



# Simulaciones de neutrones cósmicos de baja energía para agricultura de precisión

Yessica Dominguez, Luigui Miranda, Luis Piñeres, Christian Sarmiento, Adriana Vasquez, Luis Nuñez, Hernan Asorey

---

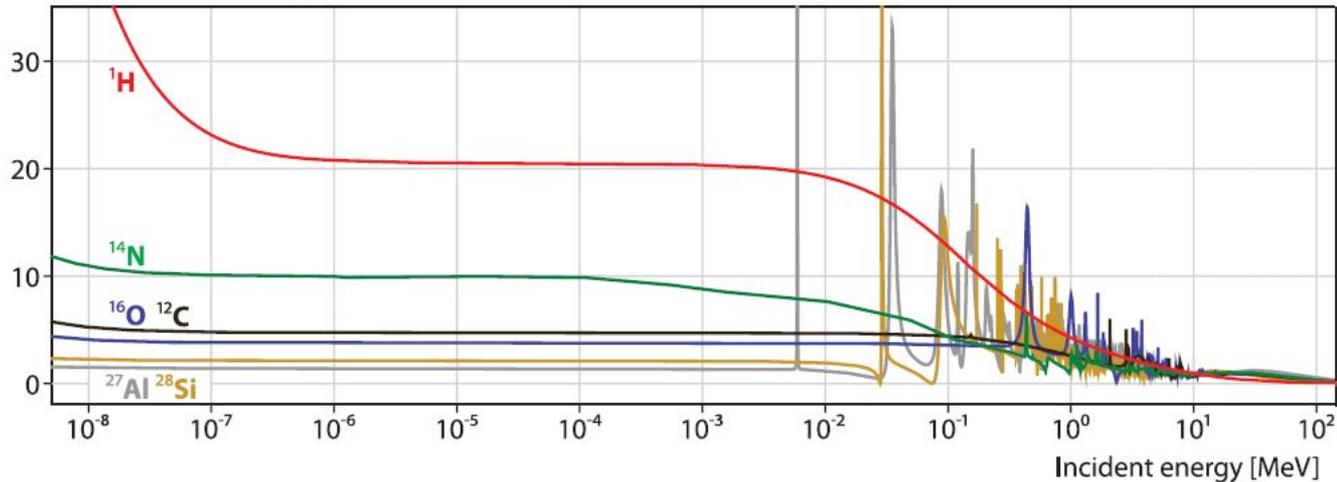
# INTRODUCCIÓN

- 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

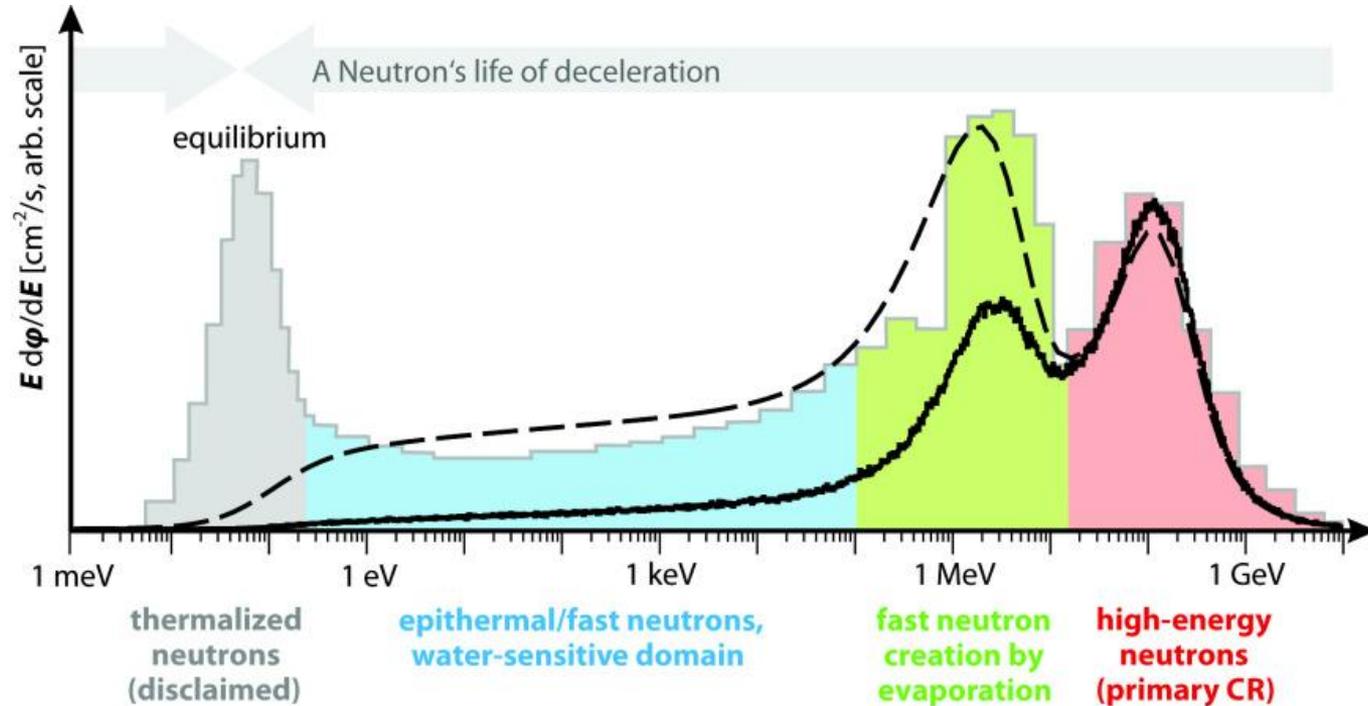
**Medición de humedad del suelo:** Usan neutrones para monitorear la humedad del suelo en tiempo real, de forma no invasiva y en áreas extensas.

