



# Simulaciones de neutrones cósmicos para agricultura de precisión

Yessica Dominguez, Christian Sarmiento,  
Luis Nuñez, Hernan Asorey

---

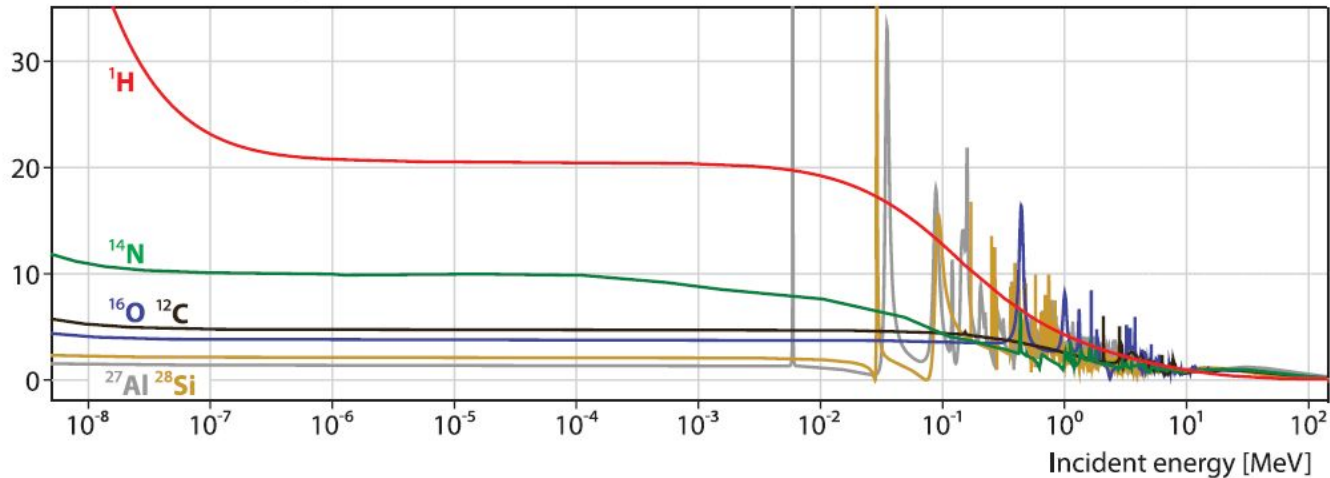
# INTRODUCCIÓN

- Los **rayos cósmicos** son partículas subatómicas de alta energía que se originan en el espacio y viajan a velocidades cercanas a la de la luz.
- La **interacción con la atmósfera** genera cascadas de partículas de naturaleza electromagnética, muónica y hadrónica.
- Algunas **contribuciones**:
  - ◆ Descubrimiento del muón y del positrón
  - ◆ Eventos astrofísicos
  - ◆ **Agricultura**

# AGRICULTURA

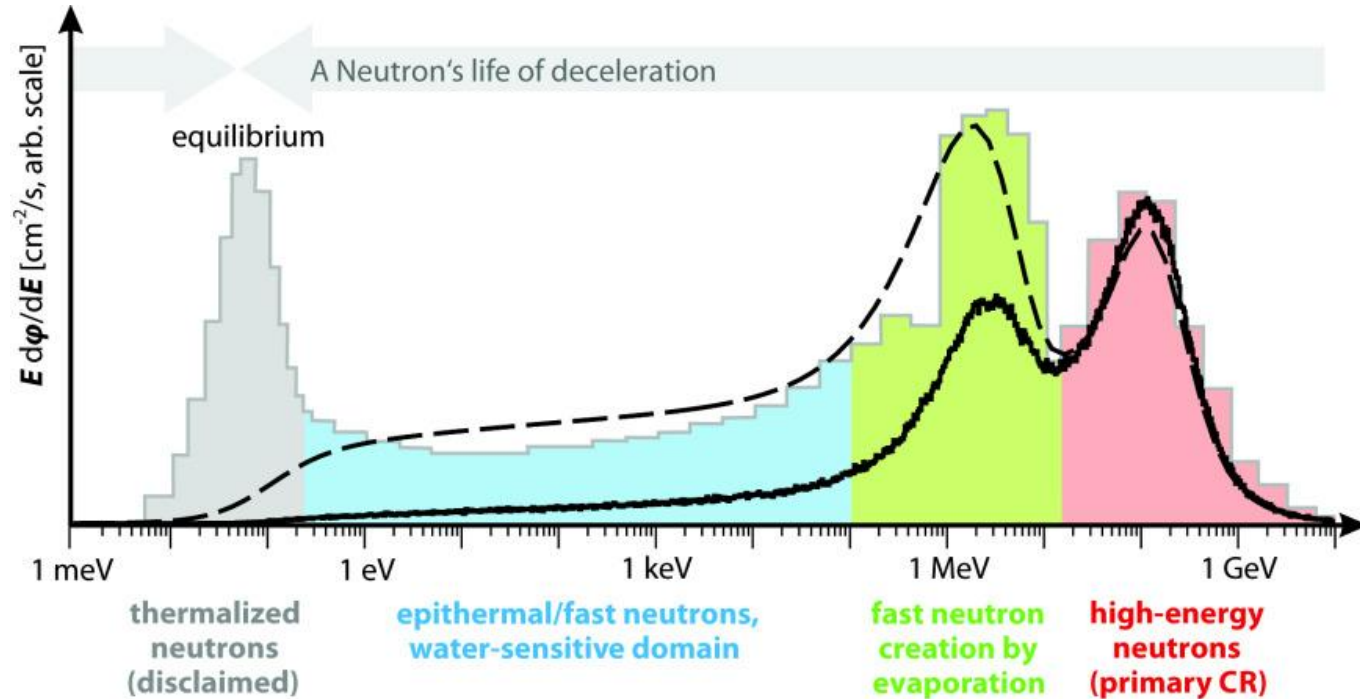
**Medición de humedad del suelo:** Usan neutrones para monitorear la humedad del suelo en tiempo real, de forma no invasiva y en áreas extensas.

