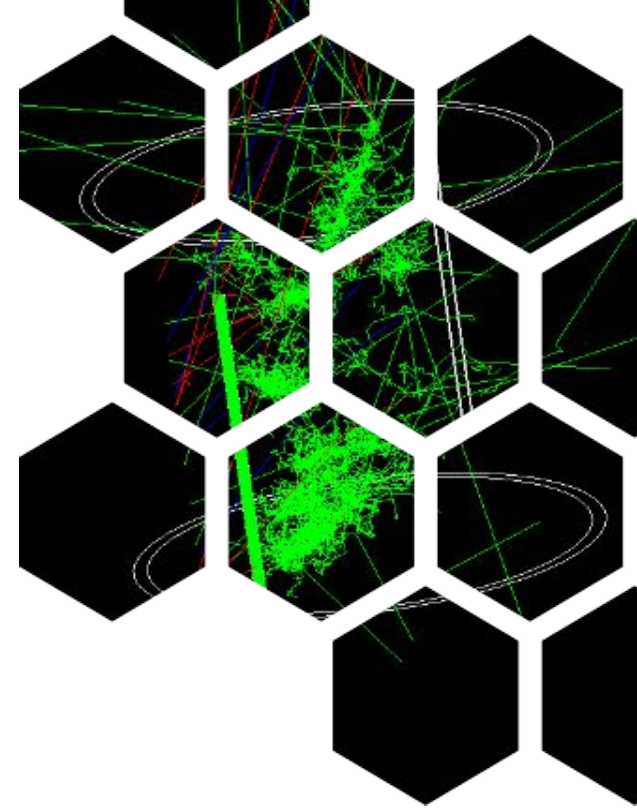


MEIGA - Geant4 in a nutshell



PhD. Student: Rafael A. Martínez R.

Grupo de Investigación en Relatividad y Gravitación (GIRG)
Laboratorio de Investigación para la Detección de Radiación y Astropartículas (LiDERA)
Universidad Industrial de Santander
rafael2248058@correo.uis.edu.co



**El conocimiento
es de todos**

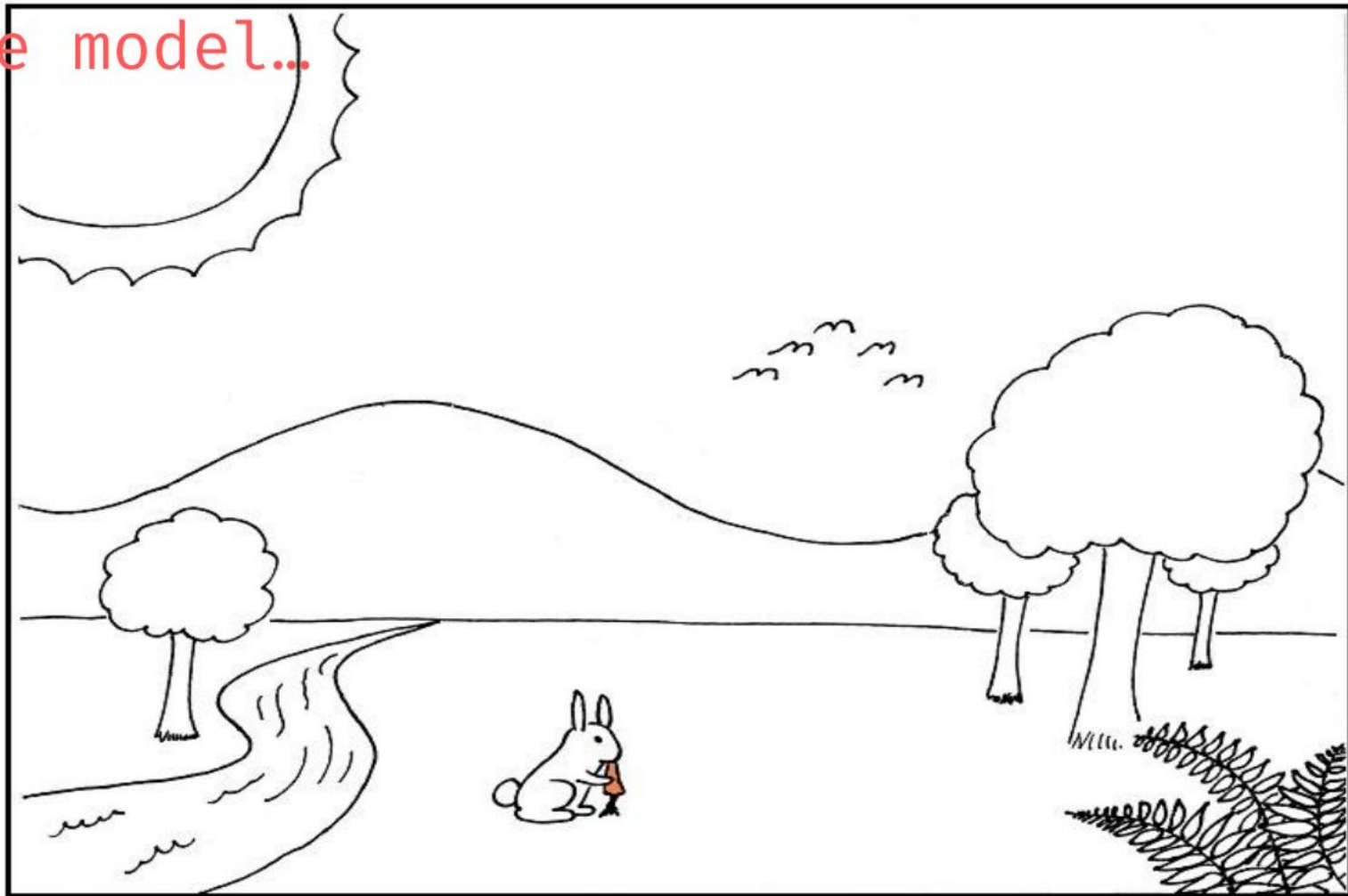
Minciencias

The reality...

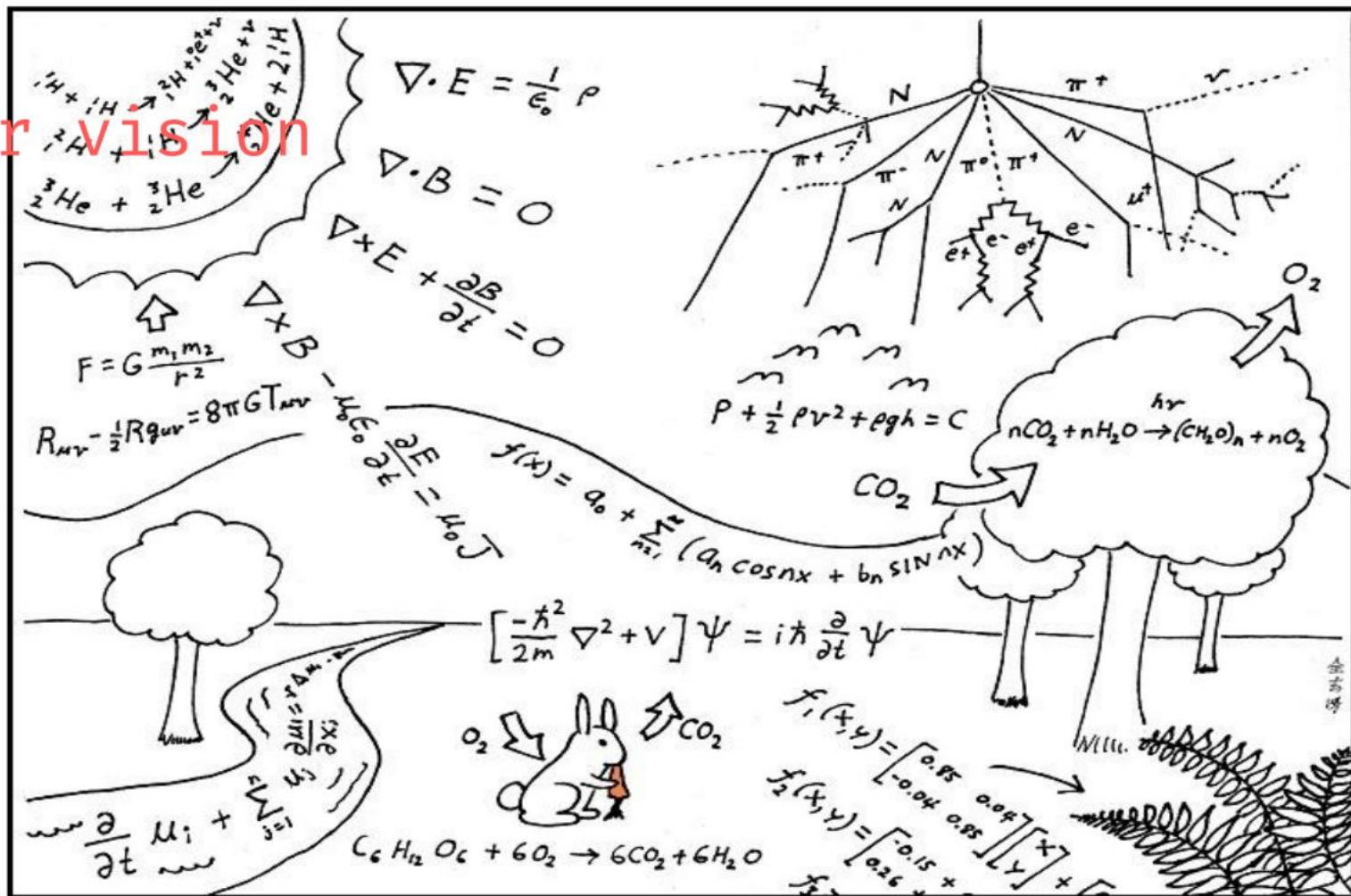


Preludio by Hernán Asorey

The model...

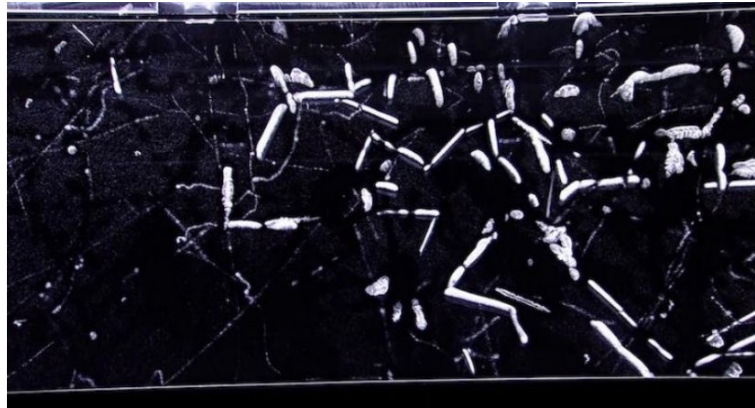
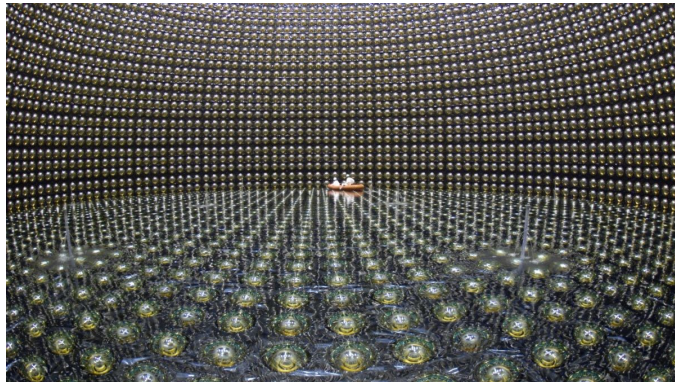
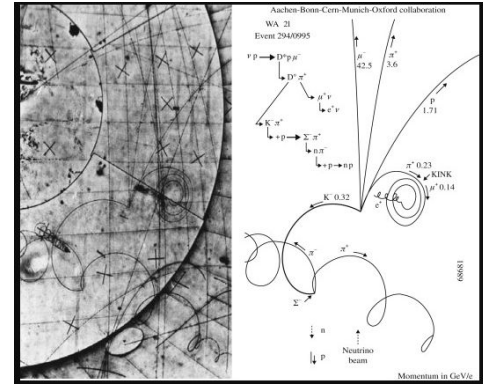
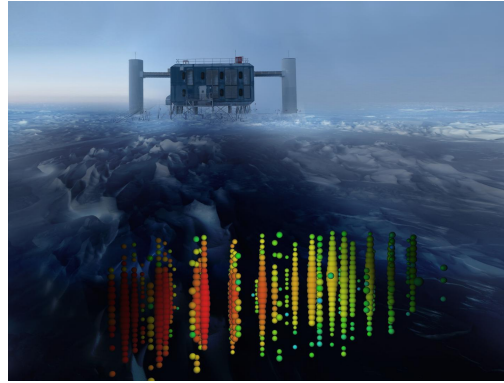


Our vision



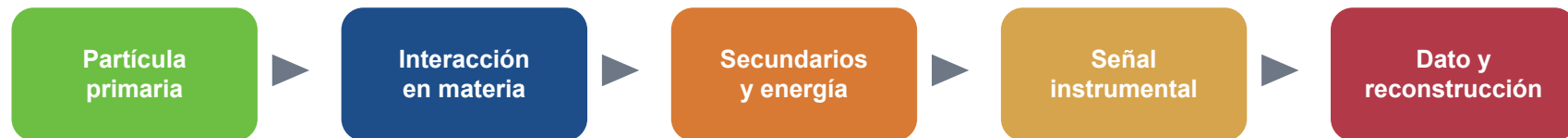
La necesidad de medir

- Para medir algo que no conocemos, hacemos que interactúe con un sistema de prueba y observamos su respuesta.
- Por eso, la detección de partículas se basa en su interacción con la materia.