Elastic neutron scattering cross section [barn]



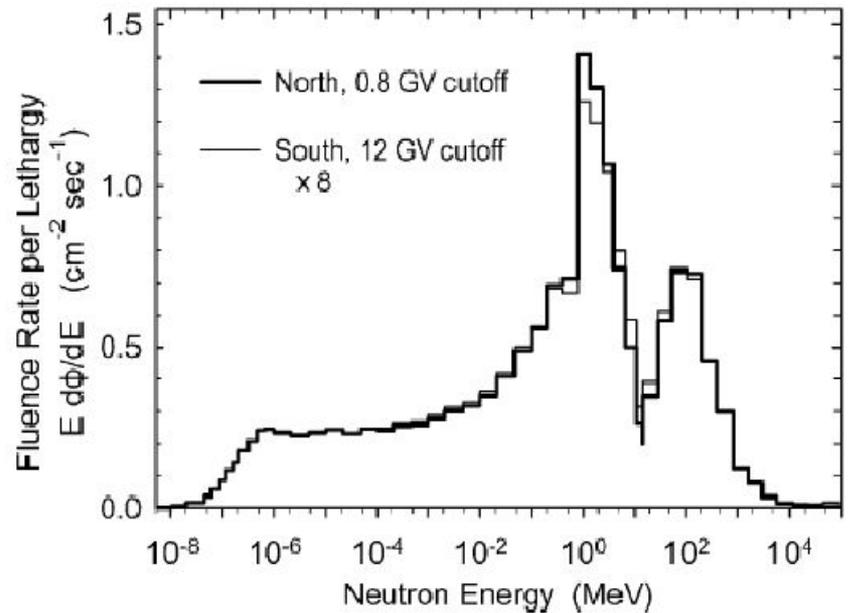
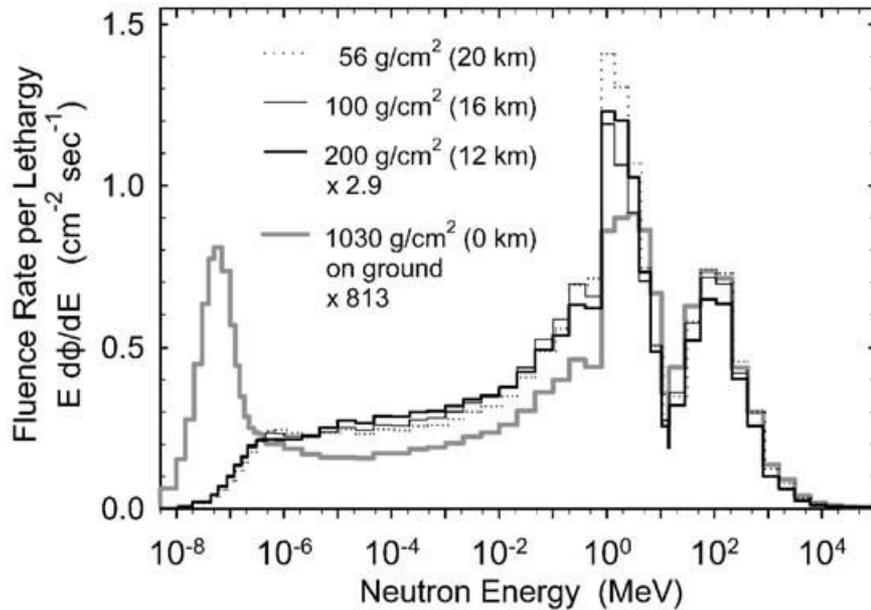
$$\theta(N) = \frac{a_0}{N/N_0 - a_1} - a_2$$

# ESPECTRO DE NEUTRONES CÓSMICOS



# ESPECTRO DE NEUTRONES CÓSMICOS

Goldhagen et al. (2020)

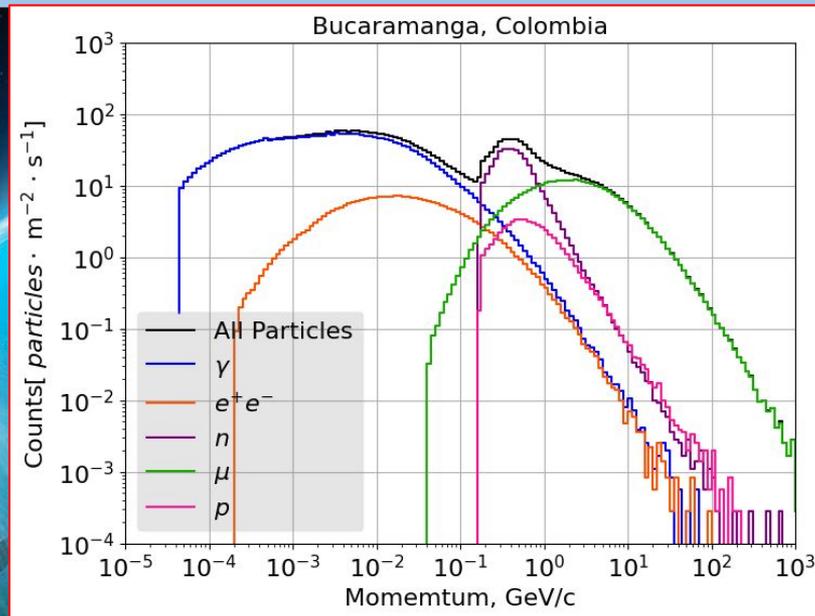


# Cosmic Ray Neutron Sensing (CRNS)

- 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.

