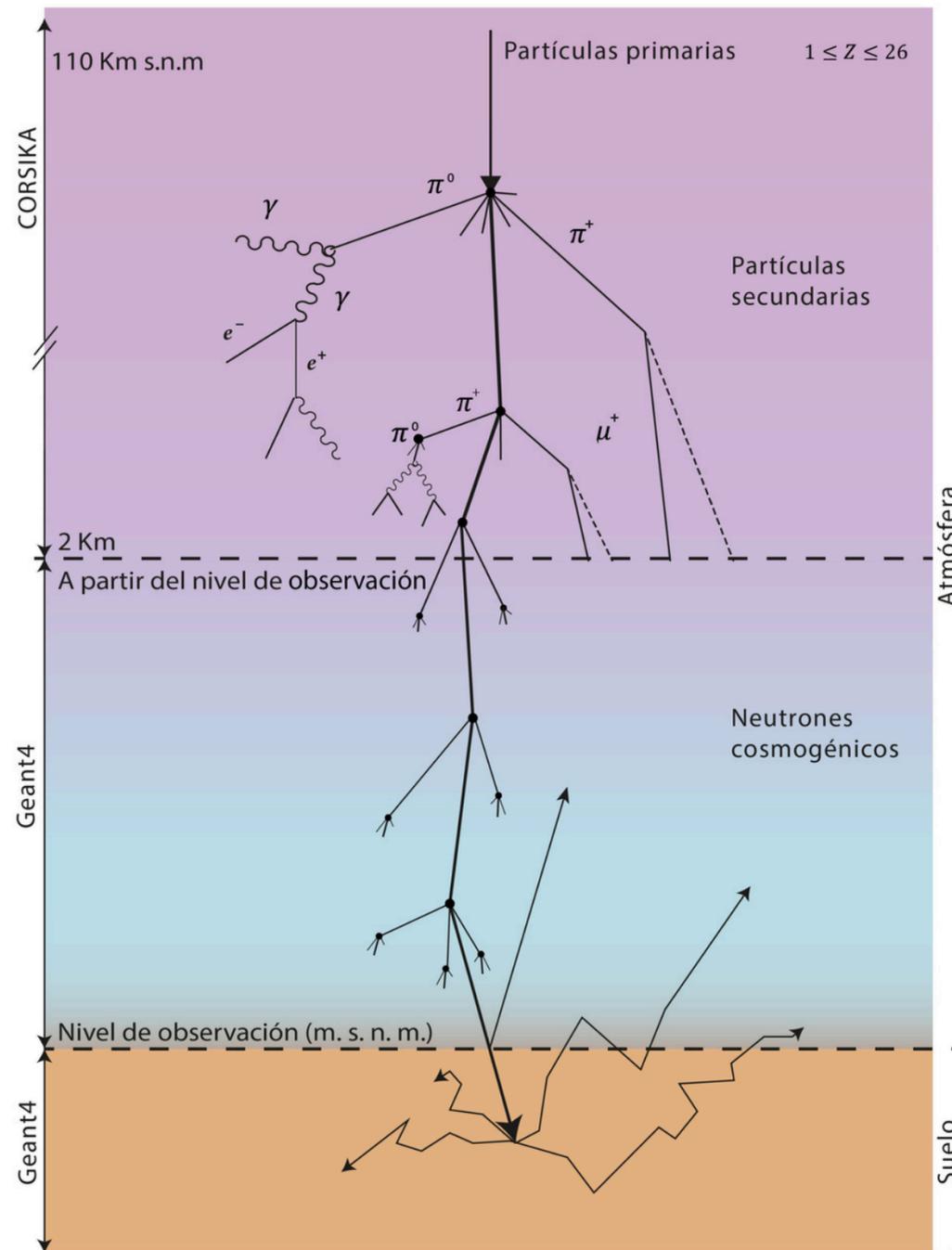
Flujo de neutrones cósmicos

[Sarmiento-Cano et al., 2022] presentan ARTI, un marco de trabajo para simular las EAS generadas por la interacción de rayos cósmicos primarios con la atmósfera.