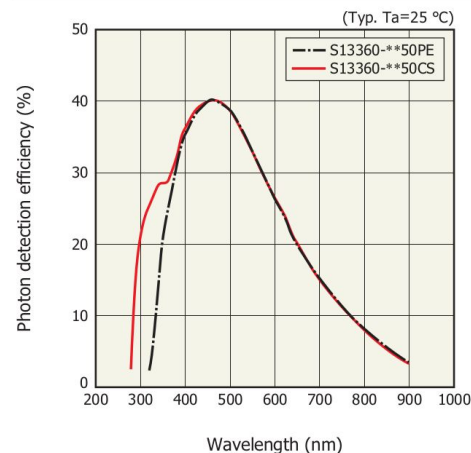
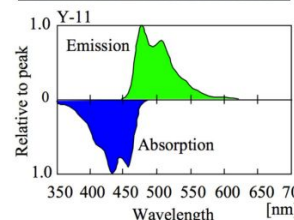
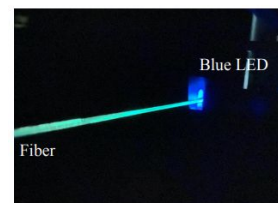
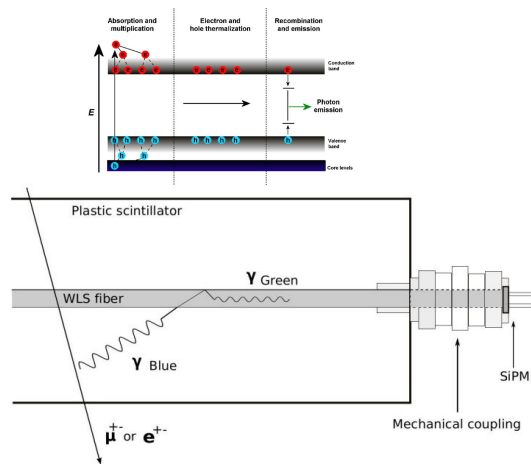
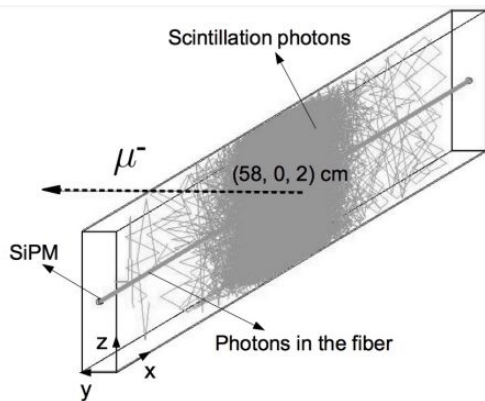
¿Qué mide realmente un detector?

La señal final es una inferencia, no una observación directa de la partícula ideal



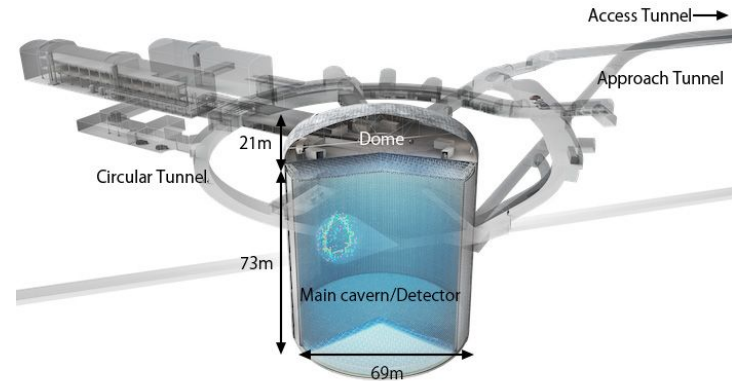
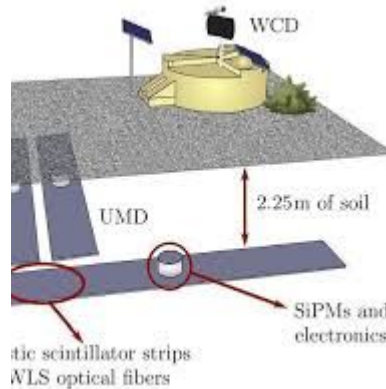
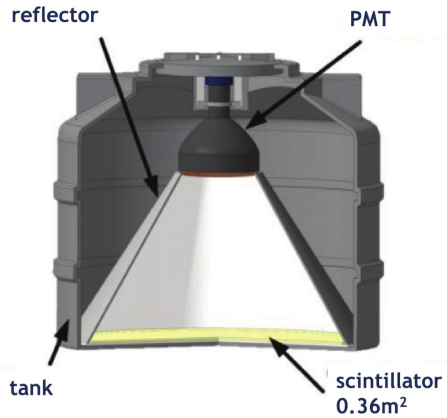
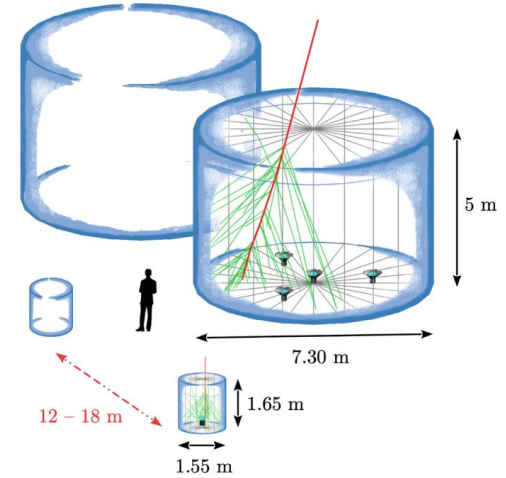
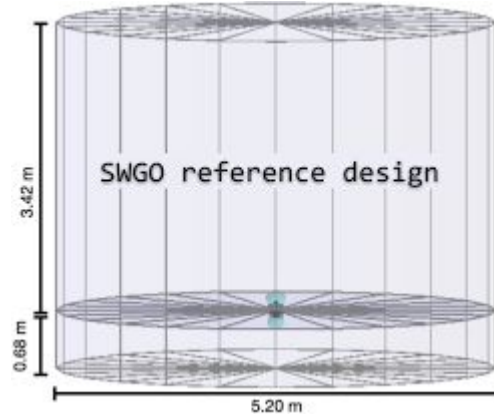
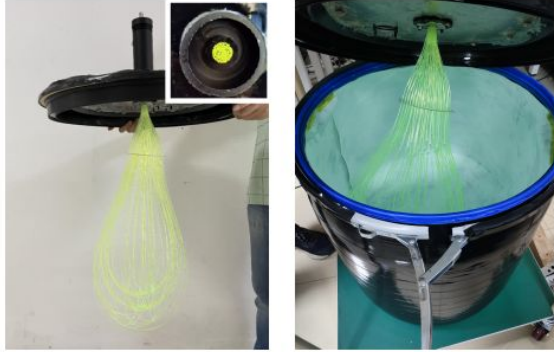
Ejemplo

Un muón en un centellador produce excitación, luz, señal electrónica, umbral, coincidencia y reconstrucción angular. La medición no es “el muón”, sino un observable procesado.



El análisis experimental exige modelar tanto la física como el instrumento.

WCDs?

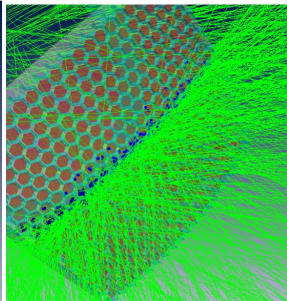
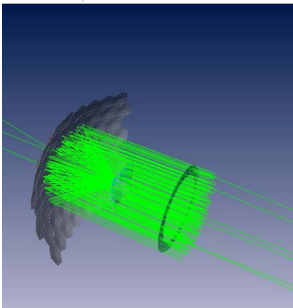


Motivación particulara

AUGER

Rayos cósmicos ultraenergéticos

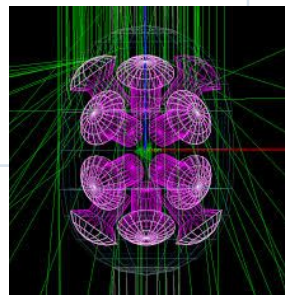
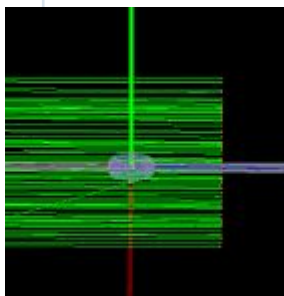
Lluvia atmosférica extensa →
tanques Cherenkov +
fluorescencia



IceCube

Neutrinos astrofísicos

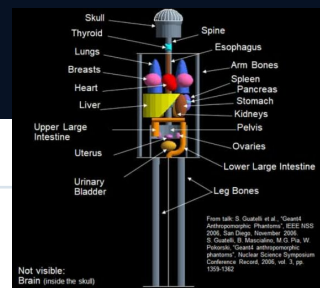
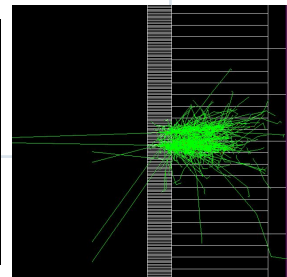
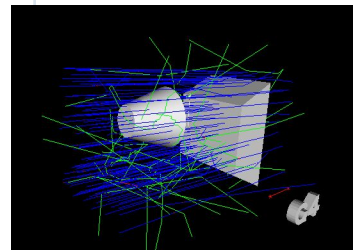
Neutrino o muón → luz Cherenkov
propagándose en hielo



CERN/LHC

Colisiones de alta energía

Partículas secundarias → tracks,
calorimetría y triggers



Idea común: fuente + materia + geometría + procesos + detector + reconstrucción.

Tres lecturas de simulación: AUGER, IceCube y CERN

La pregunta define qué física, qué geometría y qué observable importan

Sistema	Fuente	Materia / detector	Observable
AUGER	primario hadrónico / núcleo	atmósfera + suelo + tanques	shower size, lateral distribution, Xmax
IceCube	neutrino / muón	hielo antártico + módulos ópticos	tiempos y patrón de luz Cherenkov
CERN/LHC	partículas de colisión	tracker + calorímetros + muon systems	tracks, clusters, Edep, eficiencia
Muografía	muones atmosféricos	roca + detector + topografía	transmisión angular, aceptación y opacidad

No hay simulación “genérica”: hay una pregunta física concreta y una aproximación controlada.