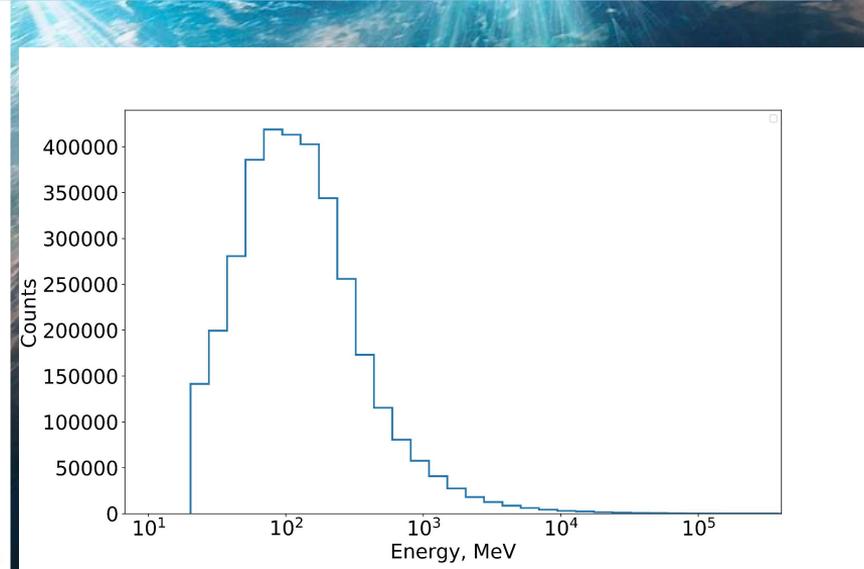
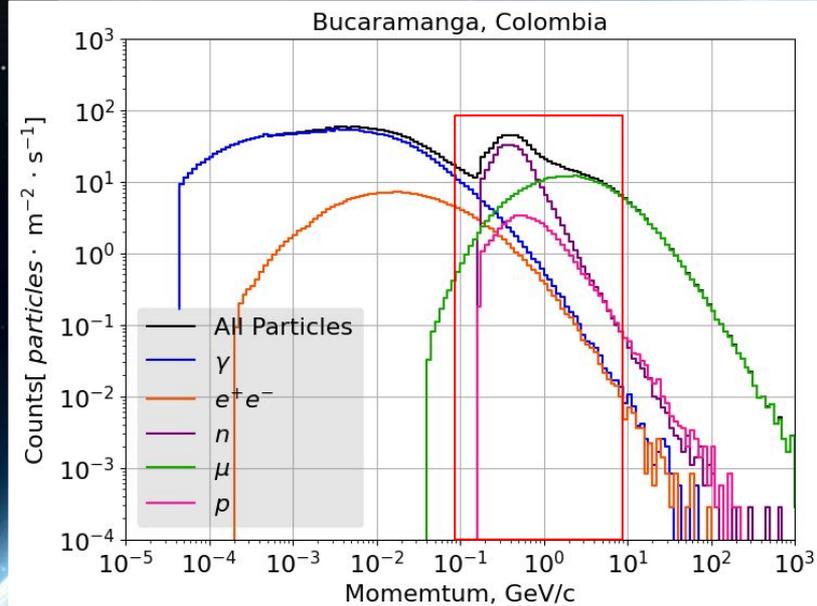
# CORSIKA

Software de simulación especializado en simulaciones de rayos cósmicos secundarios.



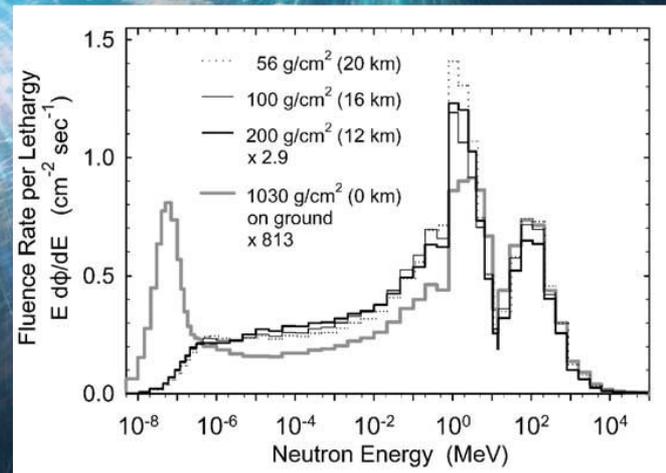
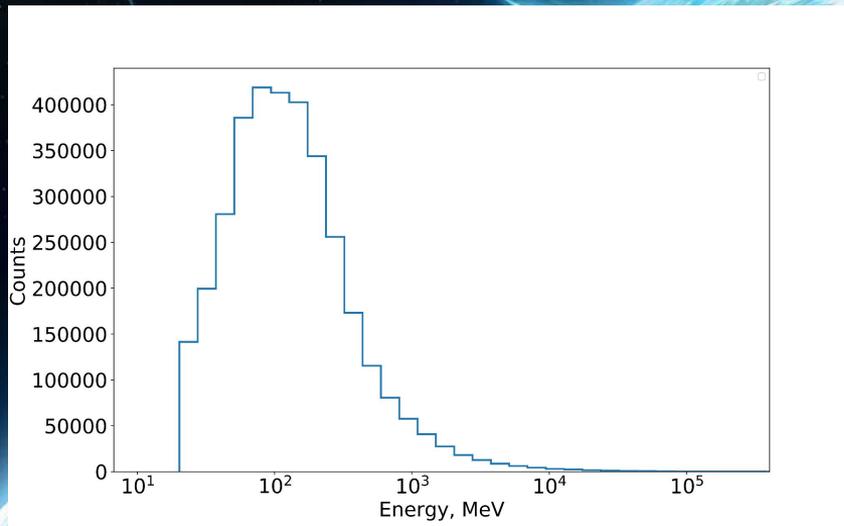
# CORSIKA

Software de simulación especializado en simulaciones de rayos cósmicos secundarios.