Elastic neutron scattering cross section [barn]



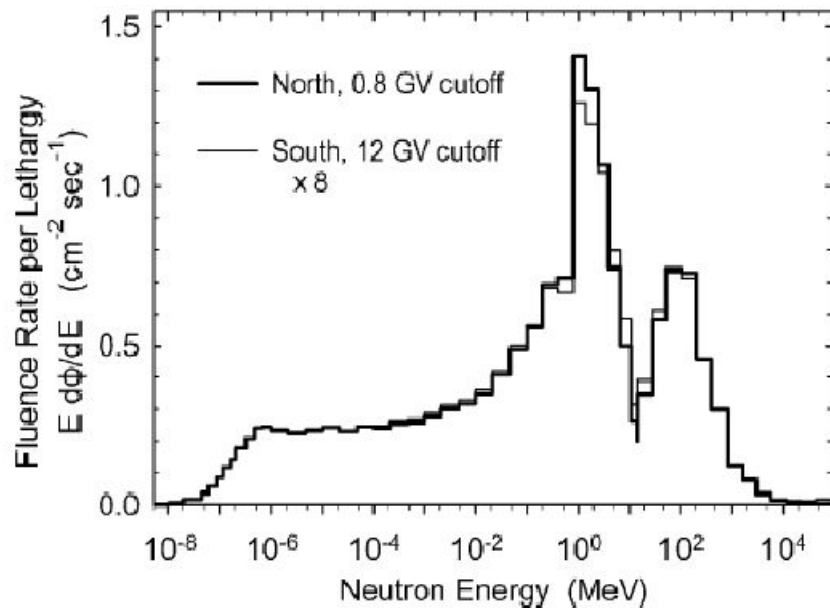
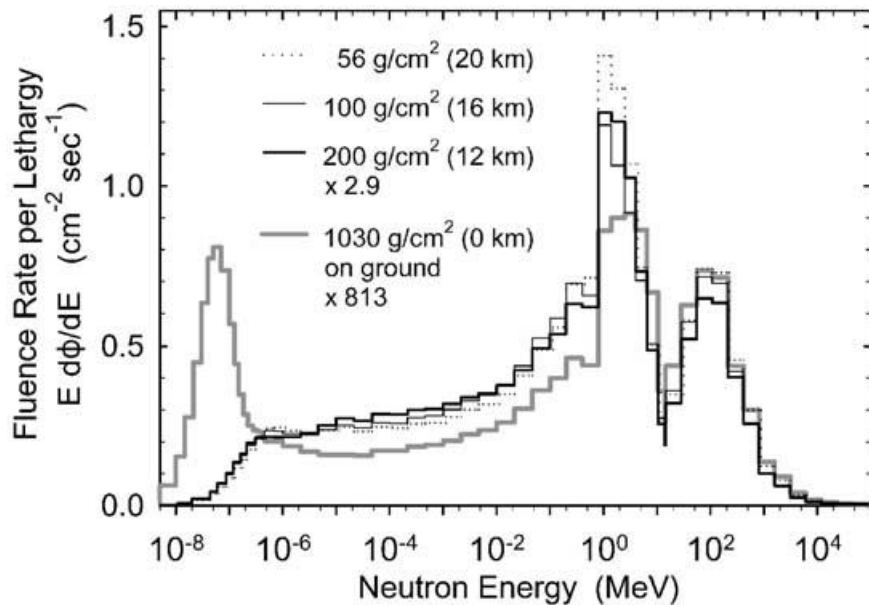
$$\theta(N) = \frac{a_0}{N/N_0 - a_1} - a_2$$

# ESPECTRO DE NEUTRONES CÓSMICOS



# ESPECTRO DE NEUTRONES CÓSMICOS

Goldhagen et al. (2020)



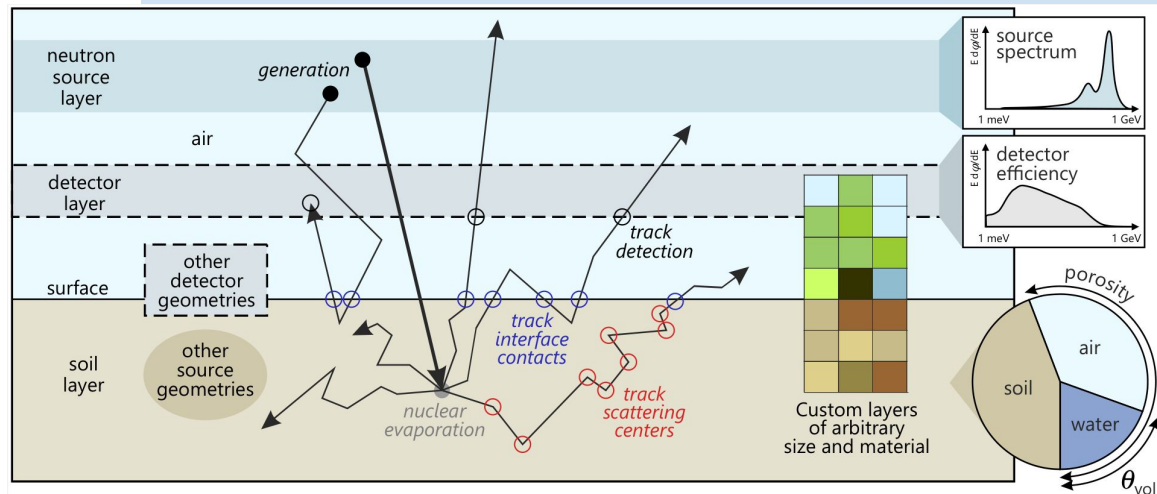
# Cosmic Ray Neutron Sensing (CRNS)

- Los **detectores de neutrones** utilizados en campo requieren calibración para traducir la densidad de neutrones detectados en mediciones precisas de humedad.
- En lugar de hacer experimentos de campo para **calibrar un detector** en todas las condiciones posibles hacemos simulaciones.
- **URANOS** (Ultra Rapid Adaptable Neutron Only-Simulator): Un simulador de neutrones especializado en escenarios CRNS (Köhli et al., 2023).
-