Interacción fundamental $\neq$ proceso de transporte

La física fundamental es la base; Geant4 trabaja con procesos concretos en materiales

Nivel fundamental

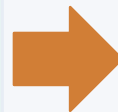
Fuerzas / interacciones

- Electromagnética: fotones y partículas cargadas
- Fuerte: hadrones, núcleos y cascadas
- Débil: decaimientos y neutrinos
- Gravitatoria: despreciable para transporte de detectores

Nivel operativo en Geant4

Procesos con probabilidad y estado final

- Ionización / excitación
- Compton, fotoeléctrico, Rayleigh
- Bremsstrahlung y producción de pares
- Dispersión múltiple
- Captura e interacciones hadrónicas
- Decaimiento y procesos ópticos



Physics List

G4Track

estado instantáneo



G4Step

transporte paso a paso



Proceso físico

sección eficaz + modelo



Salida

Edep, secundarios, hits

Idea clave

La Physics List no selecciona “fuerzas” en abstracto: selecciona partículas, procesos, modelos y cortes adecuados al problema físico.

geant4

A toolkit for the simulation of the passage of particles through matter.

```
// Toolkit orientado a simulación Monte Carlo de transporte  
// Modela geometría, materiales, partículas y detectores  
// Se usa en altas energías, nuclear, medicina y espacio
```

```
G4RunManager *runManager;  
DetectorConstruction detector;  
PhysicsList physics;  
PrimaryGeneratorAction generator;
```

```
// Componentes mínimos de una aplicación  
geometry + physics + source + user actions
```

```
/*  
  Geant4 permite construir aplicaciones para estudiar:  
  
  * la geometría y materiales del sistema;  
  * las partículas fundamentales y sus procesos físicos;  
  * el tracking y transporte en materia y campos;  
  * la respuesta del detector al paso de partículas;  
  * la visualización de trayectorias e hits;  
  * la captura y análisis básico de resultados.  
*/  
}
```

Geant4 no “hace la simulación por ti”. Te da el kernel y los modelos para que formules bien tu experimento.

No es un programa cerrado: el usuario construye su propia aplicación.

Permite modelar el paso de partículas a través de la materia, evento por evento.

La física disponible se organiza mediante Physics Lists y modelos.

Geant4 no solo transporta partículas: también conecta física, detector y observables.

Salida típica

Energía depositada, hits, trayectorias, histogramas y archivos ROOT.

No se puede simplemente “tomar” Geant4, escribir un archivo de entrada y ejecutarlo para obtener resultados directamente.

Sin embargo:

- Puede existir una aplicación que ya haga todo, o casi todo, lo que se necesita.
- Puede existir un ejemplo de Geant4 que ya tenga gran parte de lo que se necesita.
- Por tanto, modificar una aplicación o un ejemplo existente para completar lo que falta puede ser una tarea alcanzable.

Para modificar una aplicación existente y hacer que haga “un poco más”, es necesario entender los conceptos básicos de Geant4.

Este curso busca dar una primera base sobre Geant4, enfocándose en sus conceptos clave.

Geant4



<http://www.geant4.org/>



S. Agostinelli et al.
Geant4: a simulation toolkit
NIM A, vol. 506, no. 3, pp. 250-303, 2003



Laboratoire d'Annecy-le-Vieux
de Physique des Particules



J. Allison et al.
Geant4 Developments and Applications
IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 53, no. 1, pp. 270-278, 2006



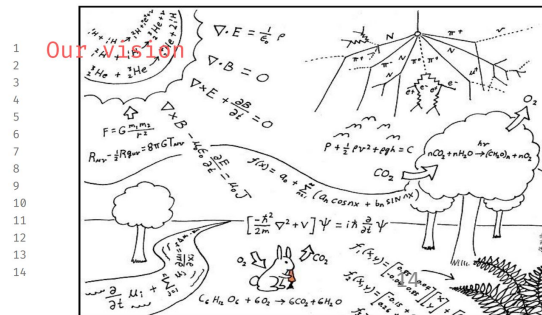
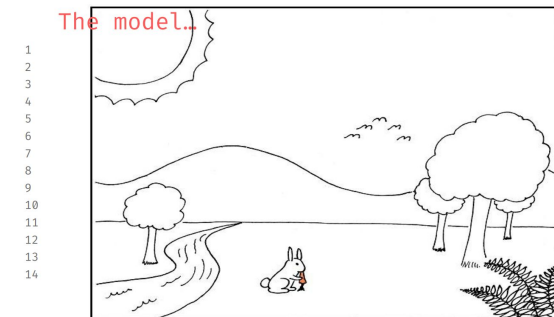
Office of Science



Minimal workflow

Cómo se traduce esto en una aplicación Geant4

1. Definir **DetectorConstruction**
2. Elegir **PhysicsList**
3. Definir **PrimaryGeneratorAction**
4. Añadir User Actions si hacen falta
5. Compilar con CMake y enlazar Geant4
6. Ejecutar macros y analizar la salida



Interacciones fundamentales vs. procesos de transporte

Cómo Geant4 decide si una partícula interactúa y qué proceso ocurre

Transporte Monte Carlo en Geant4

1 $\Sigma_{\text{tot}}(E) = \sum_j \Sigma_j(E)$

2 $\lambda(E) = \frac{1}{\Sigma_{\text{tot}}(E)}$

3 $P_{\text{int}}(x) = 1 - e^{-x/\lambda} = 1 - e^{-\Sigma_{\text{tot}}x}$

4 $P(j | \text{int}) = \frac{\Sigma_j}{\Sigma_{\text{tot}}}$

5 $s = -\lambda \ln(\eta), \quad 0 < \eta < 1$

6 $s_{\text{step}} = \min(s_{\text{phys}}, s_{\text{geom}})$

Leyenda de símbolos

- E : energía de la partícula
- j : proceso físico candidato
- Σ_j : sección eficaz macroscópica del proceso j
- Σ_{tot} : suma de las secciones eficaces macroscópicas activas
- λ : longitud libre media
- x : espesor recorrido en el material
- η : número aleatorio uniforme entre 0 y 1
- s_{phys} : distancia propuesta por la física
- s_{geom} : distancia hasta la siguiente frontera geométrica
- s_{step} : longitud final del paso



Ejemplo: γ de 1 MeV en xenón líquido (LXe)

1 $\gamma(1 \text{ MeV}) + \text{LXe}$

2 $j = \{\text{Compton, photoelectric, Rayleigh}\}$

3 $E_\gamma < 2m_e c^2 = 1.022 \text{ MeV} \Rightarrow \text{pair production} = 0$

4 $\rho_{\text{LXe}} = 2.953 \text{ g/cm}^3, \quad \mu/\rho = 5.785 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$

5 $\mu = \rho(\mu/\rho) \approx 0.171 \text{ cm}^{-1}$

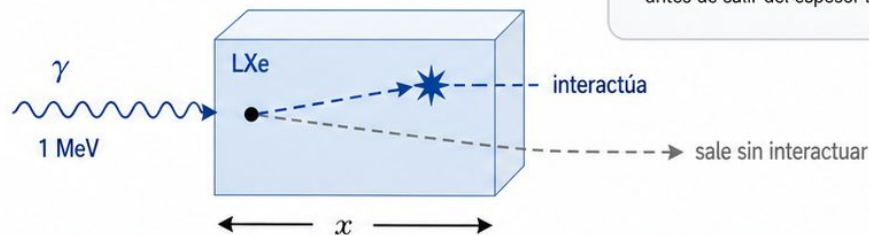
6 $\lambda = \frac{1}{\mu} \approx 5.85 \text{ cm}$

7 $P_{\text{int}}(x) = 1 - e^{-0.171x}$

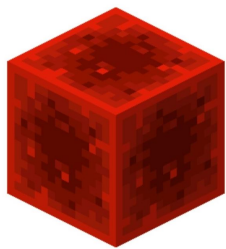
8 $P_{\text{int}}(1 \text{ cm}) \approx 16\%, \quad P_{\text{int}}(5 \text{ cm}) \approx 58\%, \quad P_{\text{int}}(10 \text{ cm}) \approx 82\%$

Leyenda del ejemplo

- γ : fotón gamma
- E_γ : energía del fotón gamma
- $2m_e c^2$: umbral de producción de pares $e^- e^+$
- LXe: xenón líquido
- ρ_{LXe} : densidad del xenón líquido
- μ/ρ : coeficiente de atenuación másico
- μ : coeficiente de atenuación lineal
- λ : longitud media de interacción
- $P_{\text{int}}(x)$: probabilidad de interacción antes de salir del espesor x



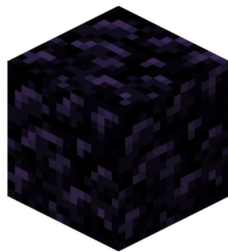
Materiales en Geant4



Redstone



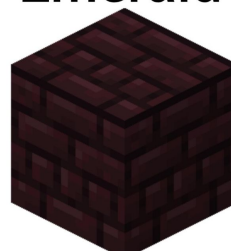
Emerald



Obsidian



Quartz brick



Nether brick



Netherite

Modelo jerárquico



G4Material guarda densidad, estado, temperatura y presión.

La densidad debe estar definida salvo en materiales NIST.

Usar NIST cuando sea posible mejora consistencia de parámetros derivados.

Ejemplos útiles: G4_AIR, G4_Si, G4_IAr, G4_PbWO4, G4_STAINLESS-STEEL.

```
double posicionsegundopanel = -200.0 * CLHEP::cm;
```

```
double fIronCoverSizeXIII = 25.5 * CLHEP::cm;
```

```
double fIronCoverSizeYIII = 25.5 * CLHEP::cm;
```

```
double fIronCoverSizeZIII = 0.2 * CLHEP::cm;
```

```
solidIronCoverIII = new G4Box("IronCoverIII", fIronCoverSizeXIII, fIronCoverSizeYIII, fIronCoverSizeZIII);
```

```
logicIronCoverIII = new G4LogicalVolume(solidIronCoverIII, Materials().Iron, "IronCoverIII");
```

```
physIronCoverIII = new G4PVPlacement(nullptr, G4ThreeVector(0., Y_centro_panelI, Z_centro_panelI+posicionsegundopanel+3), logicIronCoverIII,
```

```
logicIronCoverIII->SetVisAttributes(rojo);
```

```

// Polystyrene for the scintillator bars Dow STYRON 663 W
Polystyrene = new G4Material("Polystyrene", 1.04 * g/cm3, 2);
Polystyrene->AddElement(eLC, 8);
Polystyrene->AddElement(eLH, 8);

// dopant materials for scintillator bars
/* Scintillator made of Polystyrene ( C6H5-CH-CH2 ) + PPO + POPC
   Plastic:
   Is a replication on an aromatic ring (C6H5) with
   replaced by a CH bond with another CH2.
                                     CH2
                                     //
                                     CH
                                     |
                                     / \
C6H5: |   |
                                     \ /
*/

// PPO:
PPO = new G4Material("PPO", 1.060 * g/cm3, 4);
PPO->AddElement(eLC, 15);
PPO->AddElement(eLH, 11);
PPO->AddElement(eLN, 1);
PPO->AddElement(eLO, 1);

// POPOP:
POPOP = new G4Material("POPOP", 1.060 * g/cm3, 4);
POPOP->AddElement(eLC, 24);
POPOP->AddElement(eLH, 16);
POPOP->AddElement(eLN, 2);
POPOP->AddElement(eLO, 2);

```

```

// Scintillator material:
ScinPlastic = new G4Material("ScinPlastic", 1.060 * g/cm3, 3);
ScinPlastic->AddMaterial(Polystyrene, 98.7*perCent);
ScinPlastic->AddMaterial(PPO, 1*perCent);
ScinPlastic->AddMaterial(POPOP, 0.3*perCent);

```

```

// Scintillator Coating - 15% TiO2 and 85% polystyrene by weight.
ScinCoating = new G4Material("ScinCoating", 1.52 * g/cm3, 2);
ScinCoating->AddMaterial(TiO2, 15*perCent);
ScinCoating->AddMaterial(Polystyrene, 85*perCent);

```

```

// Add scintillator property table
scinPT = new G4MaterialPropertiesTable();
scinPT->AddProperty("RINDEX", scinPhotonEnergy, scinRefIndex, scinArrEntries);
scinPT->AddProperty("ABSLNGTH", scinPhotonEnergy, scinAbsLen, scinArrEntries);
scinPT->AddProperty("FASTCOMPONENT", scinPhotonEnergy, scinFastComp, scinArrEntries);
scinPT->AddProperty("SLOWCOMPONENT", scinPhotonEnergy, scinSlowComp, scinArrEntries);
scinPT->AddConstProperty("SCINTILLATIONYIELD", fScintillationYield);
scinPT->AddConstProperty("RESOLUTIONSCALE", 1);
scinPT->AddConstProperty("FASTTIMECONSTANT", fScinFastTime);
scinPT->AddConstProperty("SLOWTIMECONSTANT", fScinSlowTime);
scinPT->AddConstProperty("YIELDRATIO", 1);
ScinPlastic->SetMaterialPropertiesTable(scinPT);

```

```

// array of photon energies in the red-UV range for scintillation processes
static G4double scinPhotonEnergy[] = {
    2.00*eV, 2.03*eV, 2.06*eV, 2.09*eV, 2.12*eV,
    2.15*eV, 2.18*eV, 2.21*eV, 2.24*eV, 2.27*eV,
    2.30*eV, 2.33*eV, 2.36*eV, 2.39*eV, 2.42*eV,
    2.45*eV, 2.48*eV, 2.51*eV, 2.54*eV, 2.57*eV,
    2.60*eV, 2.63*eV, 2.66*eV, 2.69*eV, 2.72*eV,
    2.75*eV, 2.78*eV, 2.81*eV, 2.84*eV, 2.87*eV,
    2.90*eV, 2.93*eV, 2.96*eV, 2.99*eV, 3.02*eV,
    3.05*eV, 3.08*eV, 3.11*eV, 3.14*eV, 3.17*eV,
    3.20*eV, 3.23*eV, 3.26*eV, 3.29*eV, 3.32*eV,
    3.35*eV, 3.38*eV, 3.41*eV, 3.44*eV, 3.47*eV
};

```

Reference Physics Lists

Physics List es una hipótesis física explícita sobre qué procesos importan.