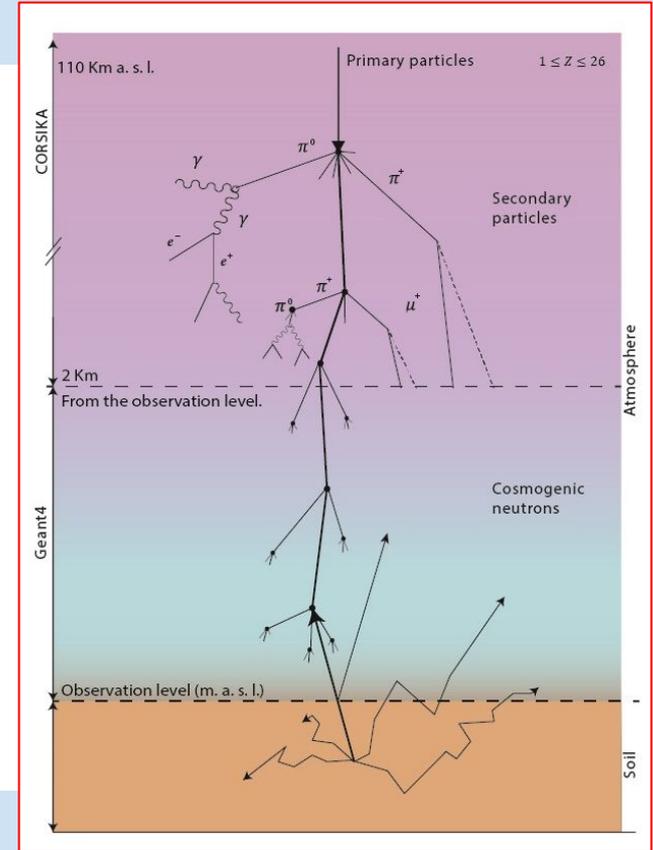
# CORSIKA

Software de simulación especializado en el desarrollo de los rayos cósmicos secundarios a través de la atmósfera.



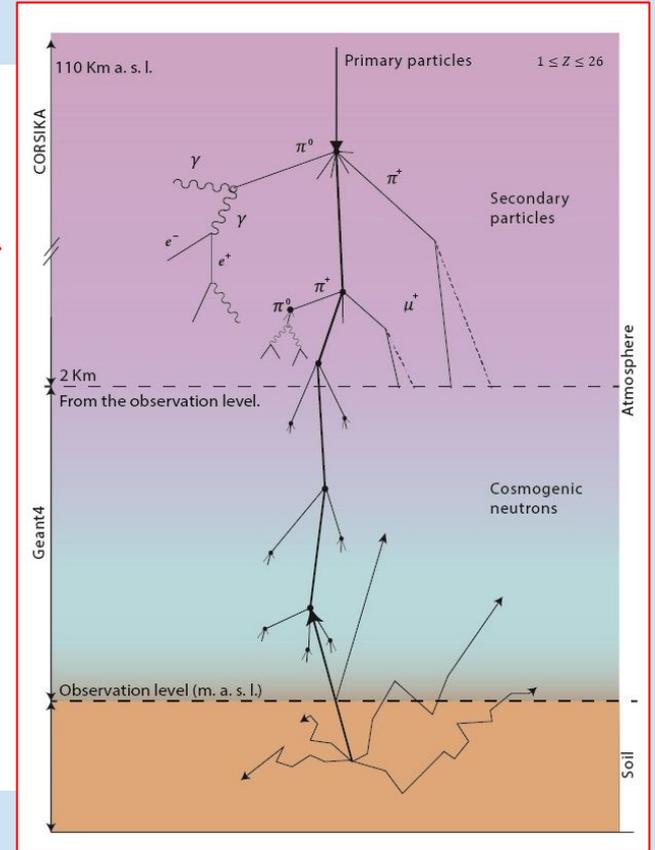
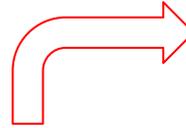
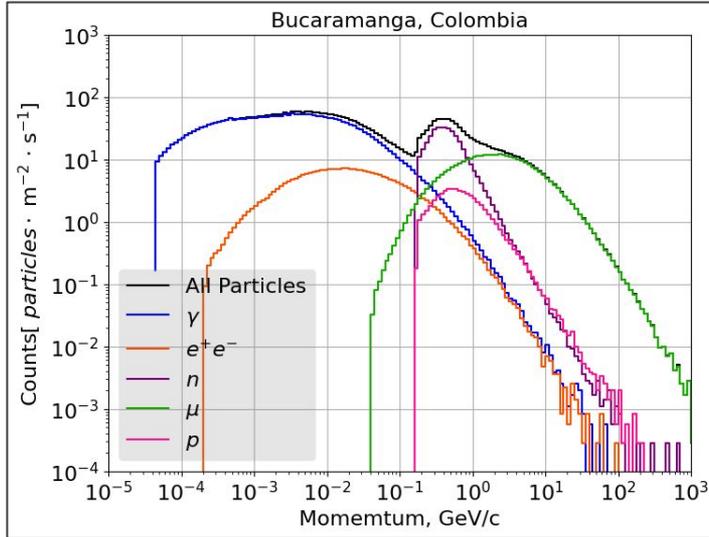
# GEANT4

Software especializado en interacción de partículas con materia.