# URANOS

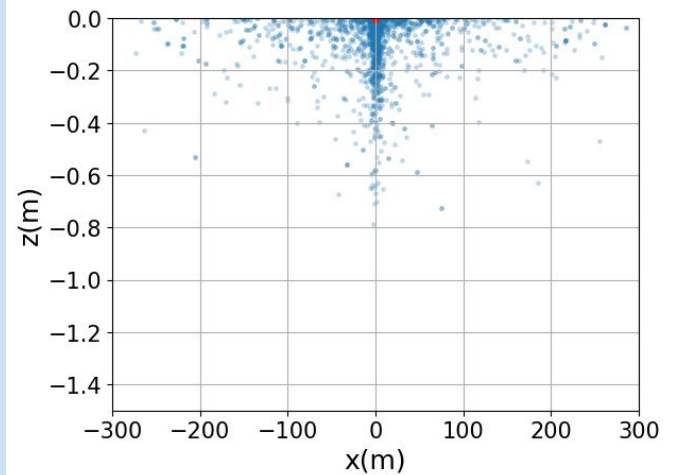
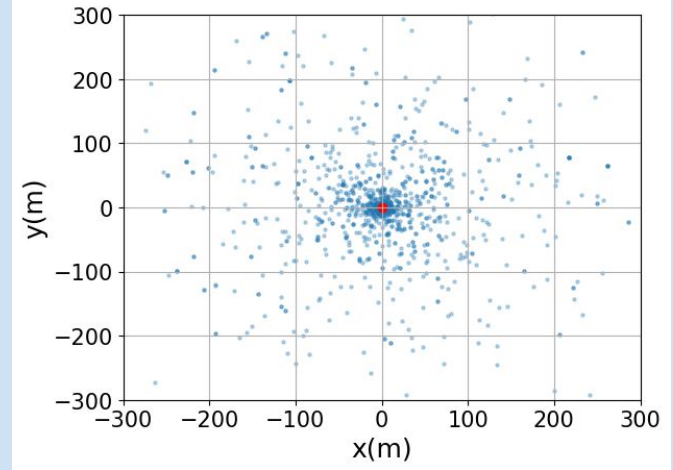
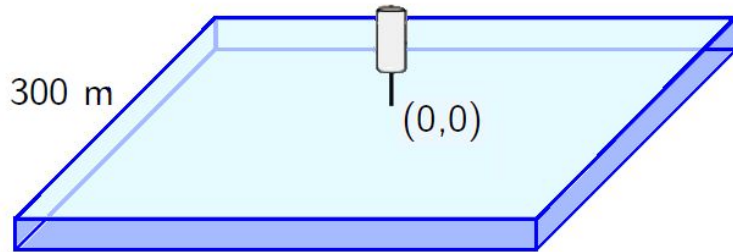
Esquema de simulación:

- Fuente de neutrones
- Detección de neutrones
- Interacción de neutrones



# SIMULACIONES EN URANOS

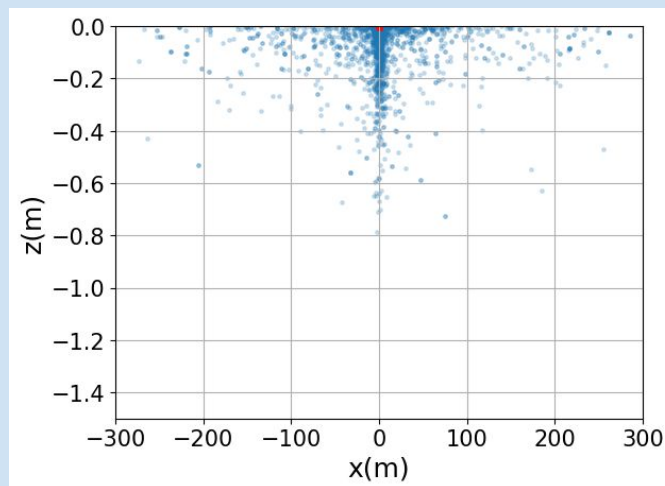
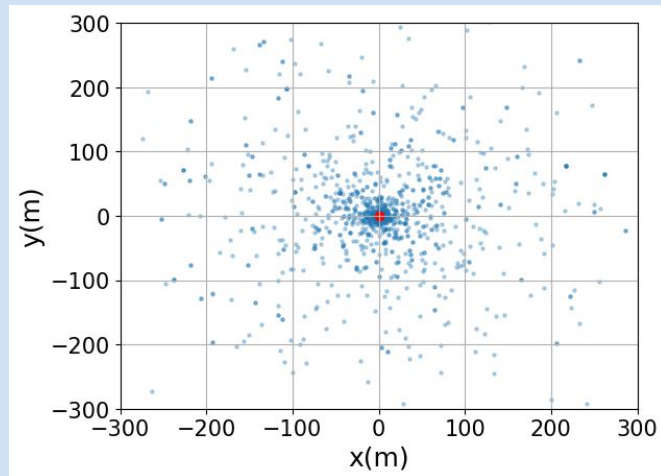
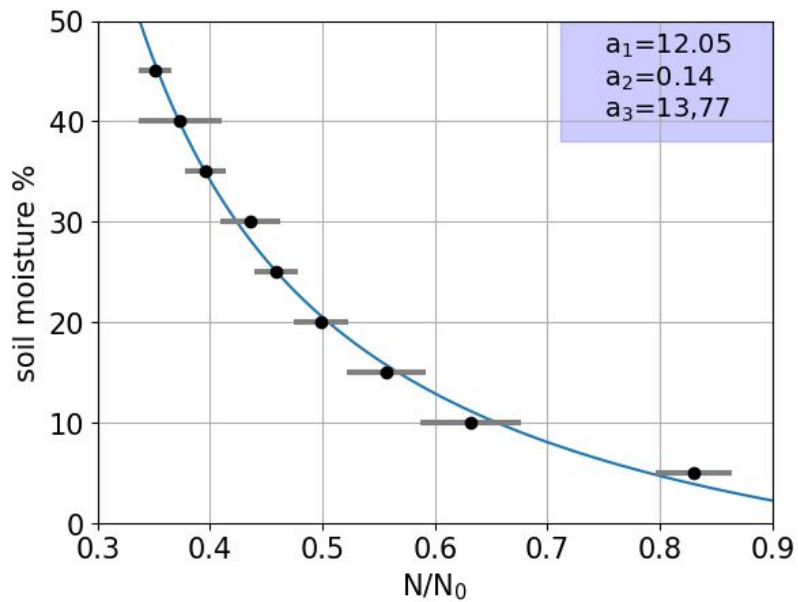
→ Estimación de la humedad