Idea central

Geant4 ofrece Physics Lists de referencia validadas por la colaboración. Luego pueden extenderse o modificarse de forma controlada.

FTFP_BERT

General-purpose HEP; default desde Geant4 10.0 según la guía.

QGSP_BERT / QGSP_BIC

Alternativas históricas para física hadrónica y cascadas.

Shielding

Útil en problemas de blindaje, neutrones y radioprotección.

EM Opt4 / Livermore /
Penelope

Opciones EM de mayor detalle, especialmente a baja energía.

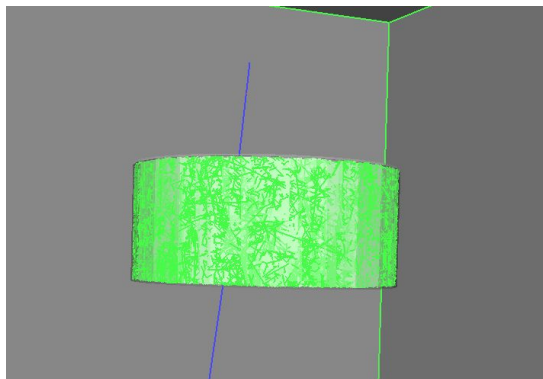
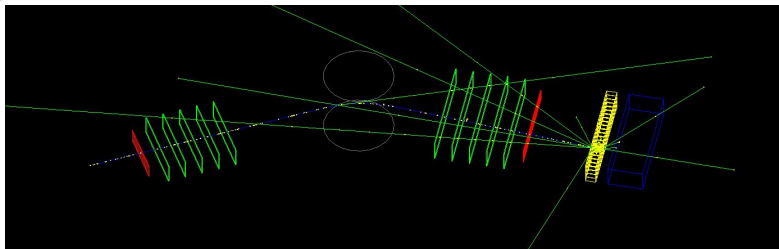
HP / ParticleHP

Modelos con datos de alta precisión para neutrones/hadrones de baja energía.

Regla práctica: no elijas por nombre; elige por partículas, energía, material, observable y validación disponible.

Visualización y salida de simulación

Sirven para depurar, entender y comunicar; no reemplazan el análisis cuantitativo



Qué puede visualizarse

Geometría y componentes del detector.

Trayectorias y pasos de partículas.

Hits, depósitos de energía, dosis y scoring.

Objetos definidos por el usuario: ejes, textos, marcadores.

Comandos interactivos y macros de visualización.

Criterio profesional

Primero verifica geometría y trayectorias. Después analiza cantidades: Edep, tasas, eficiencia, aceptación o espectros.

IDEs: entorno de desarrollo para Geant4

Un IDE ayuda, pero no reemplaza entender la estructura de la aplicación

Recomiendo usar un editor cómodo para programar: VS Code, CLion, Qt Creator o Vim/Neovim. Geant4 tiene muchas clases y una jerarquía extensa; por eso el autocompletado y la navegación son útiles.

También puede trabajarse sin IDE, especialmente en Linux o HPC, usando terminal + CMake + gdb.

Ventajas prácticas

Navegación entre headers y fuentes.
Autocompletado y búsqueda de símbolos.
Compilación y depuración más cómodas.

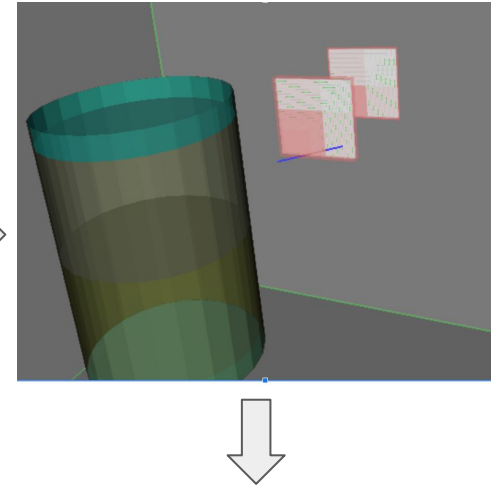
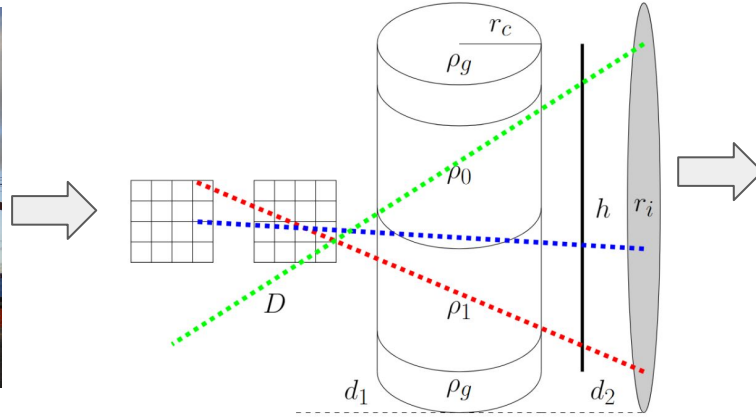
Sugerencia

VS Code + terminal + CMake.
Para proyectos grandes: CLion o Qt Creator.
Para servidores remotos: Vim/Neovim o VS Code Remote SSH.

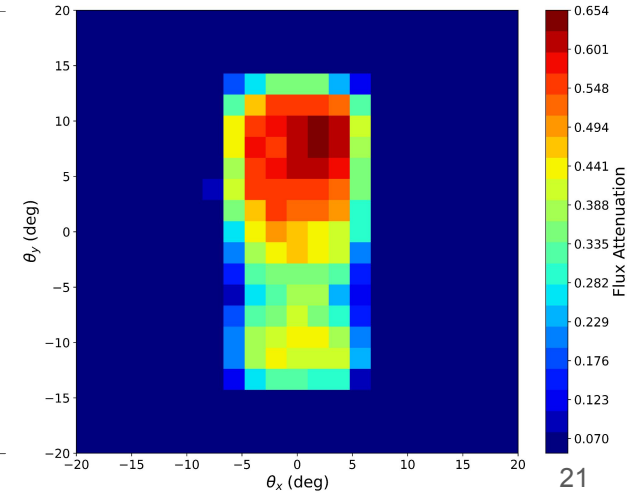
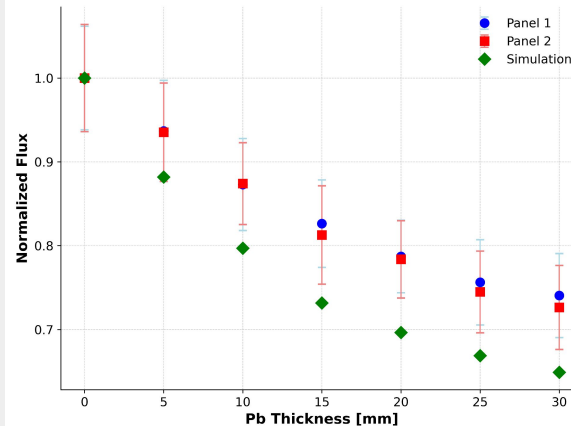
Exploring muon imaging in reactors



Height: 20-40 m (some reach over 50 m)
Diameter: 3-6 m



Framework
validation with
measurement



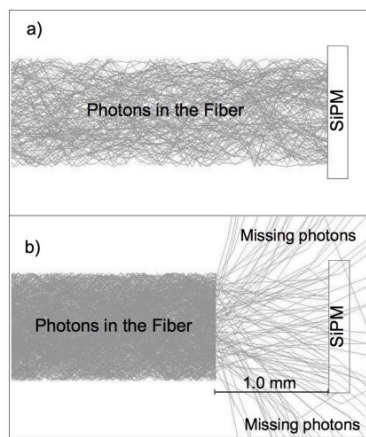
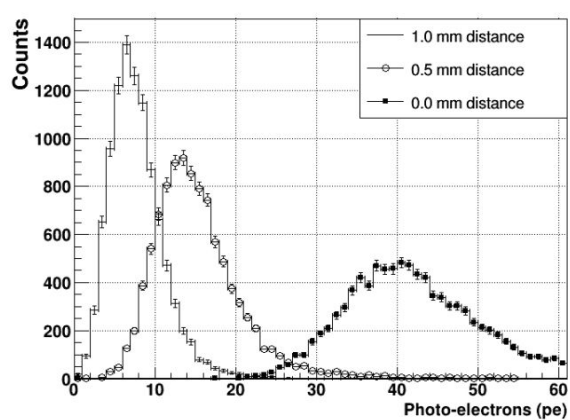
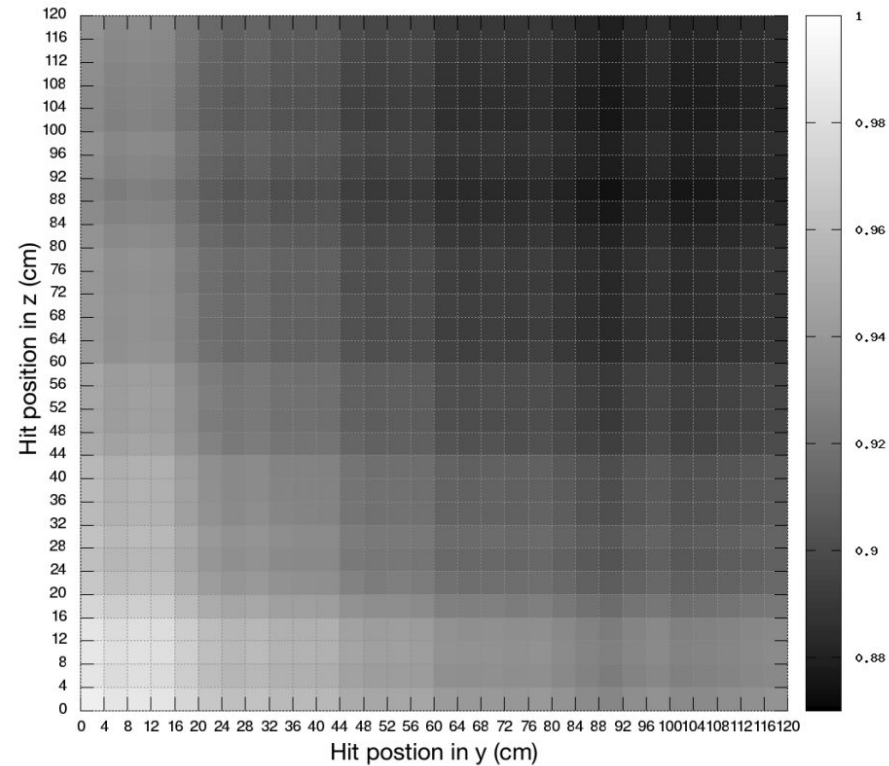
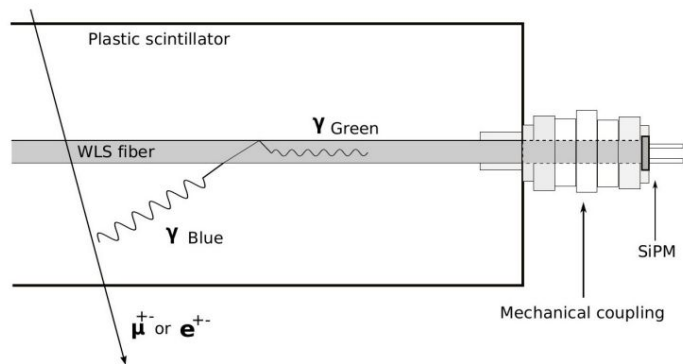