# GEANT4

Software especializado en interacción de partículas con materia.



# GEANT4-CORSIKA

## → Estudio del espectro de neutrones

### ◆ Atmósfera de la tierra

Const.	Mass frac.
N	0.7808
O	0.2095
Ar	0.0093

### ★ 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

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

```
//Dry Soil
SoilBS = new G4Material("SoilBS", 2.7*g/cm3, 14);
SoilBS->AddElement(eO, 0.49);
SoilBS->AddElement(eSi, 0.33);
SoilBS->AddElement(eAl, 0.0713);
SoilBS->AddElement(eNa, 0.0063);
SoilBS->AddElement(eK, 0.0136);
SoilBS->AddElement(eCa, 0.0137);
SoilBS->AddElement(eFe, 0.038);
SoilBS->AddElement(eMg, 0.006);
SoilBS->AddElement(eC, 0.02);
SoilBS->AddElement(eS, 0.0008);
SoilBS->AddElement(eN, 0.001);
SoilBS->AddElement(eP, 0.0009);
SoilBS->AddElement(eTi, 0.0046);
SoilBS->AddElement(eH, 0.0038);

// Soil 5% moisture
SoilB5 = new G4Material("SoilB5", 2.7*g/cm3, 2);
SoilB5->AddMaterial(SoilBS, 0.95);
SoilB5->AddMaterial(Water, 0.05);

//Soil 10% moisture
SoilB10 = new G4Material("SoilB10", 2.7*g/cm3, 2);
SoilB10->AddMaterial(SoilBS, 0.9);
SoilB10->AddMaterial(Water, 0.1);

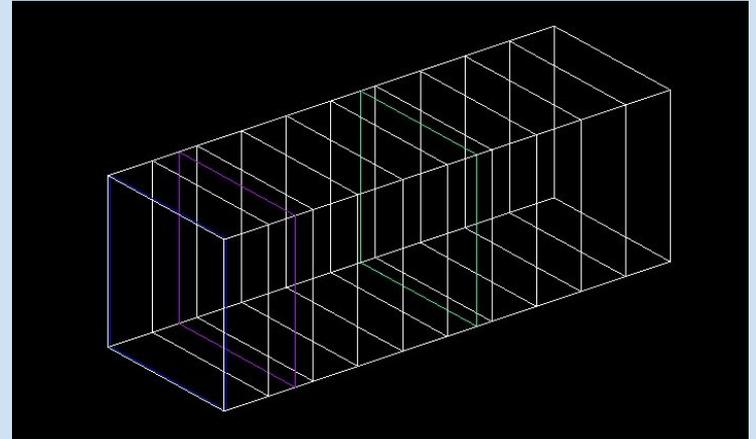
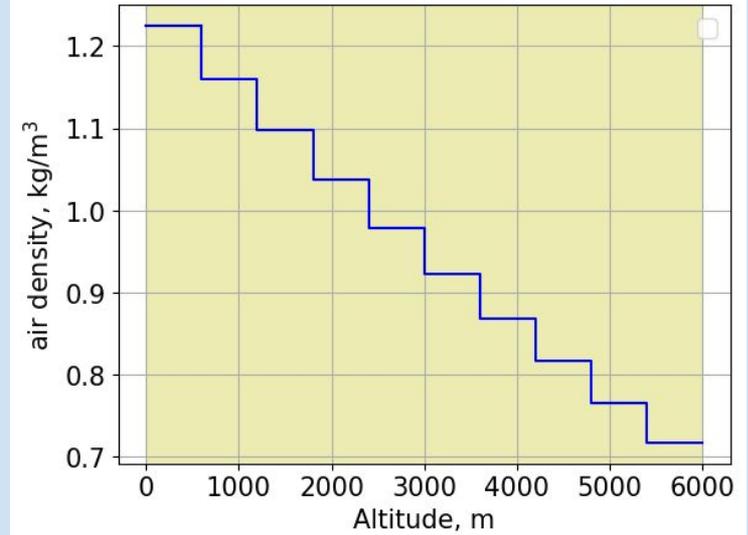
//Soil 15% moisture
SoilB15 = new G4Material("SoilB15", 2.7*g/cm3, 2);
SoilB15->AddMaterial(SoilBS, 0.85);
SoilB15->AddMaterial(Water, 0.15);

//Soil 25% moisture
SoilB25 = new G4Material("SoilB25", 2.7*g/cm3, 2);
SoilB25->AddMaterial(SoilBS, 0.75);
SoilB25->AddMaterial(Water, 0.25);

//Soil 30% moisture
SoilB30 = new G4Material("SoilB30", 2.7*g/cm3, 2);
SoilB30->AddMaterial(SoilBS, 0.7);
SoilB30->AddMaterial(Water, 0.3);
```