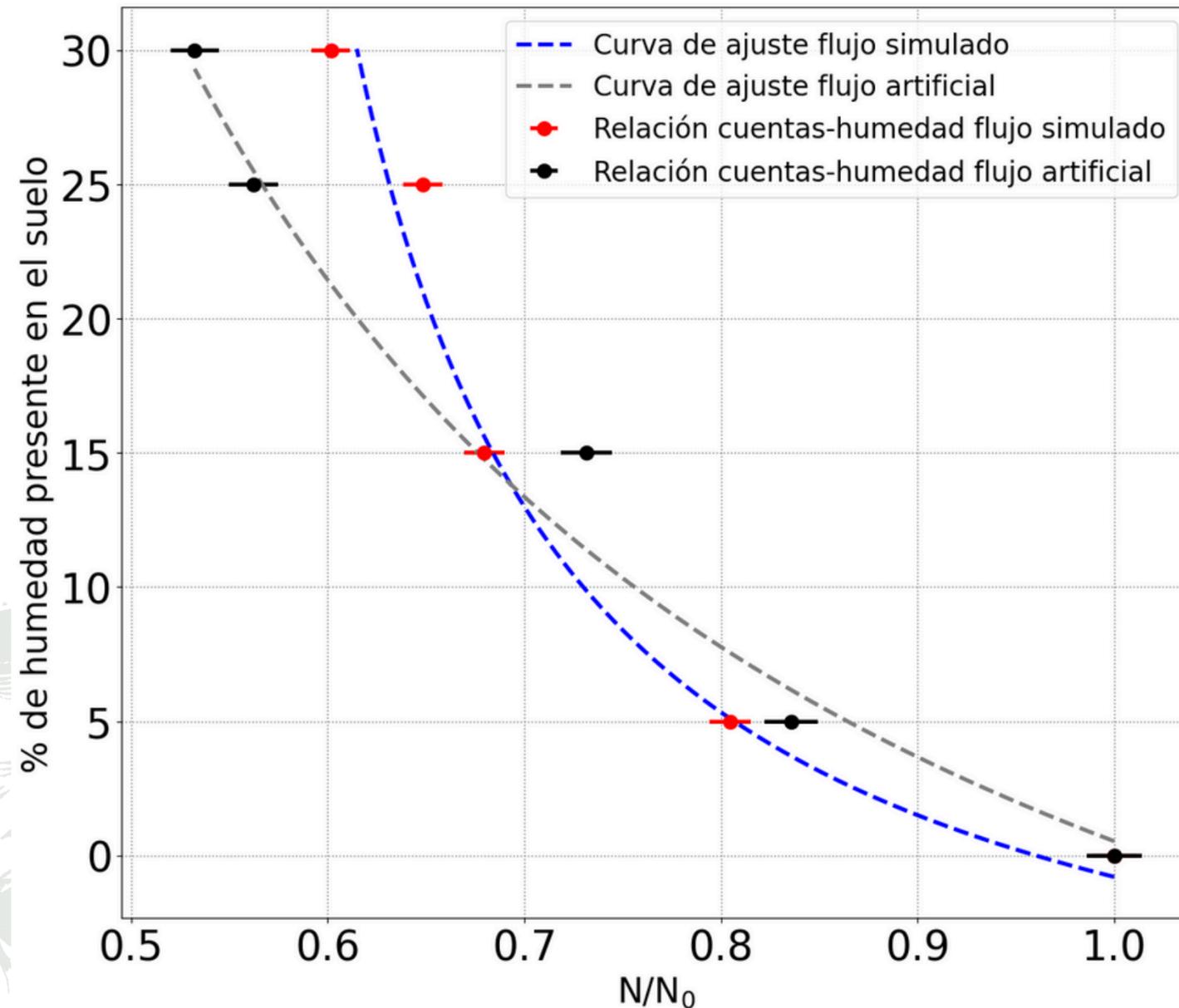


CORSIKA realiza un corte de energía aproximadamente a 300 MeV para los neutrones.

