



NEutrones Rápidos para la Explotación de Instalaciones con Dispositivos Atómicos NEREIDA

Descripción y estado actual

Rafael Mayo García, en nombre del **Grupo Nereida**

29/02/2024 - CSN
rafael.mayo@ciemat.es



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Comisión Nacional
de Energía Atómica



UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1979

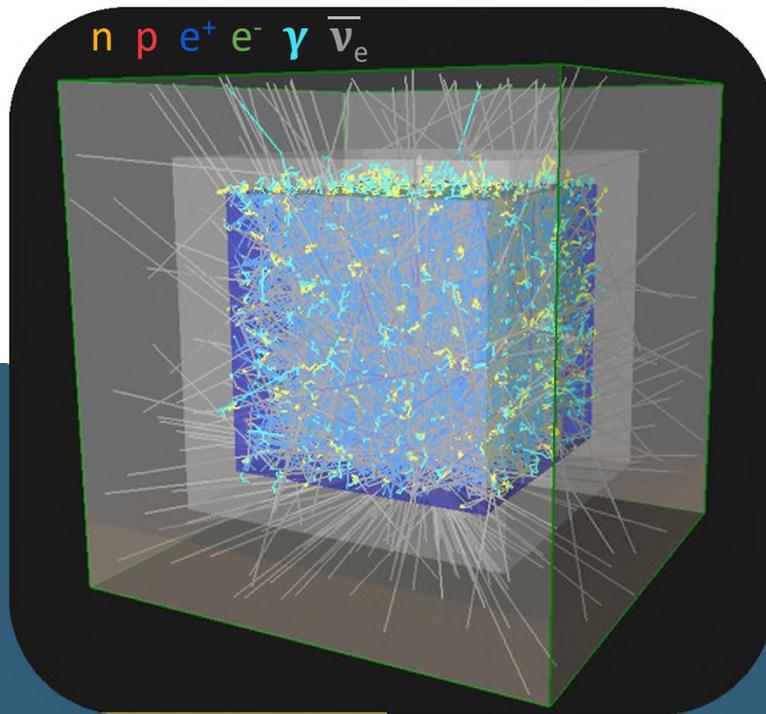
Contenido

1. **Presentación**
2. Desarrollo y primeros resultados
3. Implementación
4. Conclusiones





Objetivo



Proveer al CSN de NEREIDA (NEutrones Rápidos para la Explotación de Instalaciones con Dispositivos Atómicos), un **software Monte Carlo homologable** para el cálculo de la **distribución espacial discretizada del espectro de neutrones** y de las principales magnitudes dosimétricas de interés, como el equivalente de dosis ambiental $H^*(10)$ y personal $H_p(10)$ que se espera encontrar en **instalaciones diversas** donde se producen neutrones rápidos y que sirva como **herramienta para el licenciamiento** de las mismas

NEREIDA Neutrones Rápidos para la Explotación de Instalaciones con Dispositivos Atómicos



Convocatoria CSN 2022 - Línea 14
Adjudicada Dic 2022

Colombia

Universidad de la Costa (CUC)
Departamento de Ciencias
Naturales y Exactas

Argentina

CNEA y CONICET
Divisiones Centro Atómico Bariloche

- DFN: Física Neutrones
- DFM: Física Médica
- DYS: Dispositivos y Sensores



España

CIEMAT

Unidades:

- Informática científica
- Arquitectura Informática
- Laboratorio Patrones Neutrónicos