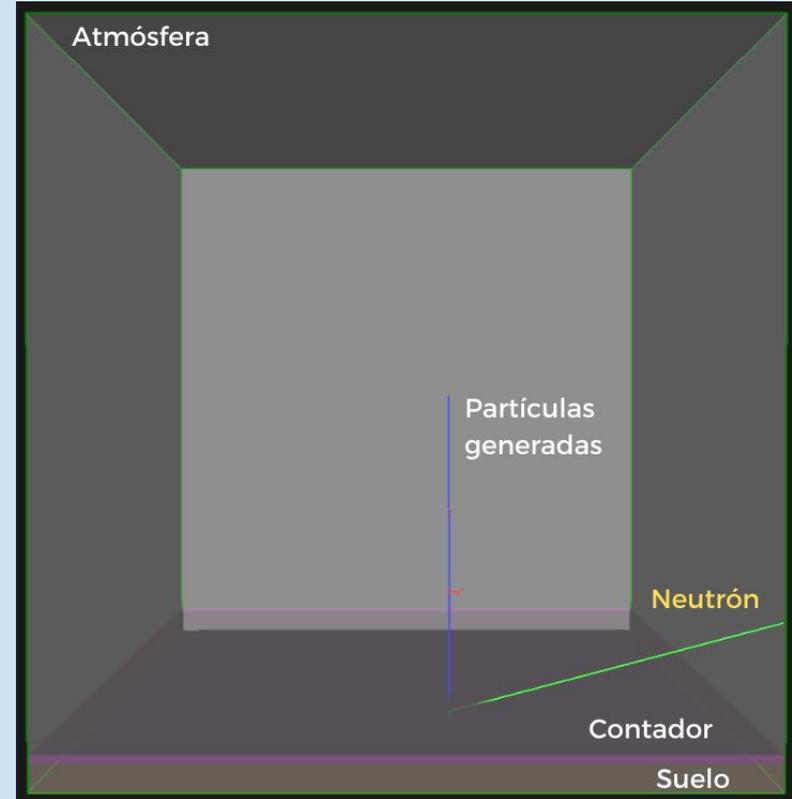
# GEANT4-CORSIKA

- 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-HP

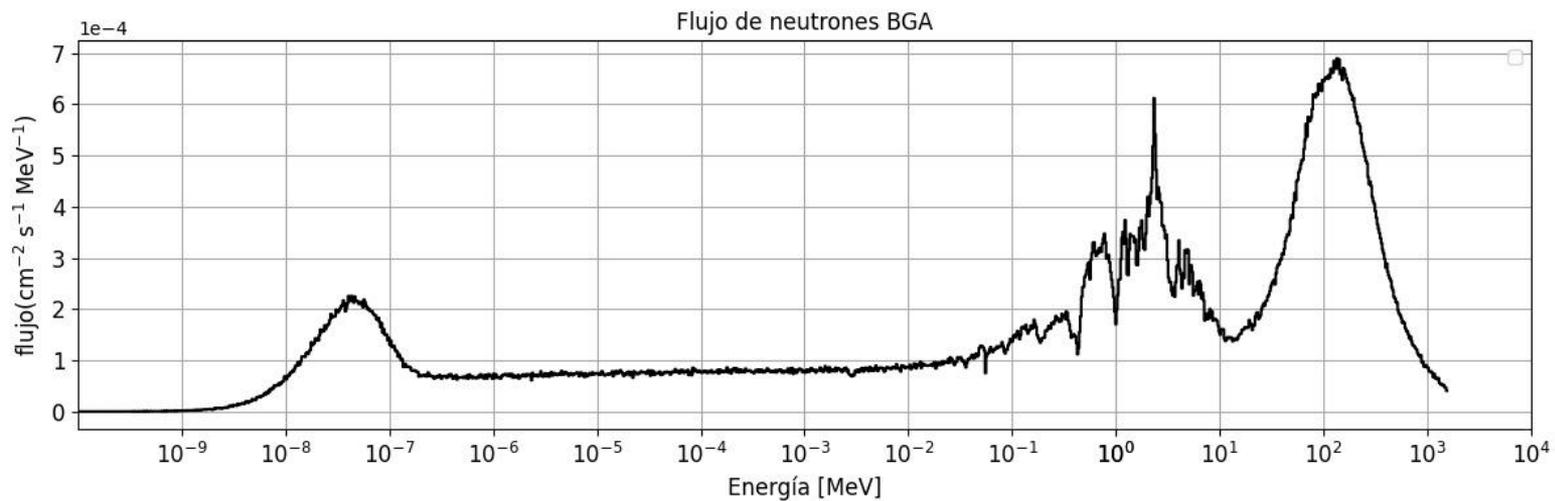


# GEANT4-CORSIKA

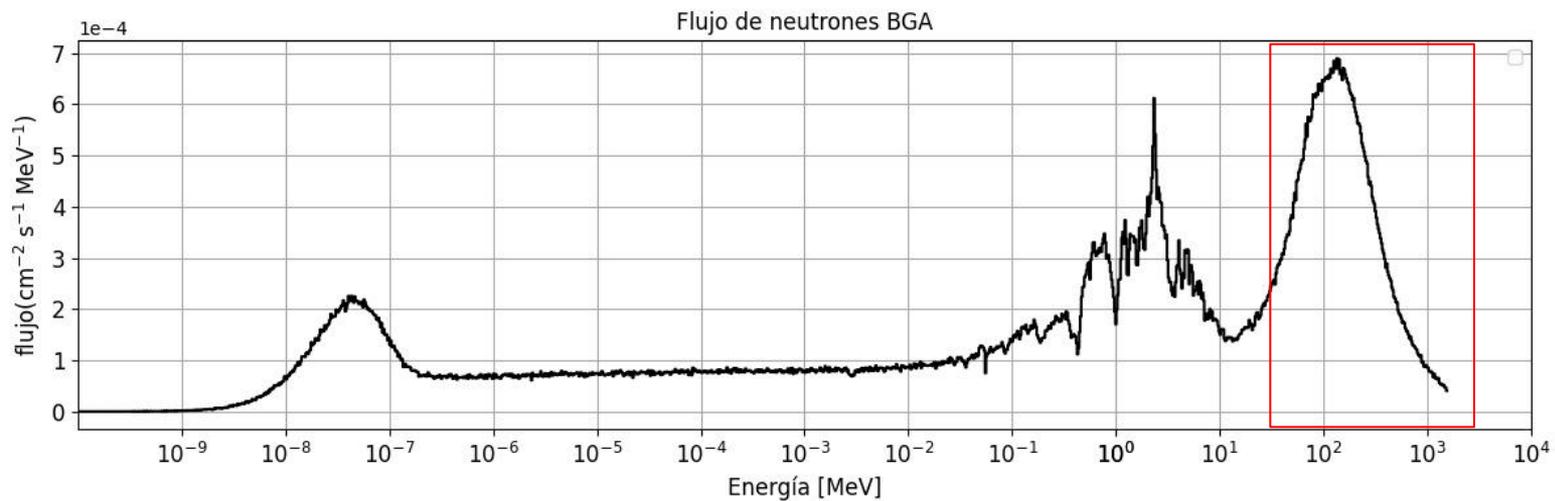
- Simulamos la atmósfera como un paralelepípedo:
  - ◆ Compuesto de nitrógeno, oxígeno y argón dividido en 10 capas de diferente densidad de aire
  - ◆ 6000m en el z, 2000 m en (x,y)
  - ◆ La fuente será el flujo obtenido en CORSIKA
  