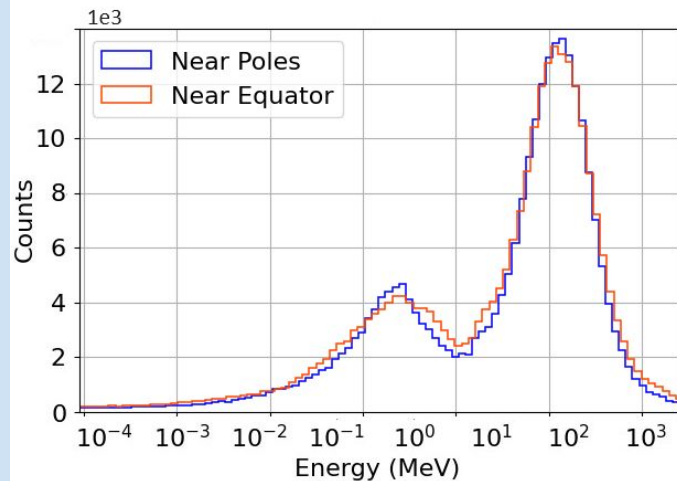
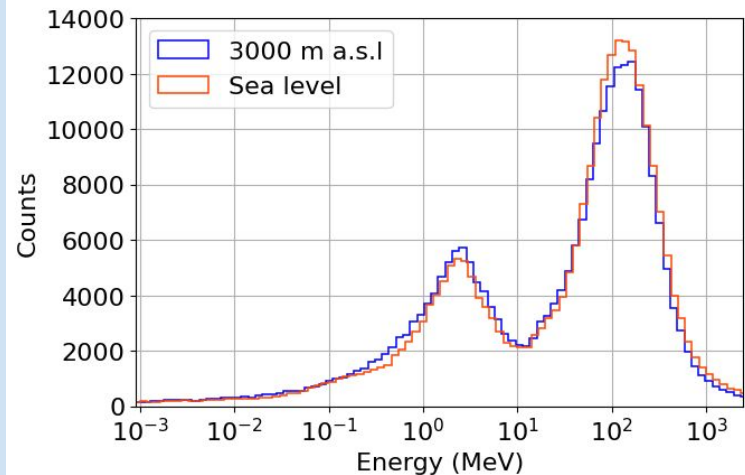
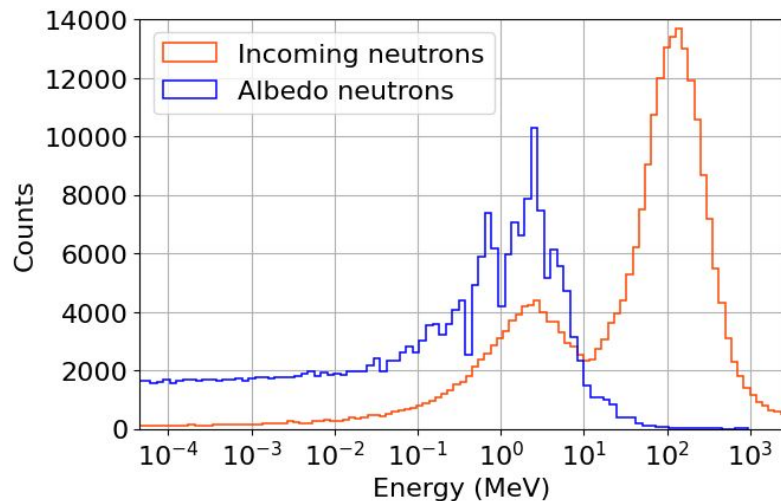
# SIMULACIONES EN URANOS