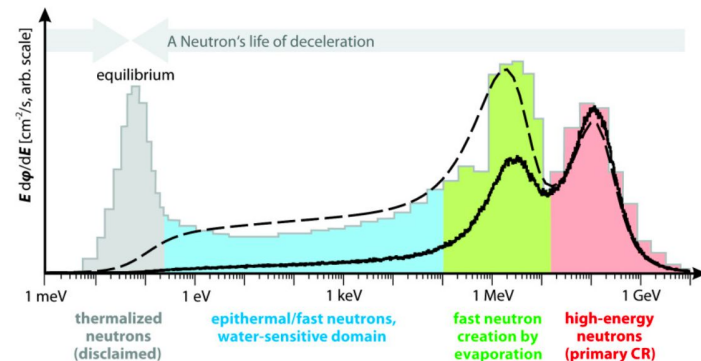
Figure 5. Distribution of the number of pe resulting from the evaluation of the $SiPM$ and fiber coupling. a) The simulation of the ideal case, when the $SiPM$ and the fiber are side by side. In this case, the average number is around 40 pe and decreases with increasing distance between the $SiPM$ and fiber. b) At 1.0 mm the average number is around 7 pe , i.e. 82% of the signal is lost.



ARTI-CORSIKA: There is no way to obtain low-energy neutrons

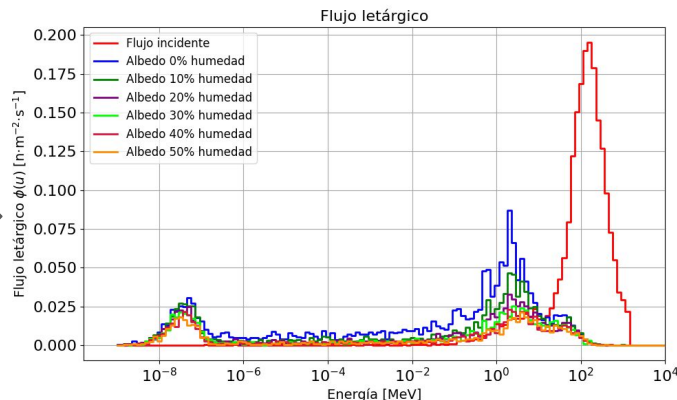
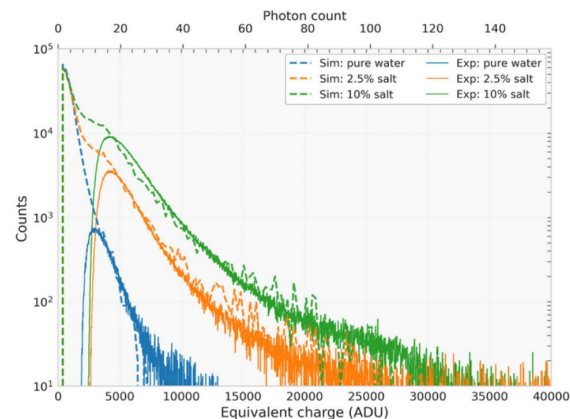
ARTI-CORSIKA: There is no way to obtain low-energy neutrons

Complement the simulation ARTI by adding MEIGA to extract low-energy neutrons and interactions with the ground.



Cosmic neutron energy spectrum.

- Histograms correspond to measurements Goldhagen, P., et al (2002). *Nuclear Instruments and Methods in Physics*, **476**, 42.
- Black line c incoming neutron spectrum Köhli, M., et al. (2015) Water Resources Research, **51**, 5772.
- Dashed lines correspond to simulations Sato, T., & Niita, K. (2006). Radiation research, **166**, 544).

DETECTOR
WCD

What is MEIGA

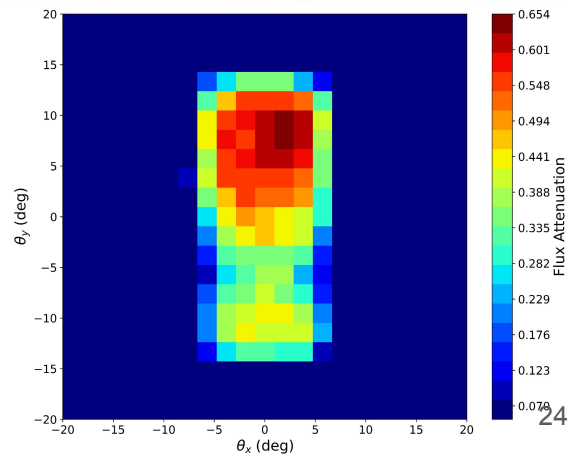
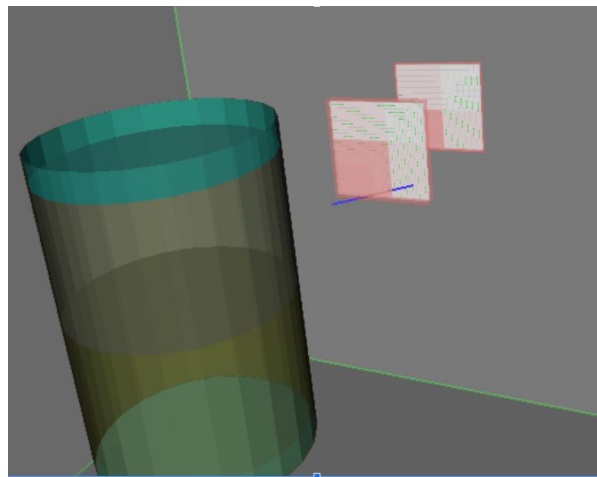
What is it?

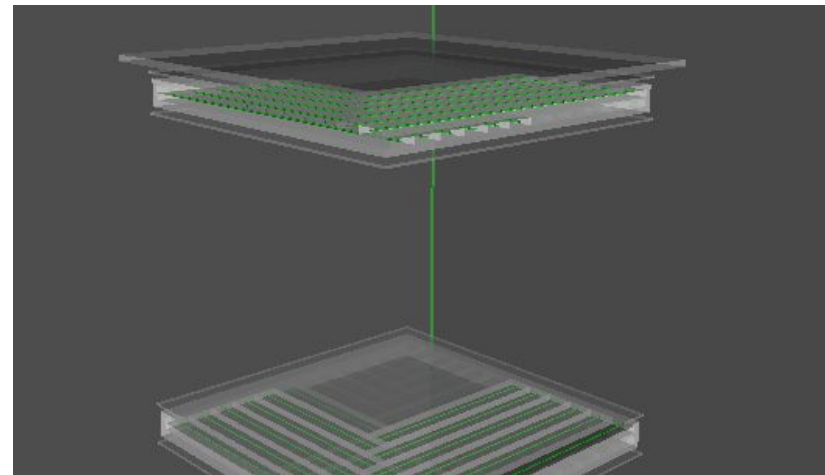
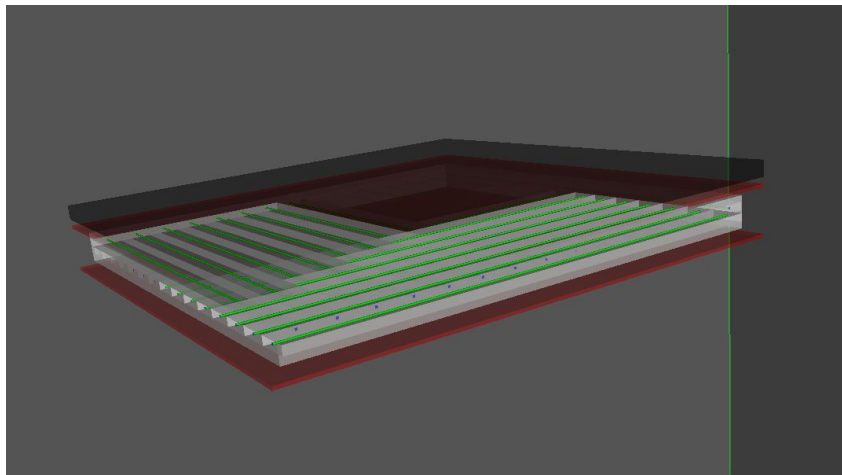
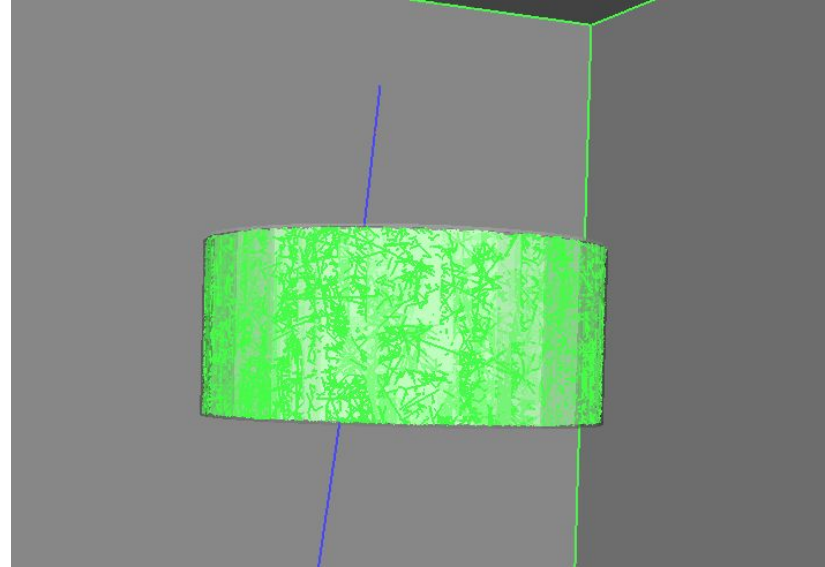
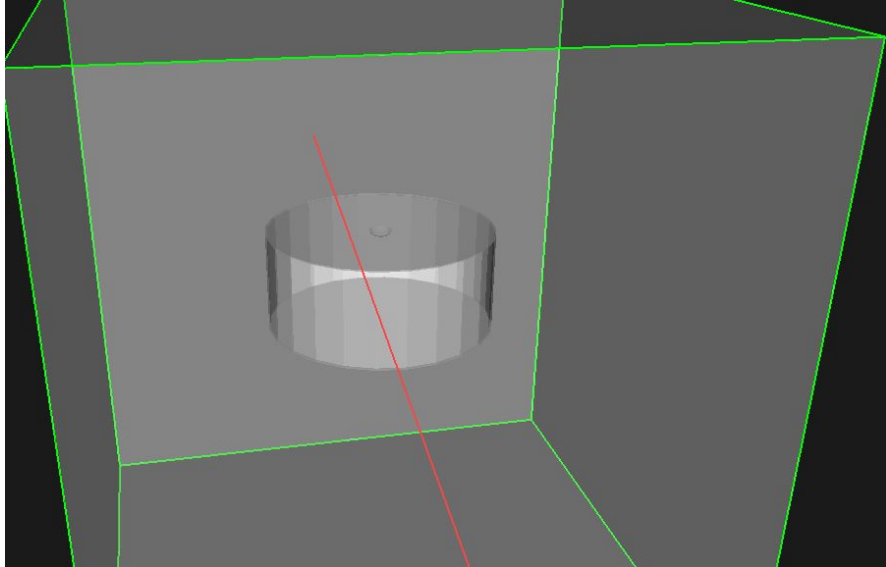
MEIGA is a framework based on C++ classes. It combines three elements:

- Cosmic-ray flux calculation
- Particle propagation
- Detector response simulation

How does it work?