- Physics List: QGSP-BERT-HP



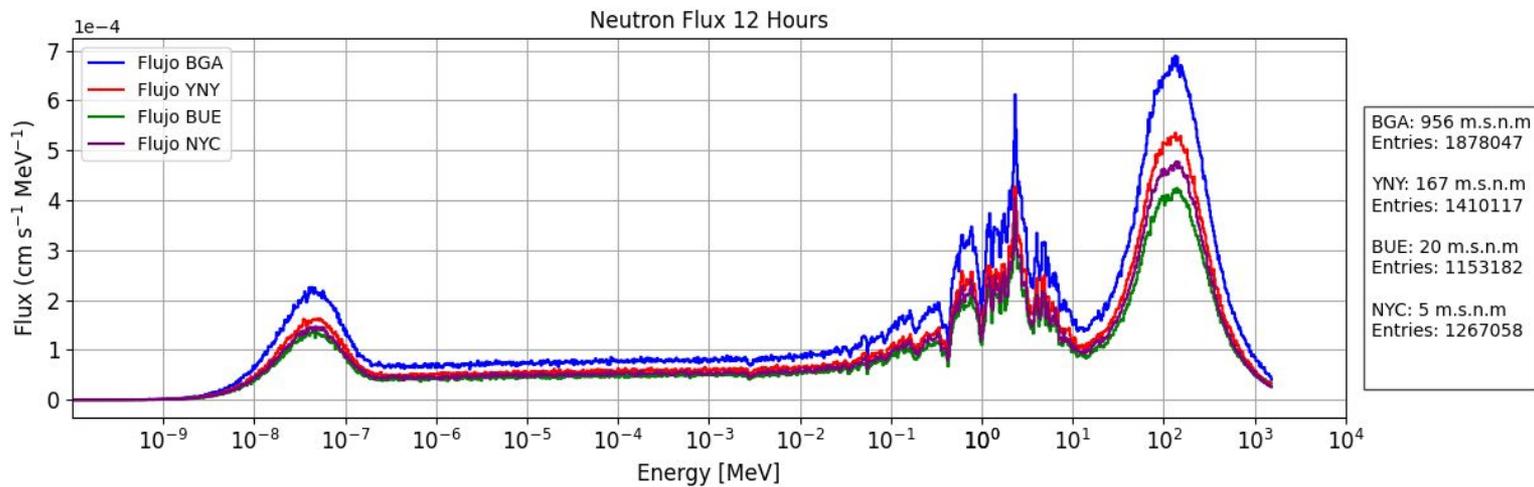
# RESULTADOS



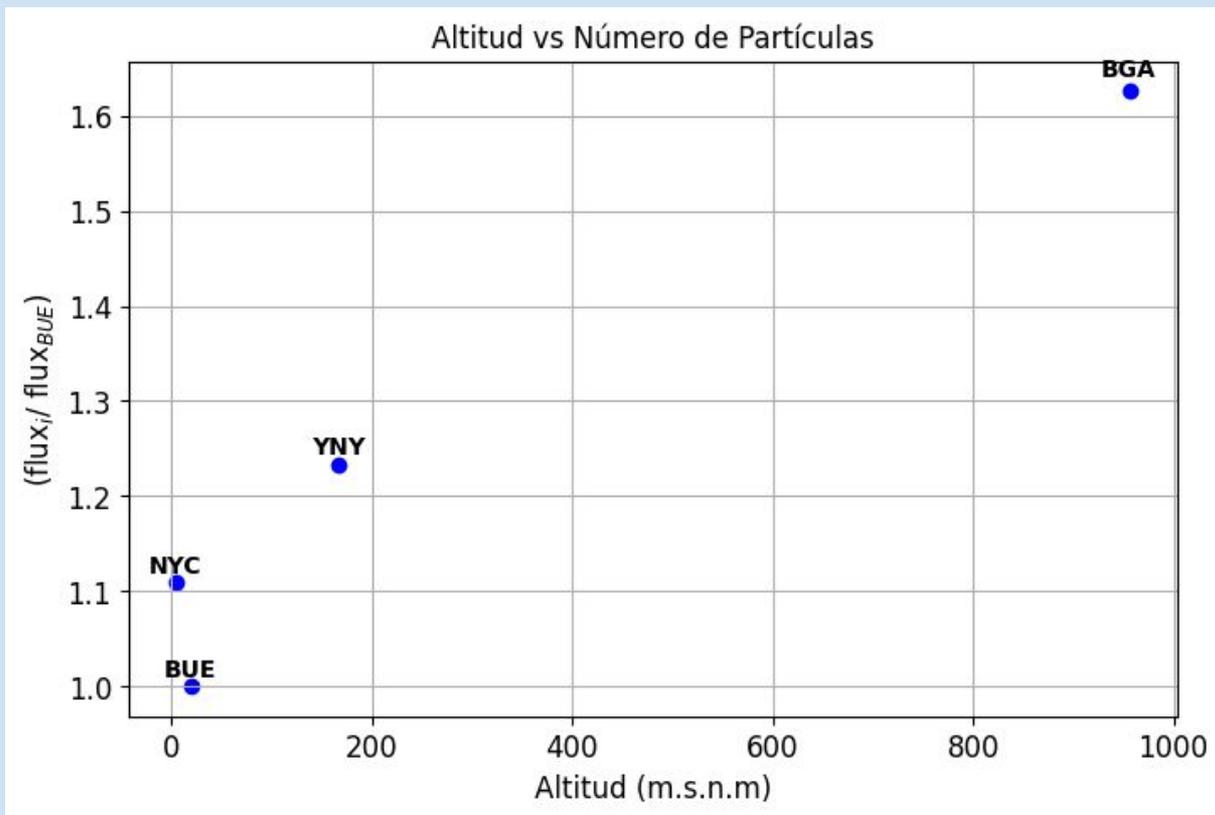
# RESULTADOS



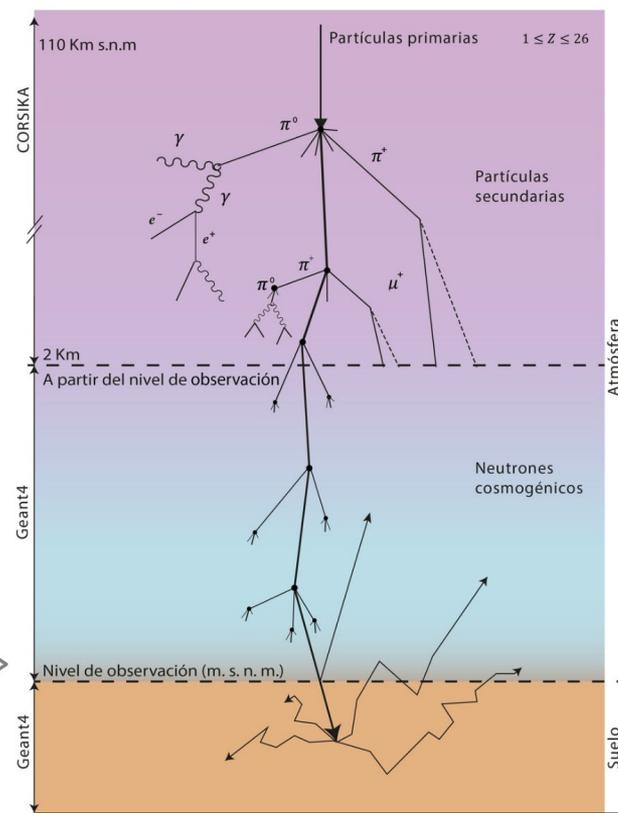
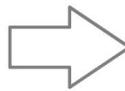