→ Estimación de la humedad



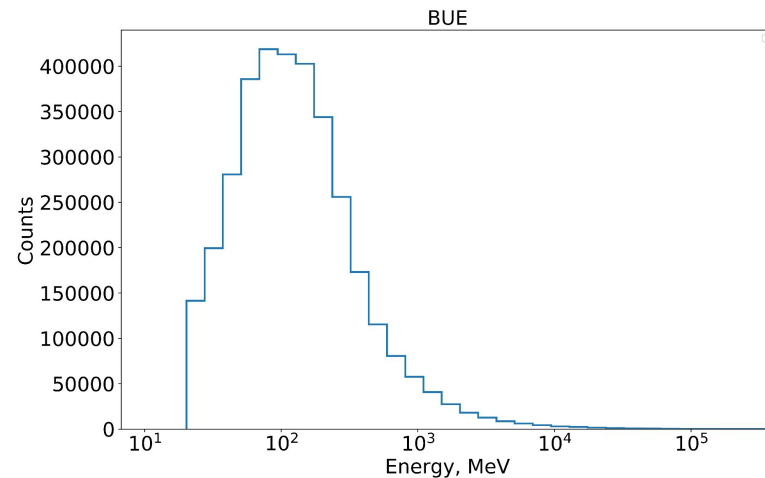
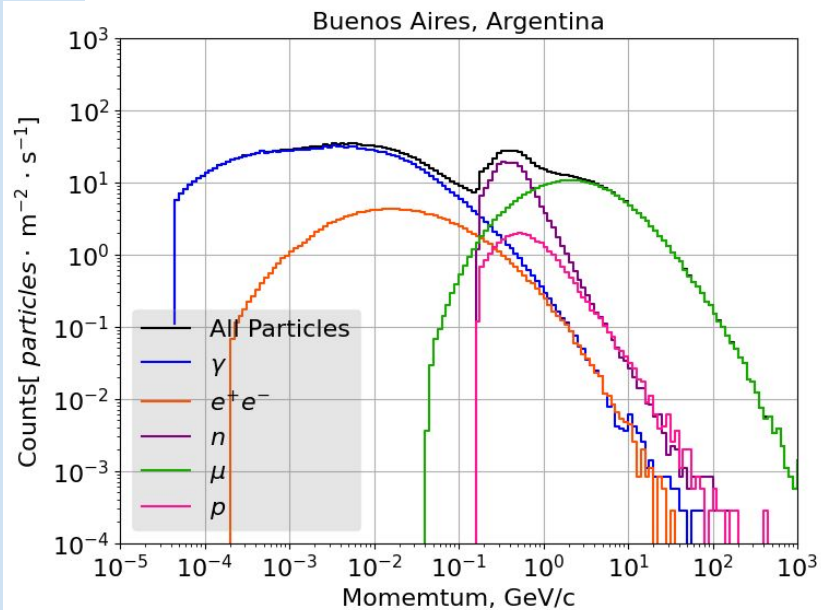
# SIMULACIONES EN URANOS

→ Estudio del espectro de neutrones

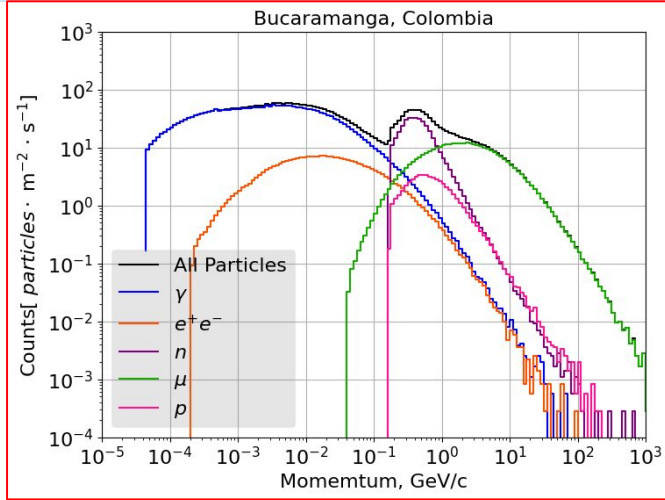


# CORSIKA

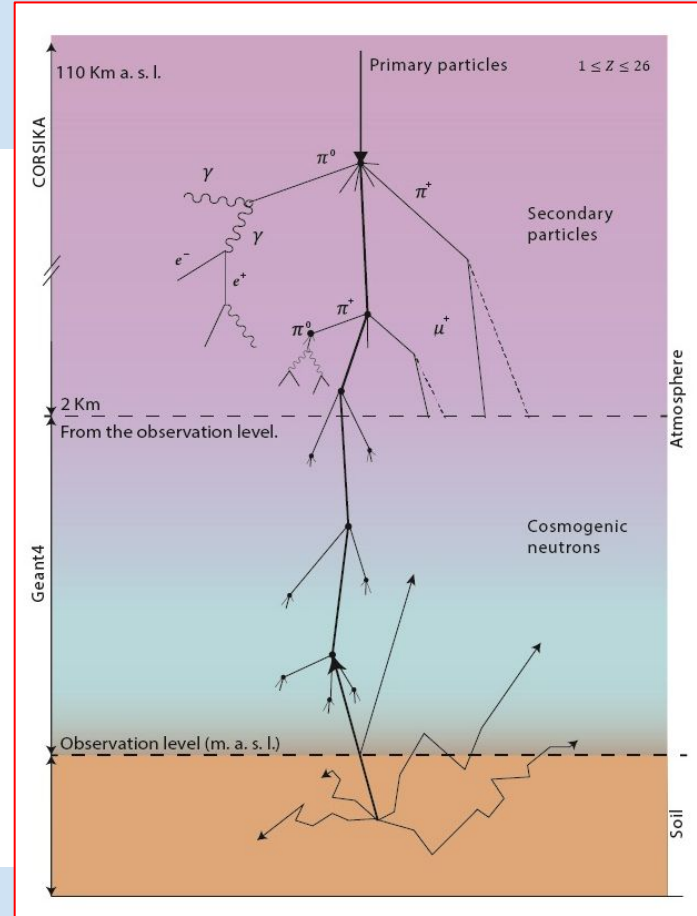
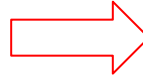
→ Estudio del espectro de neutrones



# GEANT4-CORSIKA



Bucaramanga, Buenos aires,  
Berlín (Colombia)



# GEANT4-CORSIKA

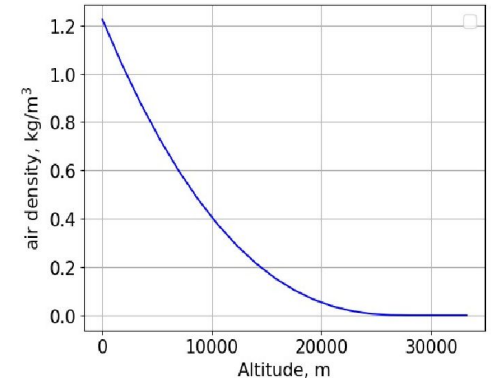
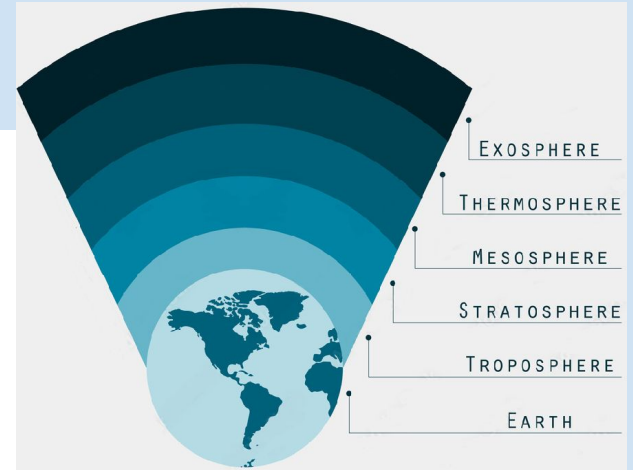
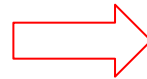
→ Estudio del espectro de neutrones

◆ Atmósfera de la tierra:

Const. Mass frac.