- Uses **JSON configuration files** (input/output paths, detector setup, physics lists, verbosity).
- Runs **Geant4 simulations**, injecting particles at ground level.
- Tracks particles inside the detector geometry defined by XML files.
- Collects detector response (energy deposits, SiPM signals, time traces).





Simulando en 4 comando:

si tienes suerte

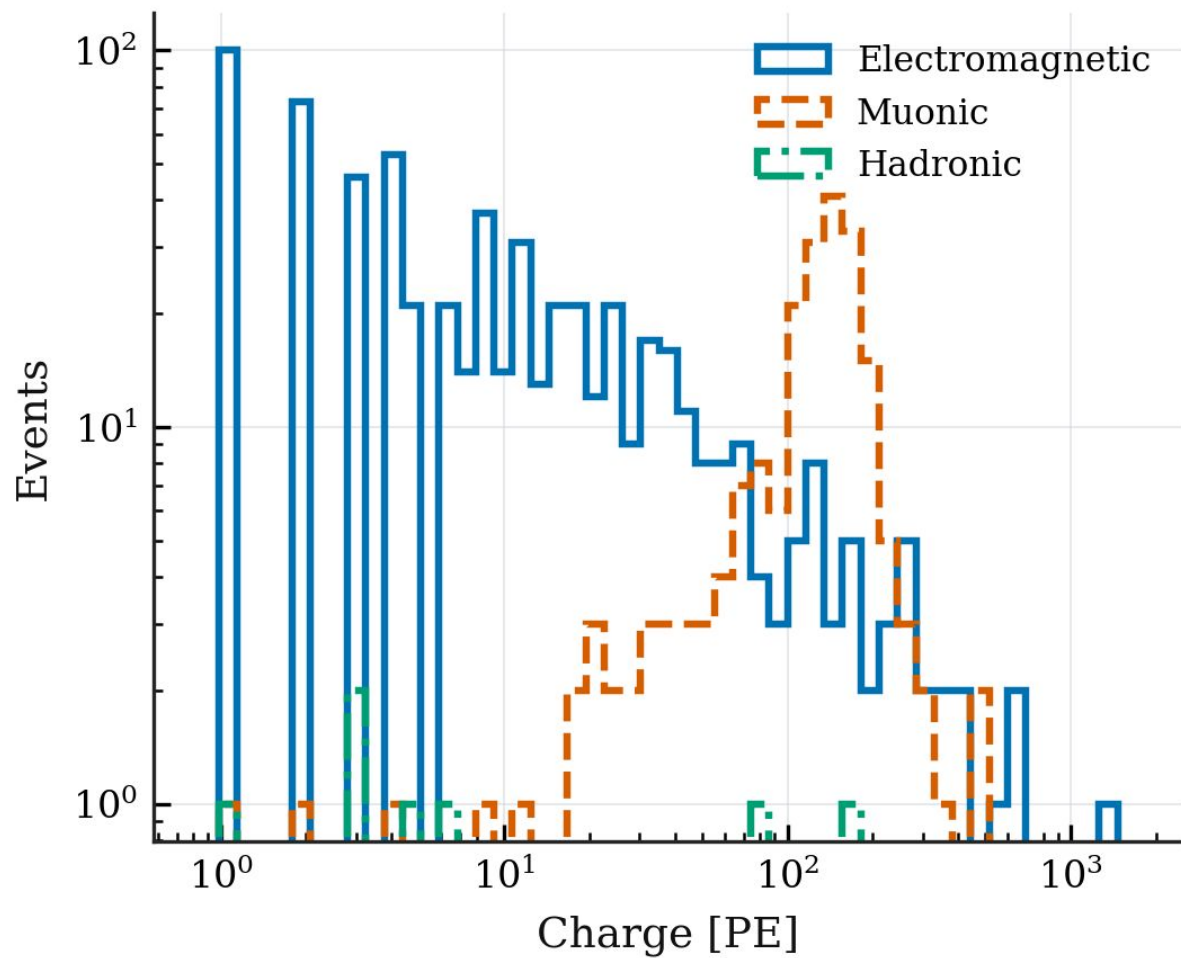
```
git clone
```

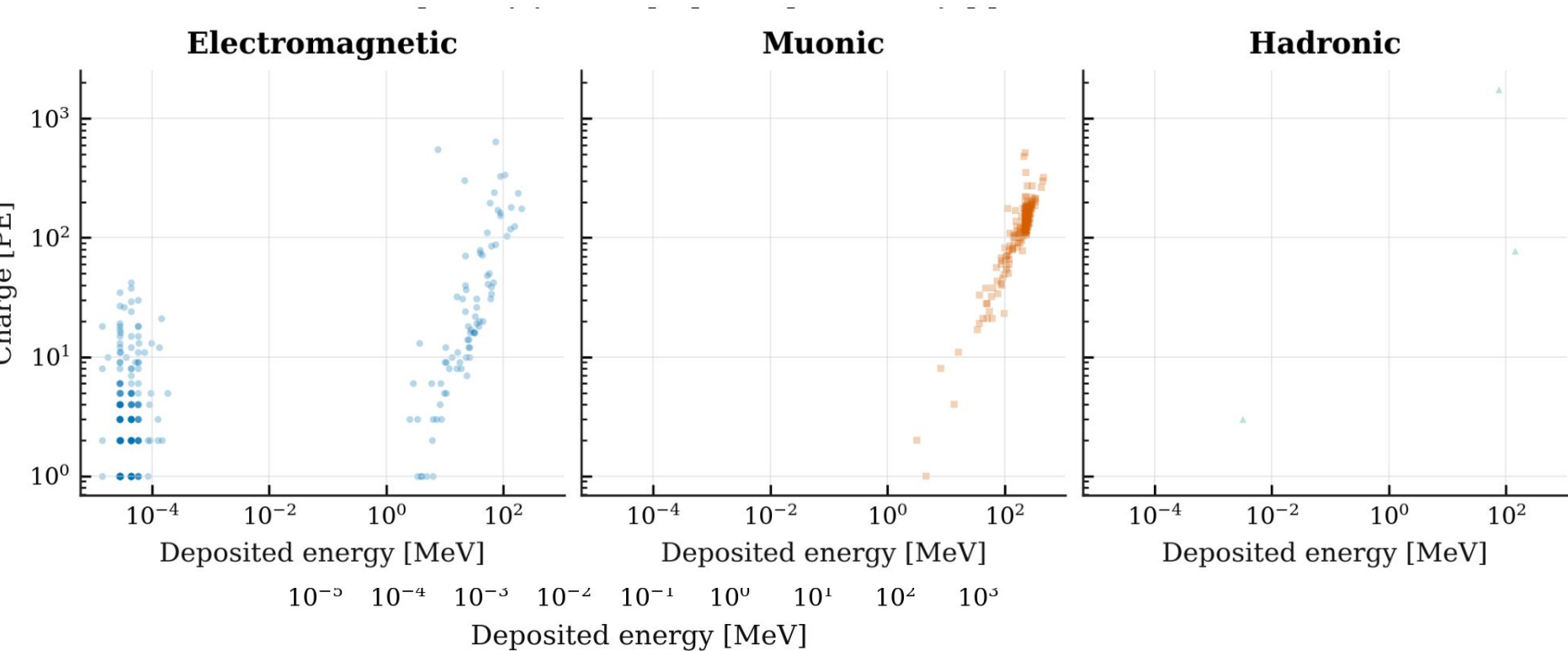
```
https://github.com/rmartinezra/introduccion-simulacion-detectores-meiga.git
```

```
cd introduccion-simulacion-detectores-meiga
```

```
./meiga-school install --pull
```

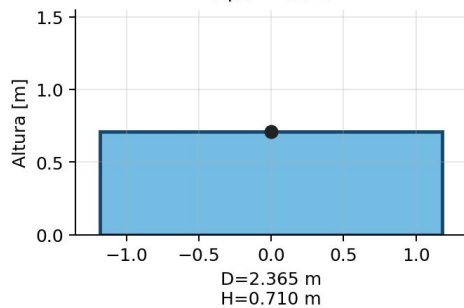
```
./meiga-school run wcd-30s --components
```



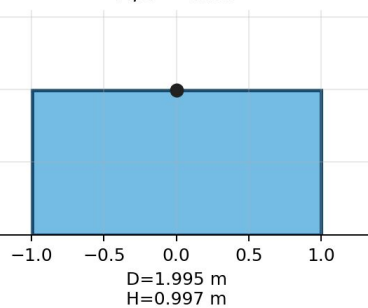


Geometrías con volumen de agua constante (3.117 m³)

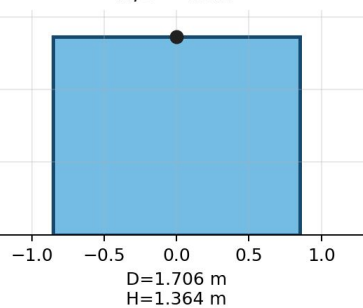
H/D = 0.30



H/D = 0.50

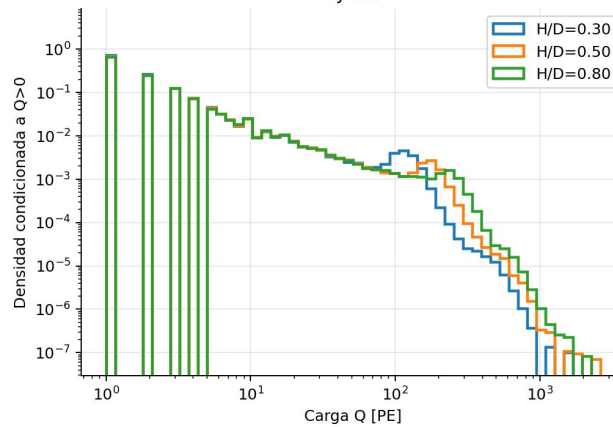


H/D = 0.80

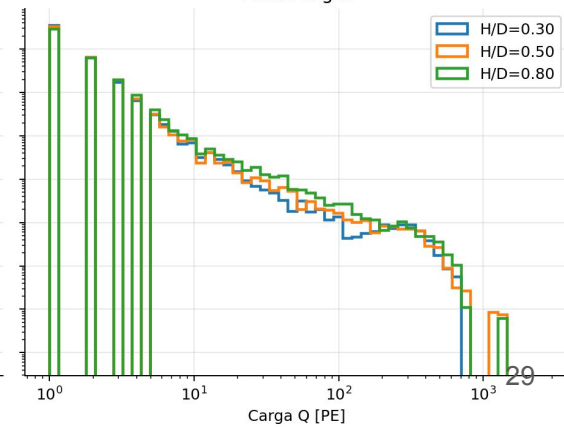


Forma del histograma de carga

Tyvek



Pared negra

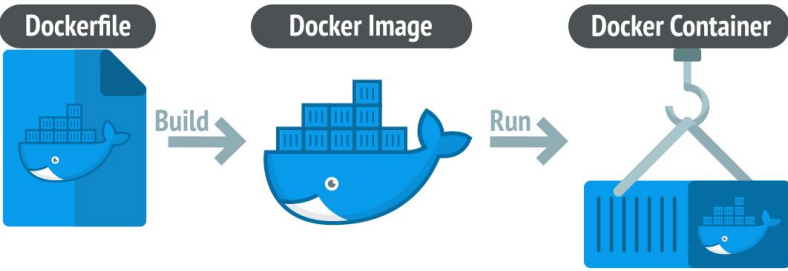


Hands-on activity

What is Docker?

- Runs software in a **container**
- A container is like a **small box** with all it needs
- Works the same on any computer
- Makes any program **portable and easy to share**

Docker allows ARTI to run the same everywhere, from laptops to clusters, without installing dependencies.