Flujo de neutrones cósmicos



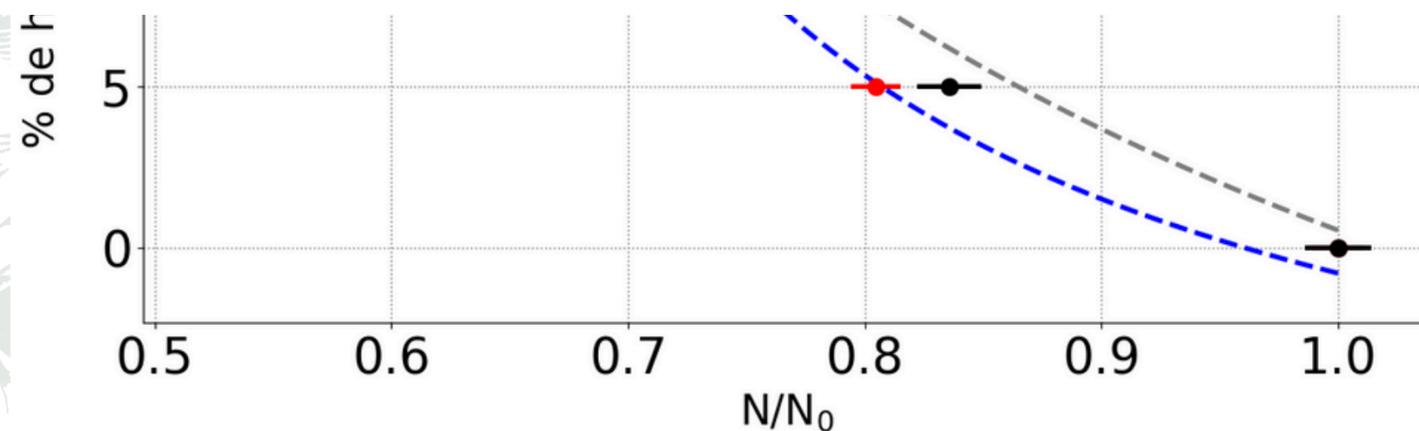
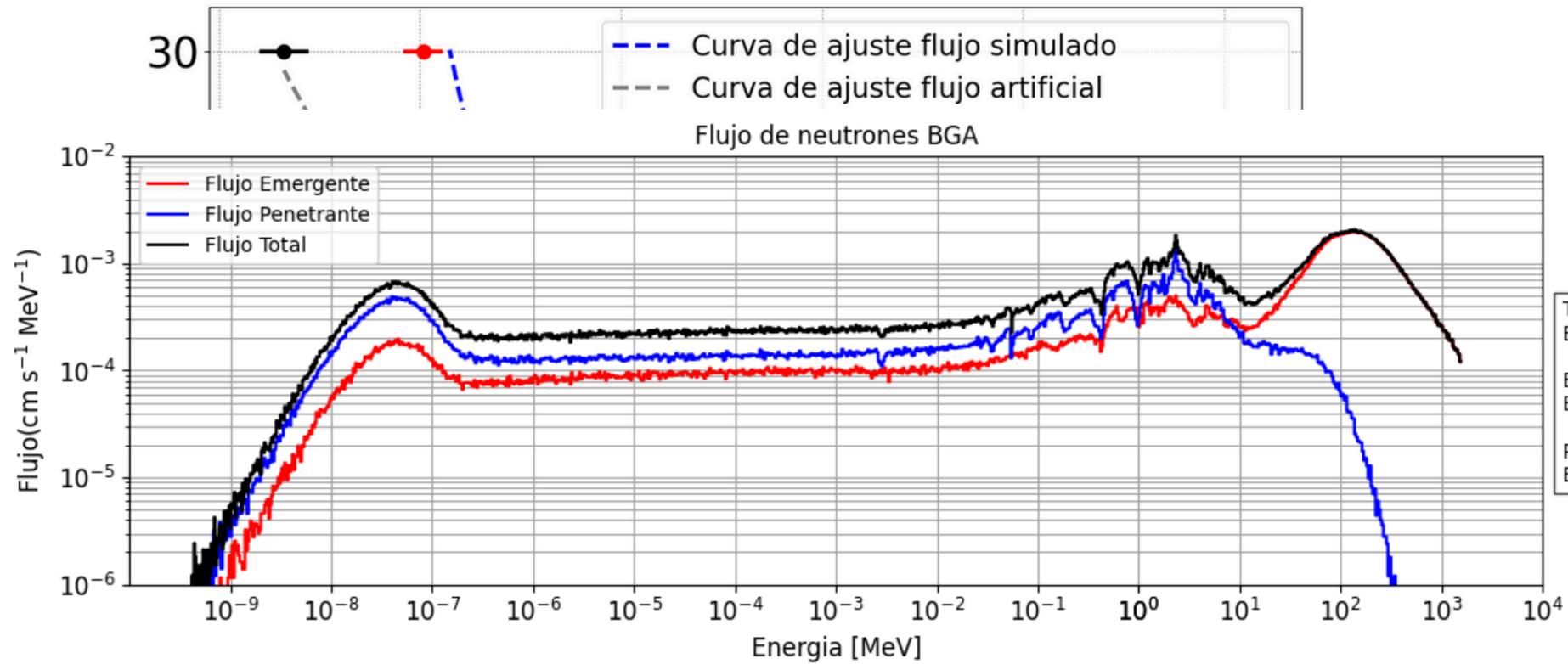
Flujo de neutrones cósmicos