N	0.7808
O	0.2095
Ar	0.0093

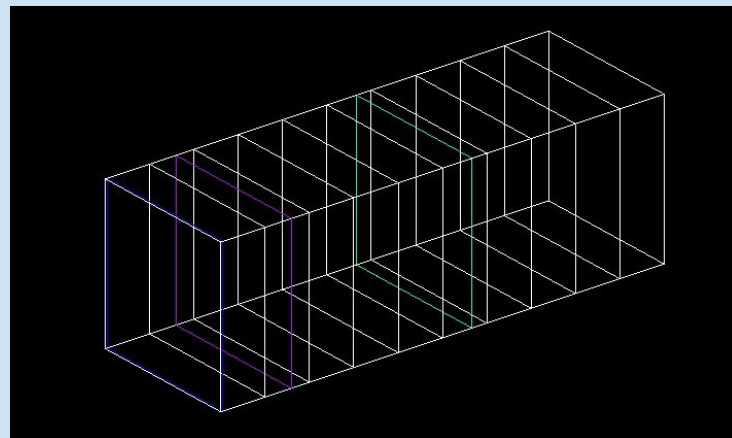
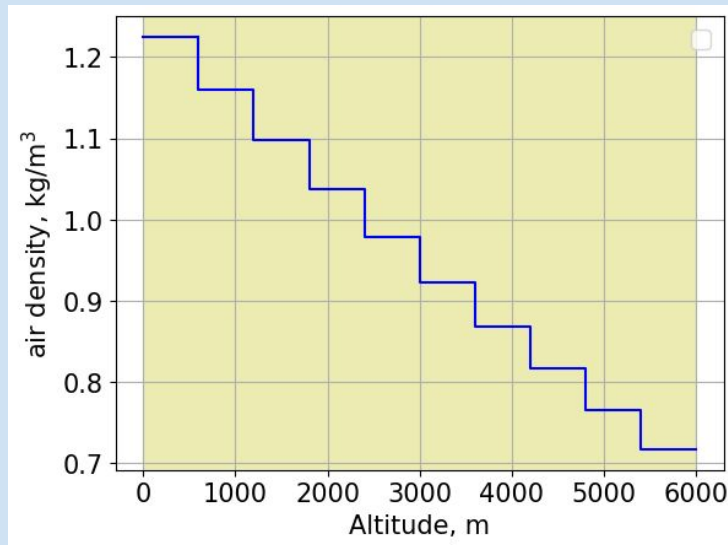
$$\rho = \frac{p_0 M}{RT_0} \left( 1 - \frac{Lh}{T_0} \right)^{\frac{gM}{RL} - 1} .$$



# GEANT4-CORSIKA

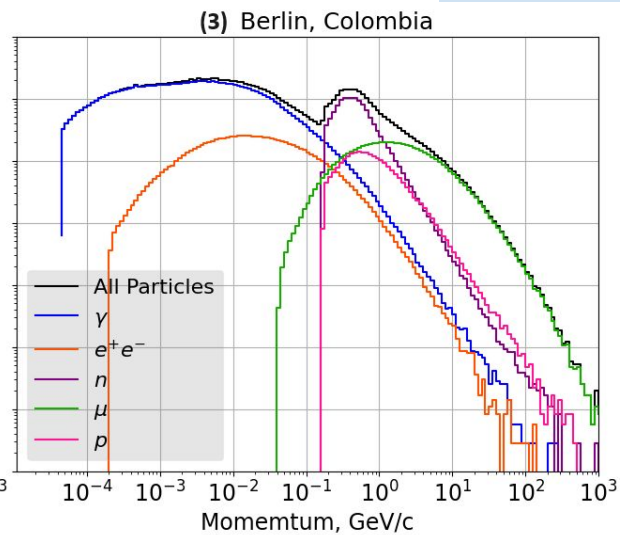
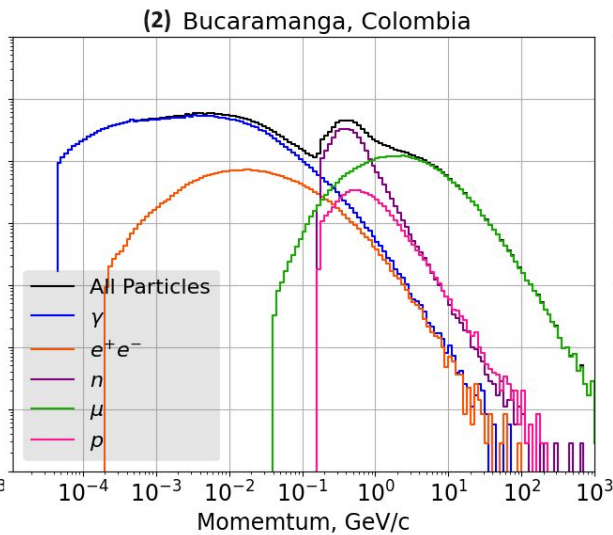
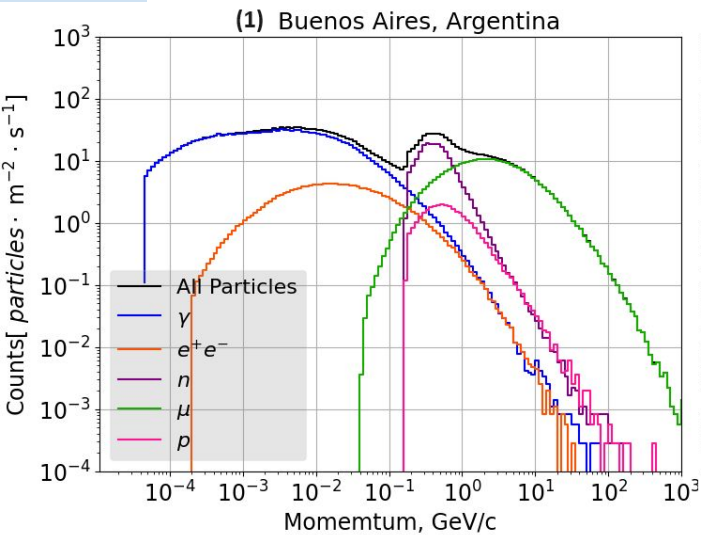
- Simulamos la atmósfera como un paralelepípedo:
  - ◆ Compuesto de nitrógeno, oxígeno y argón dividido en 10 capas de diferente densidad de aire
  - ◆ 6000m en el z, 2000 m en (x,y)
  - ◆ La fuente será el flujo obtenido en CORSIKA