Create & Run Containers

```
docker pull <image> — Download image from Docker Hub
docker run -it --name <container> <image> — Run interactively
docker run -dit --name <container> <image> — Run in detached mode
```

Interact with Containers

```
docker exec -it <id|name> bash — Open Bash shell
docker exec -it <id|name> <cmd> — Run command inside
docker attach <id|name> — Attach to container
```

Manage Containers

```
docker ps — List running containers
docker ps -a — List all containers
docker start <id|name> — Start container
docker stop <id|name> — Stop container
docker restart <id|name> — Restart container
docker rm <id|name> — Remove container
docker container prune — Remove stopped containers
```

Copy Files

```
docker cp file.txt <id|name>:/path — Host -> Container
docker cp <id|name>:/path/file.txt . — Container -> Host
```

Images

```
docker images — List local images
docker rmi <id|name> — Remove image
docker image prune — Remove unused images
```

1. Pull MEIGA

```
docker pull rmartinezmaple/meiga_lidera:1.0
```

2. run and mount it in a local folder

```
docker run -it --name meiga_name_of_container -v  
/local/path:/workspace --entrypoint bash  
rmartinezmaple/meiga_lidera:1.0
```

2. run and mount it in a local folder

```
docker run -it --name meiga_name_of_container -v  
/local/path:/workspace --entrypoint bash  
rmartinezmaple/meiga_lidera:1.0
```

3. go to

```
/opt/meiga/build/Applications/G4WCDsimulator
```

```
./G4WCDSimulator -c G4WCDSimulator.json
```

4. decompress de output with gunzip

```
gunzip output.json.gz
```

```
## scrips of analysis /opt/meiga/src/Analysis
```

Directory Structure

GEANT4

src and build

ROOT

src and build

MEIGA

build/ → compiled modules (Applications, Framework, IO, Utilities, G4Models)

install/ → final bin, include, lib

src/ → main source code:

- Applications (simulations)
- Framework (base classes)
- G4Models (Geant4 links)
- Analysis (data routines)
- IO, Utilities, Documentation

Before the analysis, let see the simulation

```
{  
  "Input" :  
  {  
    "Mode" : "UseEcoMug",  
    "InputFileName" : "../../src/Documentation/SampleFlux/salida_bga_30.shw",  
    "InputNParticles" : 1  
  },  
  {  
    "SimulationMode" : "eFast",  
    "GeoVisOn" : true,  
    "TrajVisOn" : true,  
    "CheckOverlaps" : false,  
    "Verbosity" : 1,  
    "RenderFile" : "VRML2FILE",  
    "PhysicsName" : "QGSP_BERT_HP"  
  }  
}
```

`sudo apt install view3dscene` # Program for see the g4_#.wrl file with de 3d file

Interacciones fundamentales vs procesos de transporte

Geant4 no simula “la fuerza” de forma abstracta; simula procesos en materia

Fuerzas fundamentales

Electromagnética

Pares. Ionización, excitación, bremsstrahlung, Compton, Cherenkov.

Fuerte

Glúones. Cascadas hadrónicas, interacciones nucleares, producción de secundarios.

Débil

$W^\pm$, Z^0 . Decaimientos, neutrinos, canales raros.

Gravedad

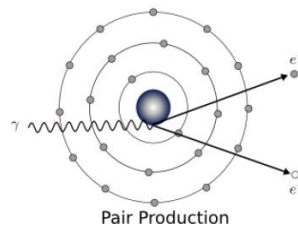
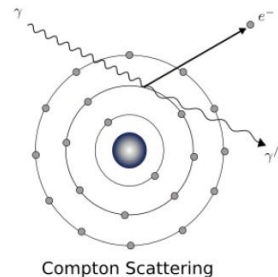
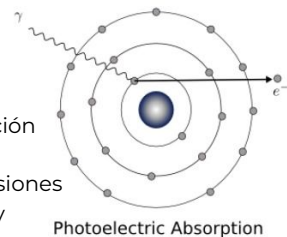
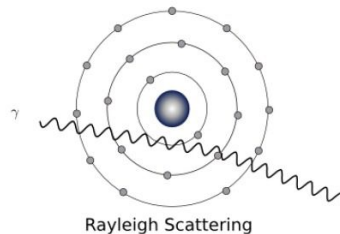
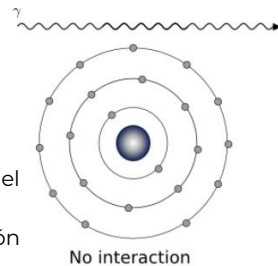
Despreciable para transporte de partículas en detectores.

Partículas cargadas: Electrones, protones, muones

- interactúan sobre todo por ionización y excitación del medio.
- Además, su trayectoria puede cambiar por dispersión múltiple.
- Muones: bremsstrahlung, producción de pares e interacciones fotonucleares.

Partículas neutras

- Fotones: Efecto fotoeléctrico, Compton y producción de pares.
- Neutrones: Interactúan sobre todo mediante colisiones elásticas, colisiones inelásticas, captura radiativa y reacciones nucleares.



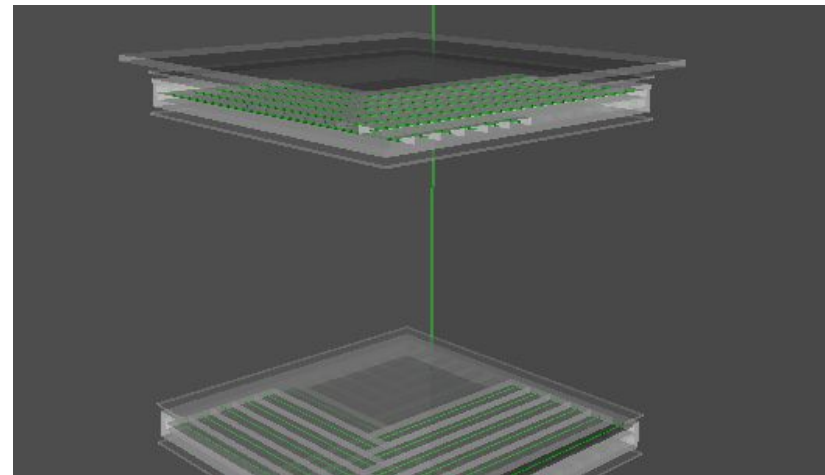
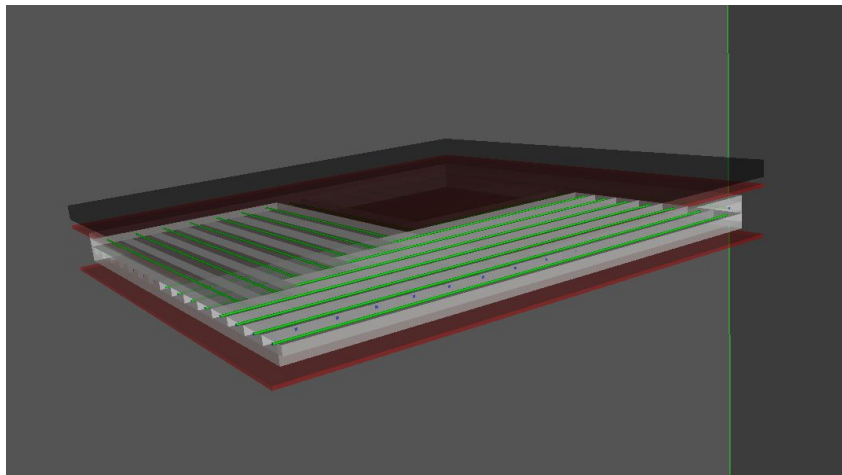
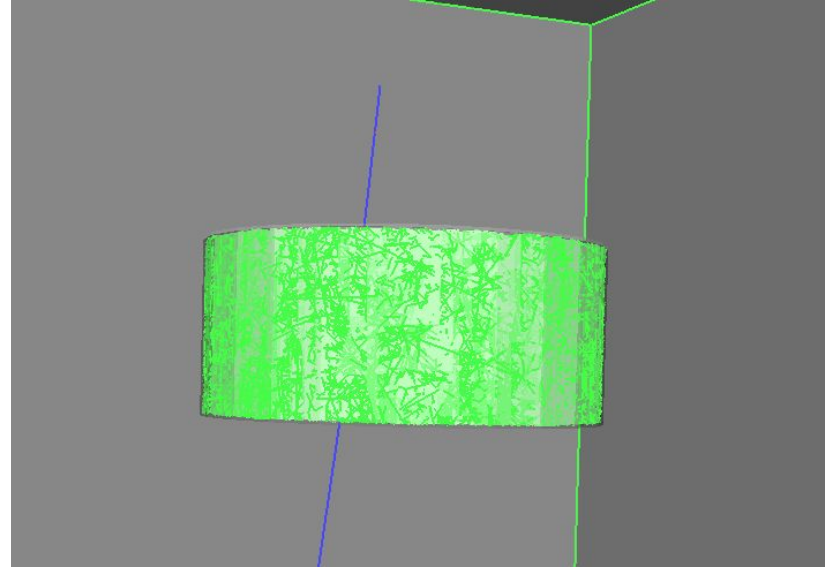
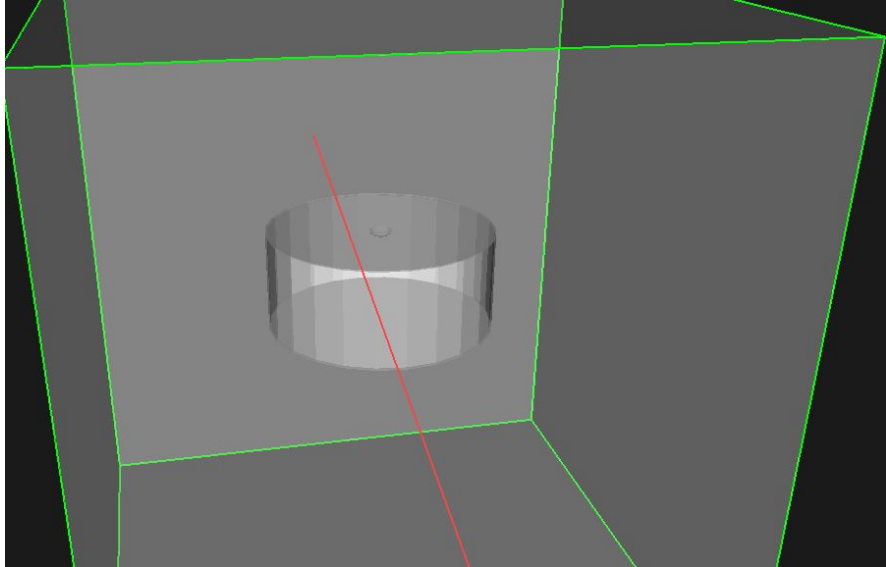
Pérdida continua de energía y fluctuaciones.

Procesos discretos: absorción, Compton, pair production.

Dispersión múltiple y cruce de fronteras geométricas.

Decaimientos y generación de secundarios.

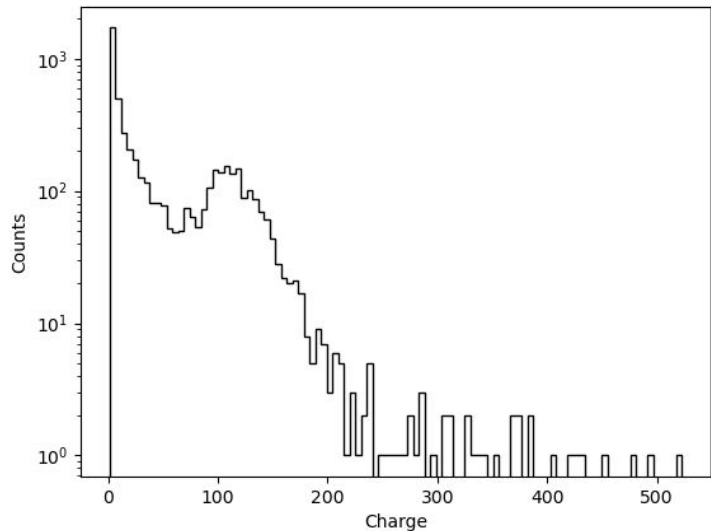
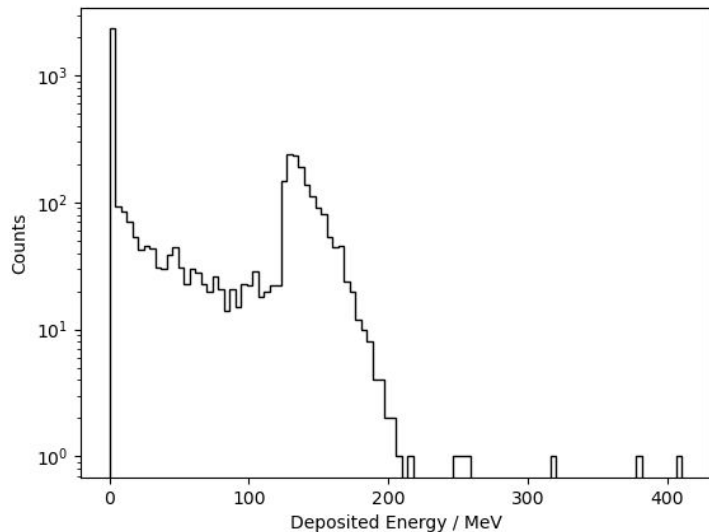
Procesos ópticos: scintillation, wavelength shifting, Cherenkov.