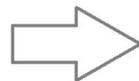
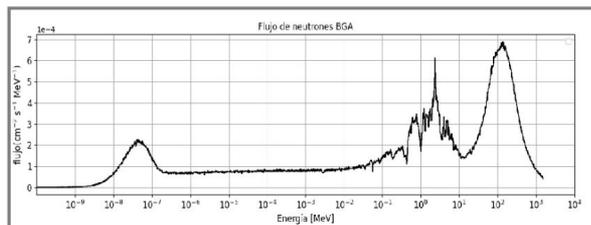
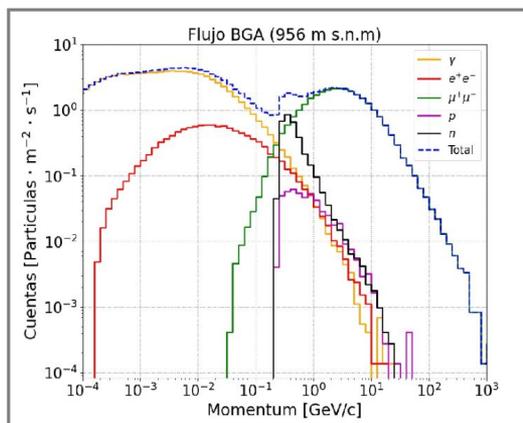
# RESULTADOS



# Espectro de neutrones GEANT4-CORSIKA



# Espectro de neutrones GEANT4-CORSIKA





# Gracias