→ Physics List: QGSP-BERT

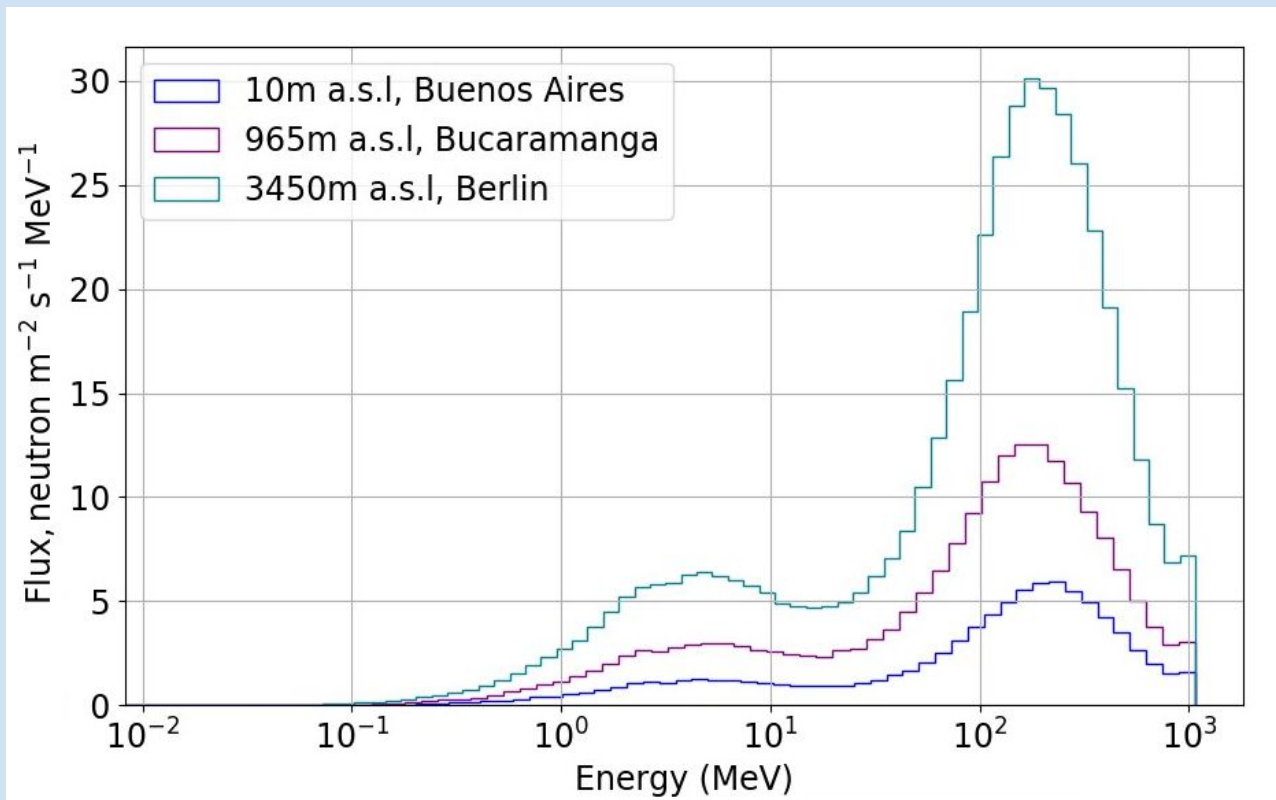


# GEANT4-CORSIKA

Alt. (m a.s.l)	Inj. (m a.s.l)	no part. Inj.
10	2010	7811213
956	2956	12592928
3420	5420	42487066