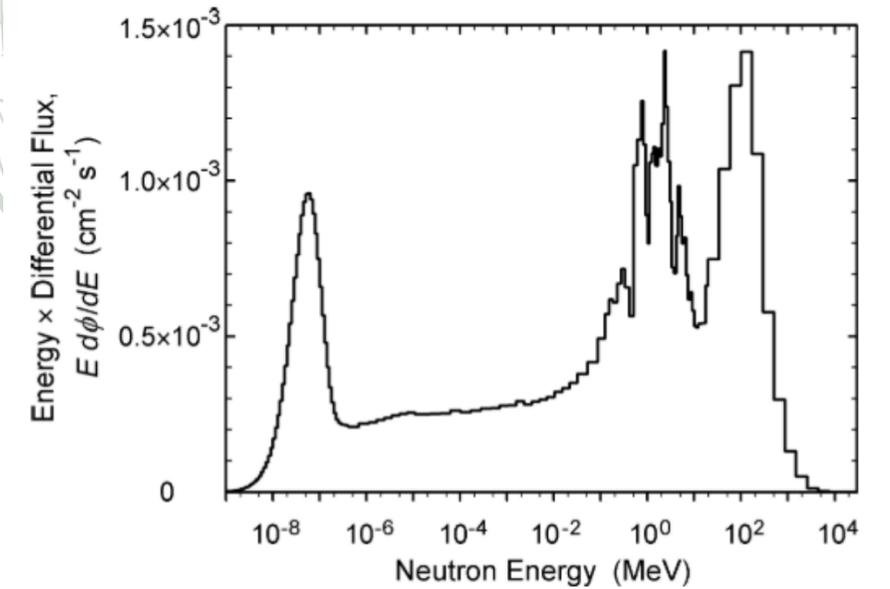
$$\Gamma(N) = \frac{a_0}{N/N_0 - a_1} - a_2$$

[Desilets et al, Nature's neutron probe 46(11):6 2010]

Flujo de neutrones cósmicos



$$\Gamma(N) = \frac{a_0}{N/N_0 - a_1} - a_2$$



[Gordon et al., IEEE Transactions on Nuclear Science, 51(6), 3427-3434 2004.]