The analysis files are in: /opt/meiga/src/Analysis

Copy G4WCDSimulator_Analysis.py SimDataReader.py
output.json in your local system and run the analysis with:

```
python3 G4WCDSimulator_Analysis.py -f output.json
```



Change the detector properties

Open DetectorList.xml

```
<detector id="0" type="eWCD">  
  <x unit="cm"> 0.0 </x>  
  <y unit="cm"> 0.0 </y>  
  <z unit="cm"> 0.0 </z>  
  <tankRadius unit="cm"> 40 </tankRadius>  
  <tankHeight unit="cm"> 250 </tankHeight>  
  <tankThickness unit="mm"> 15 </tankThickness>  
  <impuritiesFraction> 0.0 </impuritiesFraction>  
</detector>
```



Run again and look the .wrl file

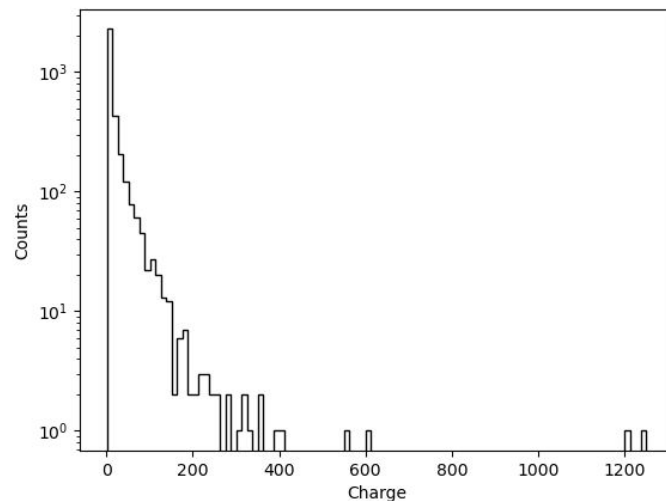
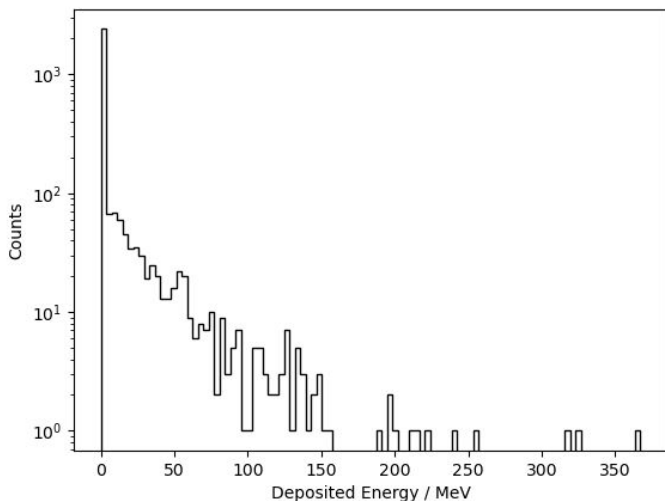
Change the injection mode to ARTI and run the simulation and do the analysis. "DON'T FORGET TO TURN OFF THE VISUALIZATION"

Change the detector properties

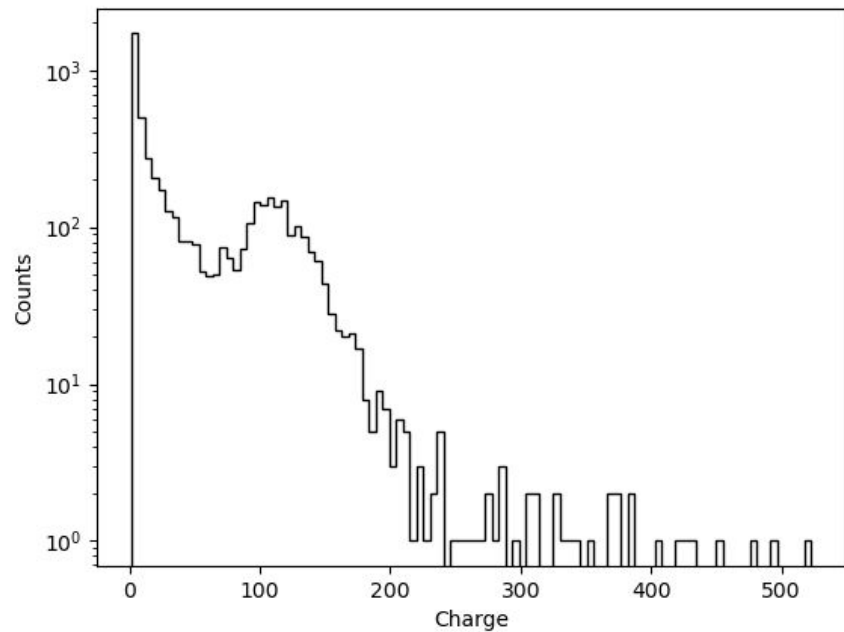
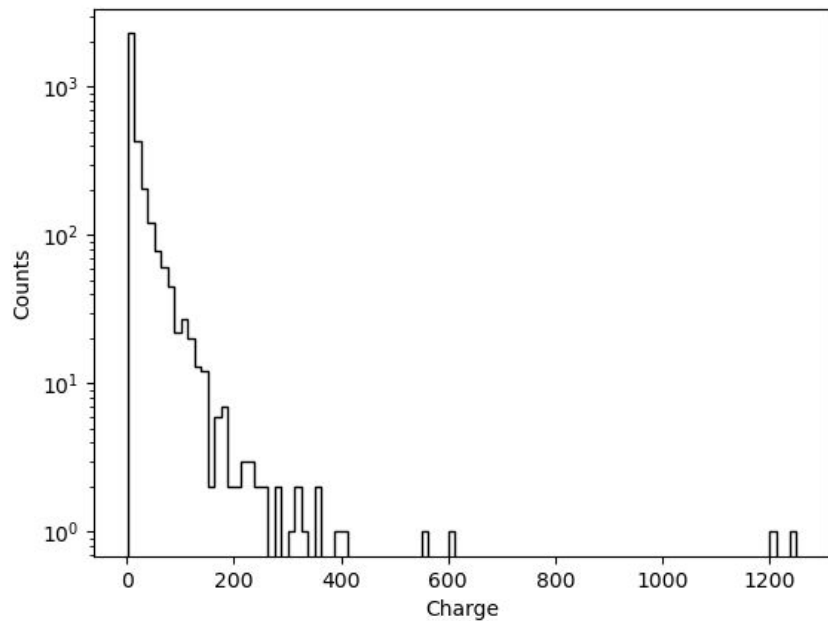
Now, copy and paste in your container the file [mufilter.sh](#) in the repository

```
./filter_ids.sh salida_bga_30.shw filtered.shw
```

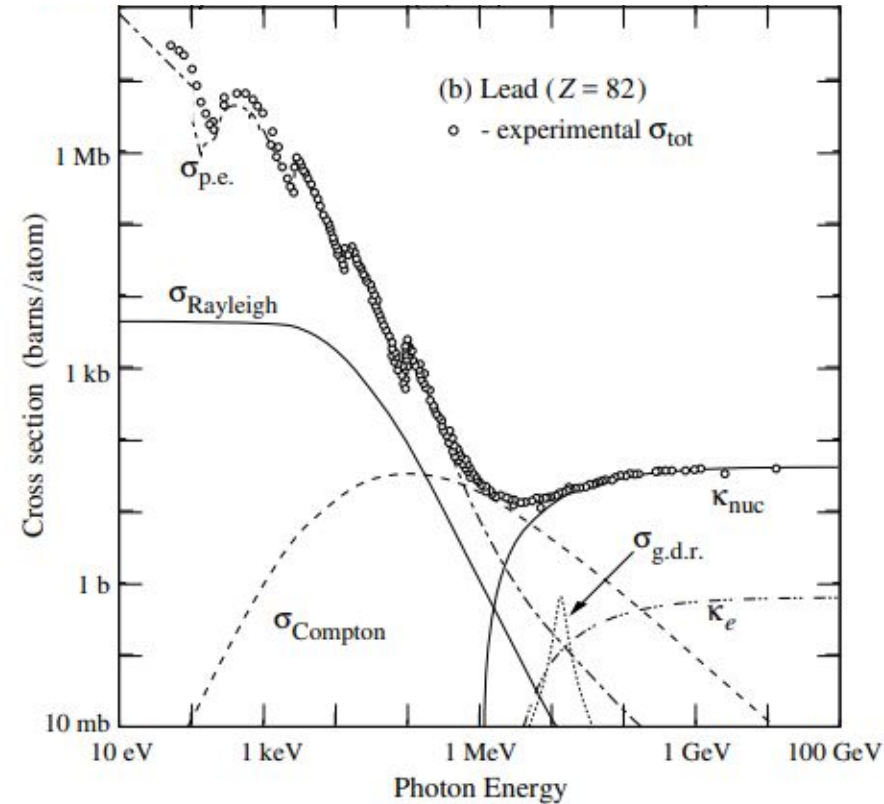
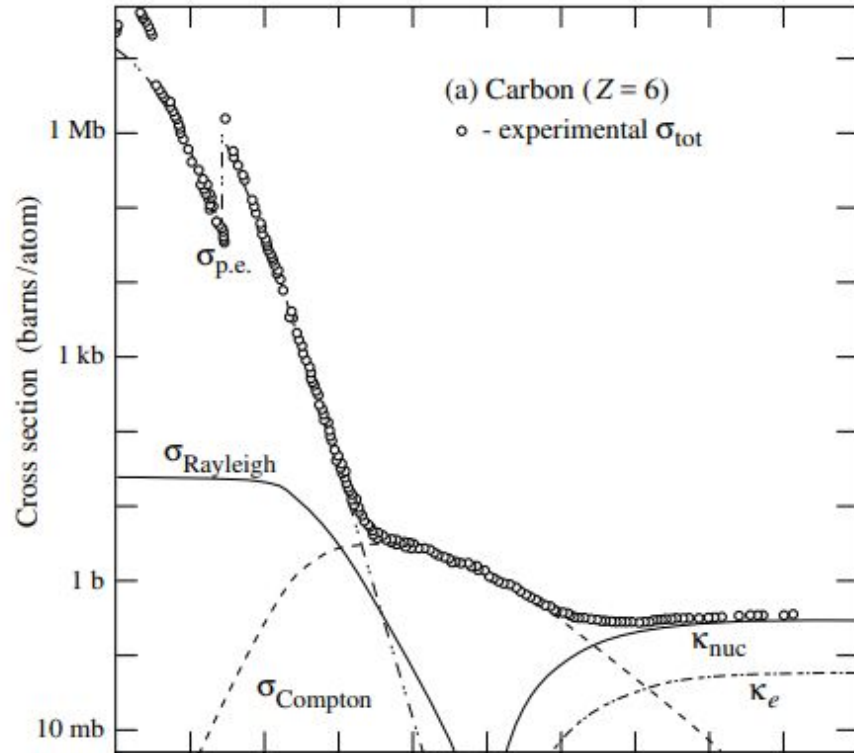
Change path the file of injection in the .json and run the simulation and do the analysis.



EM signal vs muons signal



Ejemplo de interacción: Fotones



$\sigma_{\text{p.e.}}$ = Atomic photoelectric effect (electron ejection, photon absorp

σ_{Rayleigh} = Rayleigh (coherent) scattering—atom neither ionized nor exc

σ_{Compton} = Incoherent scattering (Compton scattering off an electron)

κ_{nuc} = Pair production, nuclear field

κ_e = Pair production, electron field

$\sigma_{\text{g.d.r.}}$ = Photonuclear interactions, most notably the Giant Dipole

Ejemplo de interacción: Pérdida de energía de partículas cargadas