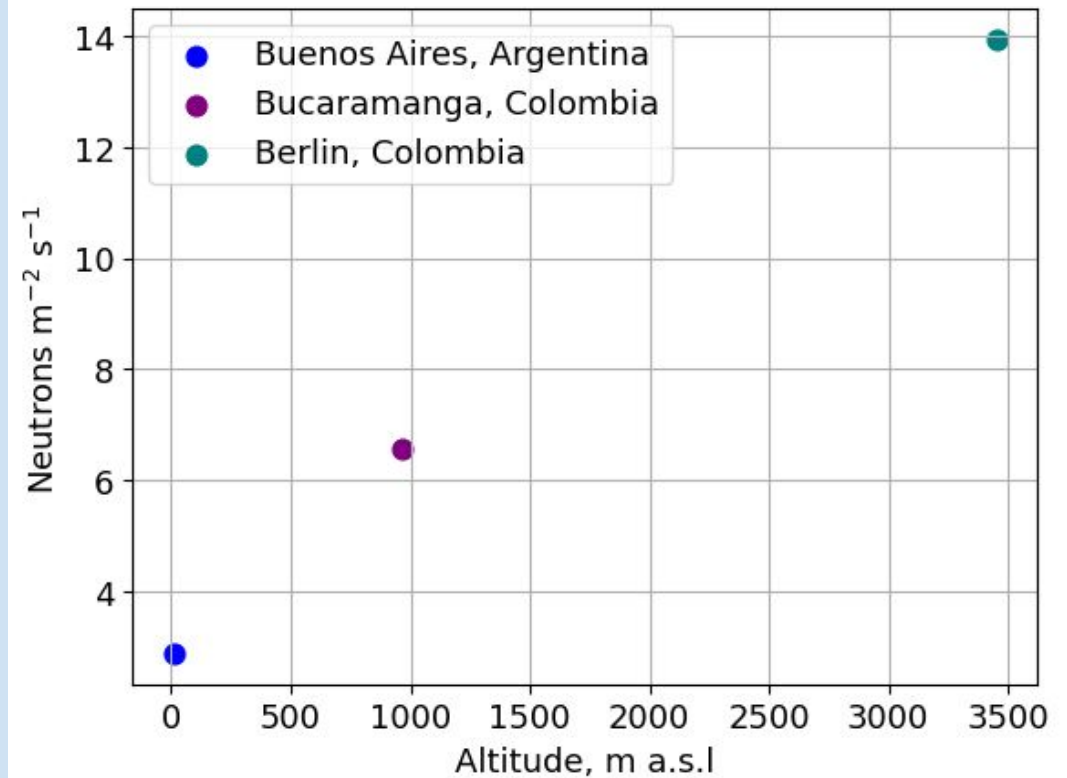
# Espectro de neutrones GEANT4-CORSIKA



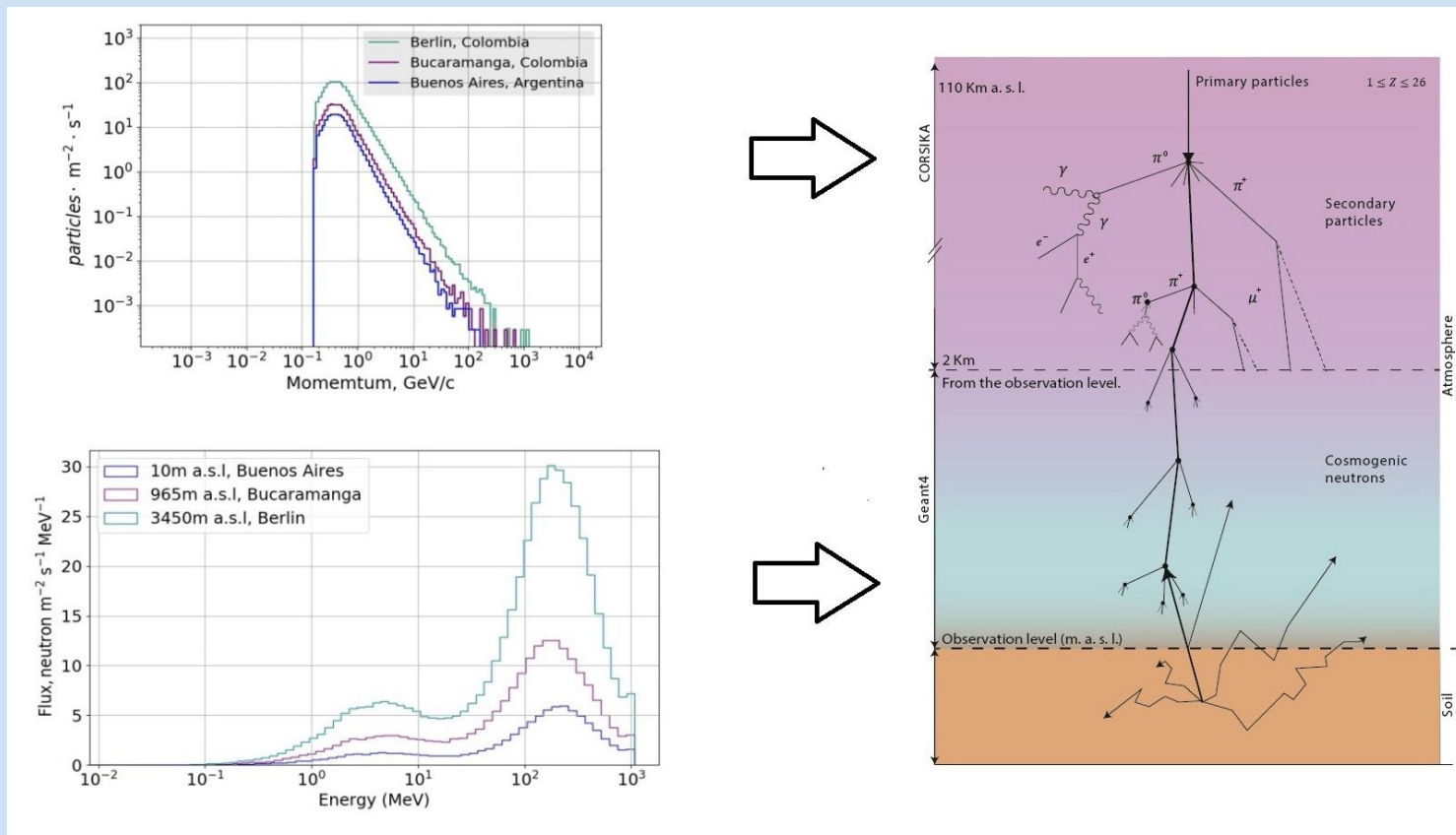


# Espectro de neutrones GEANT4-CORSIKA

Alt. m a.s.l	$\text{flux}_i$ ( $\text{n}/\text{m}^2\text{s}$ )	$\text{flux}_i/\text{flux}_0$
10	2.8	1
956	6.5	2.2
3450	13.9	4.8



# Espectro de neutrones GEANT4-CORSIKA





# Gracias

**Obrigado**