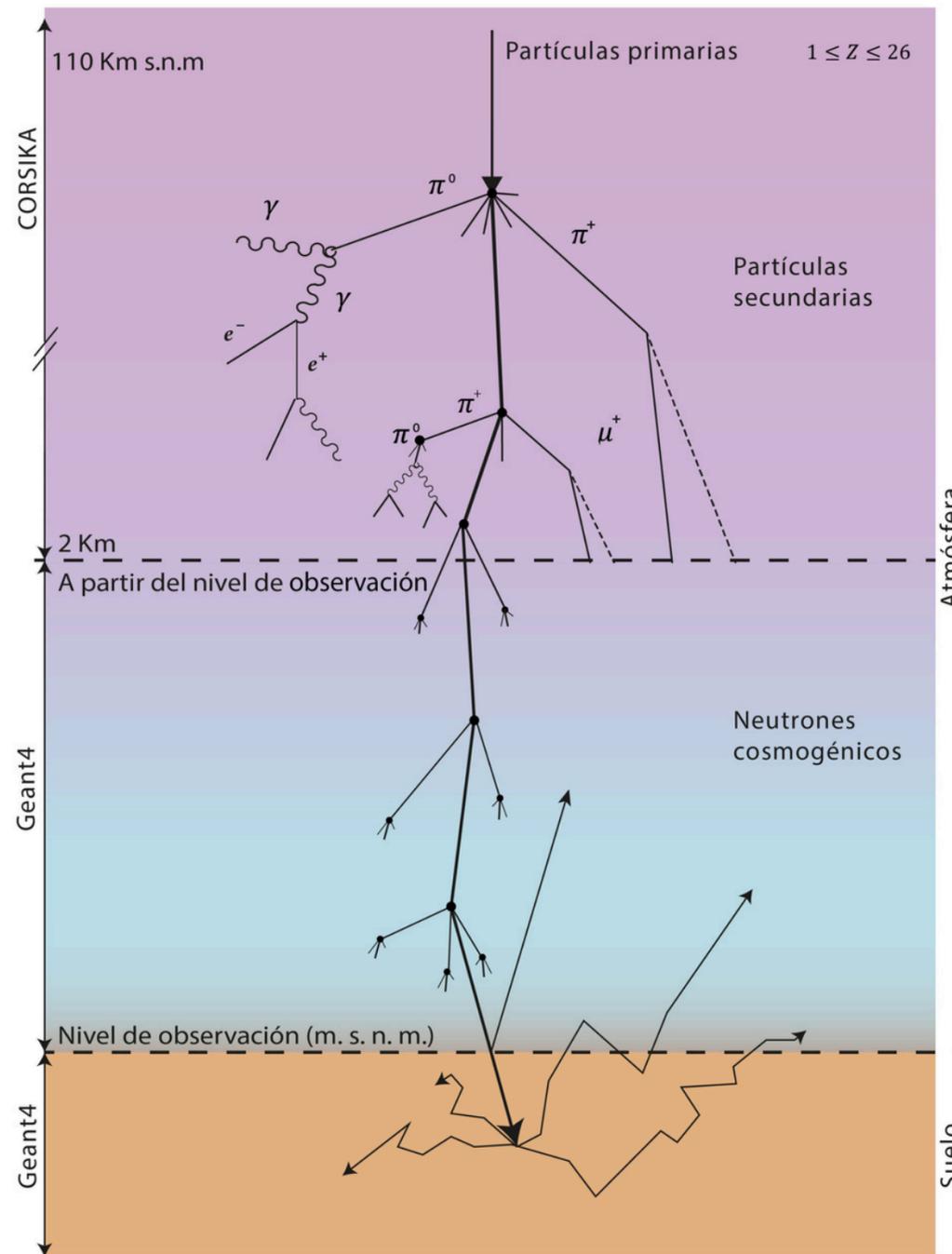
Conclusiones

Se mostró que existe una **relación inversa** entre el flujo de neutrones que emergen del suelo y el nivel de humedad presente.

El **área de detección** calculada permitiría monitorizar **1.68 hectáreas** con un solo detector CRNS.

Se desarrolló una expresión para **generar flujos artificiales de neutrones cósmicos**.

Se obtuvo que la **energía mínima de los neutrones** con la que emergen os neutrones **del orden de los meV**



Muchas gracias por su atención

Más información sobre este proyecto:

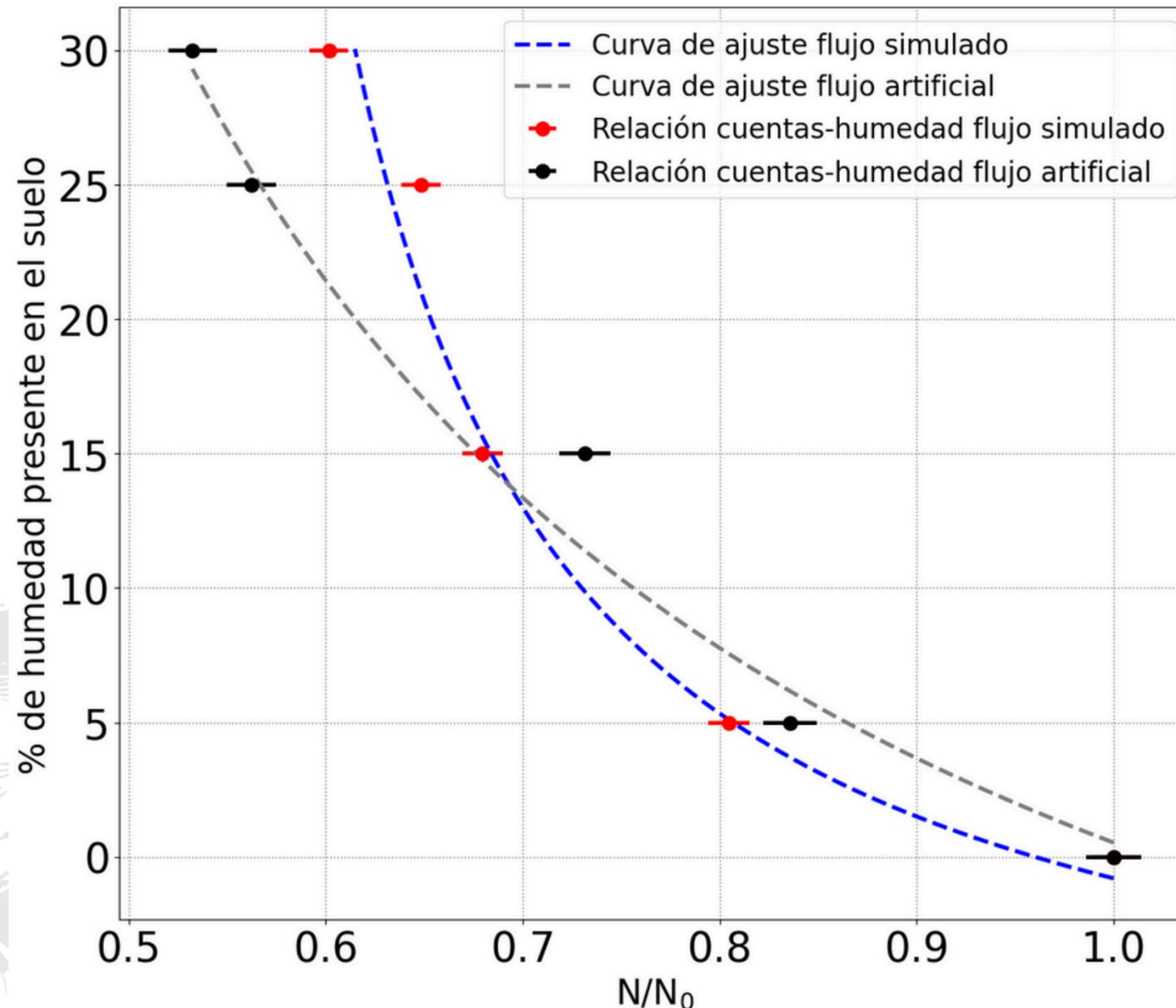
luigui2248385@correo.uis.edu.co

adrianacvr67@gmail.com

christian.sarmiento@correo.uis.edu.co

lnunez@uis.edu.co

Relación entre la humedad del suelo y el conteo de neutrones



$$\Gamma(N_{simulado}) = \frac{4,6}{N/N_0 - 0,5} - 10$$

$$\Gamma(N_{artificila}) = \frac{20}{N/N_0 - 0,15} - 23$$

Proporción de neutrones	Flujo artificial	Flujo simulado
N_0/N_0	1 ± 0.0111	1 ± 0.0141
$N(5\%)/N_0$	0.805 ± 0.0105	0.836 ± 0.0134
$N(15\%)/N_0$	0.680 ± 0.0101	0.731 ± 0.0131
$N(25\%)/N_0$	0.648 ± 0.0100	0.562 ± 0.0124
$N(30\%)/N_0$	0.601 ± 0.0098	0.532 ± 0.0123

Elementos del suelo

Elementos presentes en el suelo seco	Concentración [%]
O	49
Si	33
Al	7.13
Na	0.63
K	1.36
Ca	1.37
Fe	3.8
Mg	0.6
C	2
S	0.08
N	0.1
P	0.9
Ti	0.46
H	0.38



#1



Detectores comerciales

Detectores comerciales basados en Helio-3 sensibles en el rango de los neutrones térmicos

 [Products](#) [Solutions](#) [Our Brands](#) [Discover](#) [Support](#) [Contact](#)

[Home](#) > [Mirion Technologies Products](#) > [Radiation Monitoring Systems](#) > [proTK - Radiation and Process Monitoring Systems](#) > [Radiation Detectors \(1E\)](#) > [PNH 25™](#)

PNH 25™

Helium-3 Proportional Counter Tube



Designed for measuring the thermal neutron flux density. Its compact and robust design makes it suitable for applications in an industrial environment and in nuclear facilities.

[Request Info](#)



[Company](#) [Representations & Products](#) [Support](#) [References](#) [Contact Us](#) [TR](#)



Neutron Search Detector KSAR1U.06

DESCRIPTION

Detection and localization of neutron sources

Category: Gas Filled Detectors

Share This Product [f](#) [t](#) [p](#) [G+](#) [in](#)

#1