Contenido

1. Presentación
2. **Desarrollo y primeros resultados**
3. Implementación
4. Conclusiones

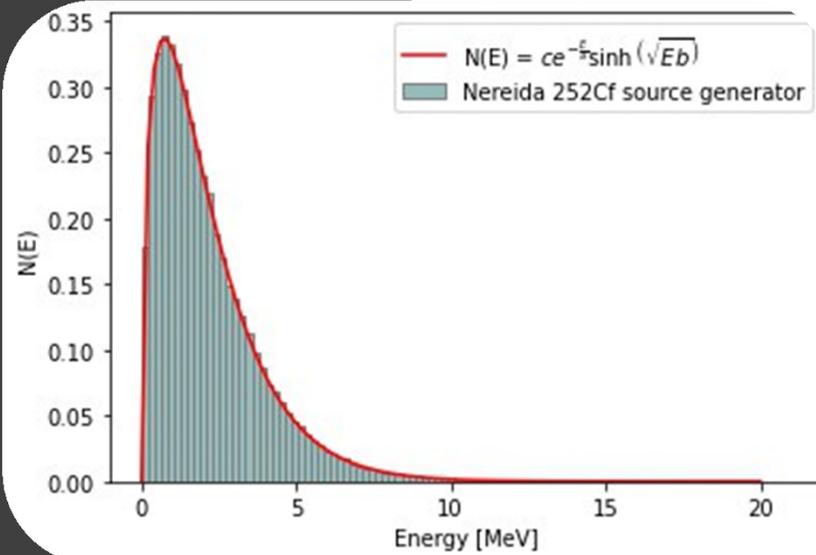




Instalación: dwg -> .g4

- ✓ Geometrías y materiales
- ✓ Voxelizado (3D)

n p e^+ e^- γ $\bar{\nu}_e$

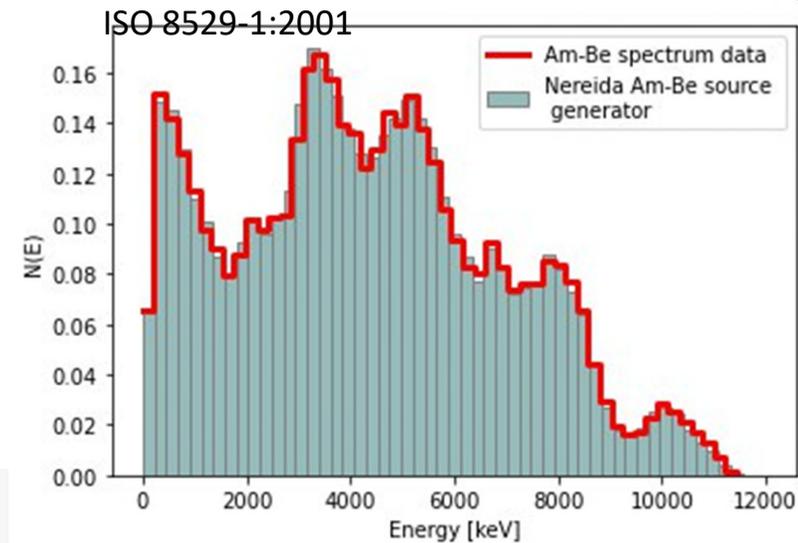
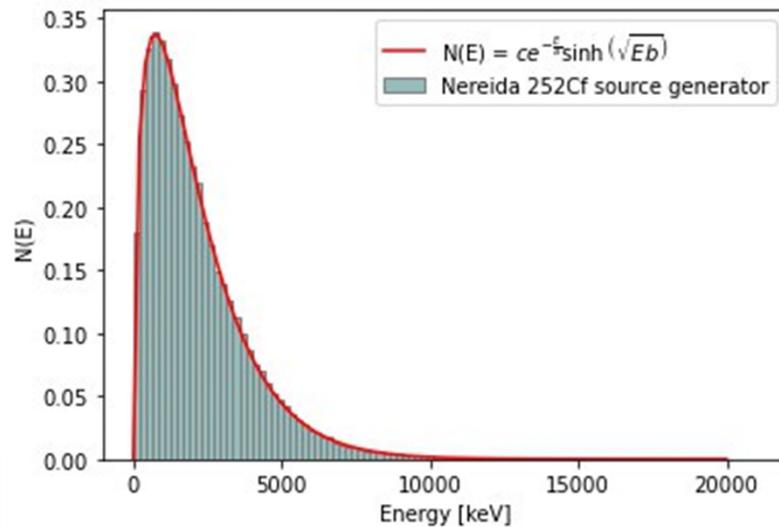


Fuentes: .csv a G4

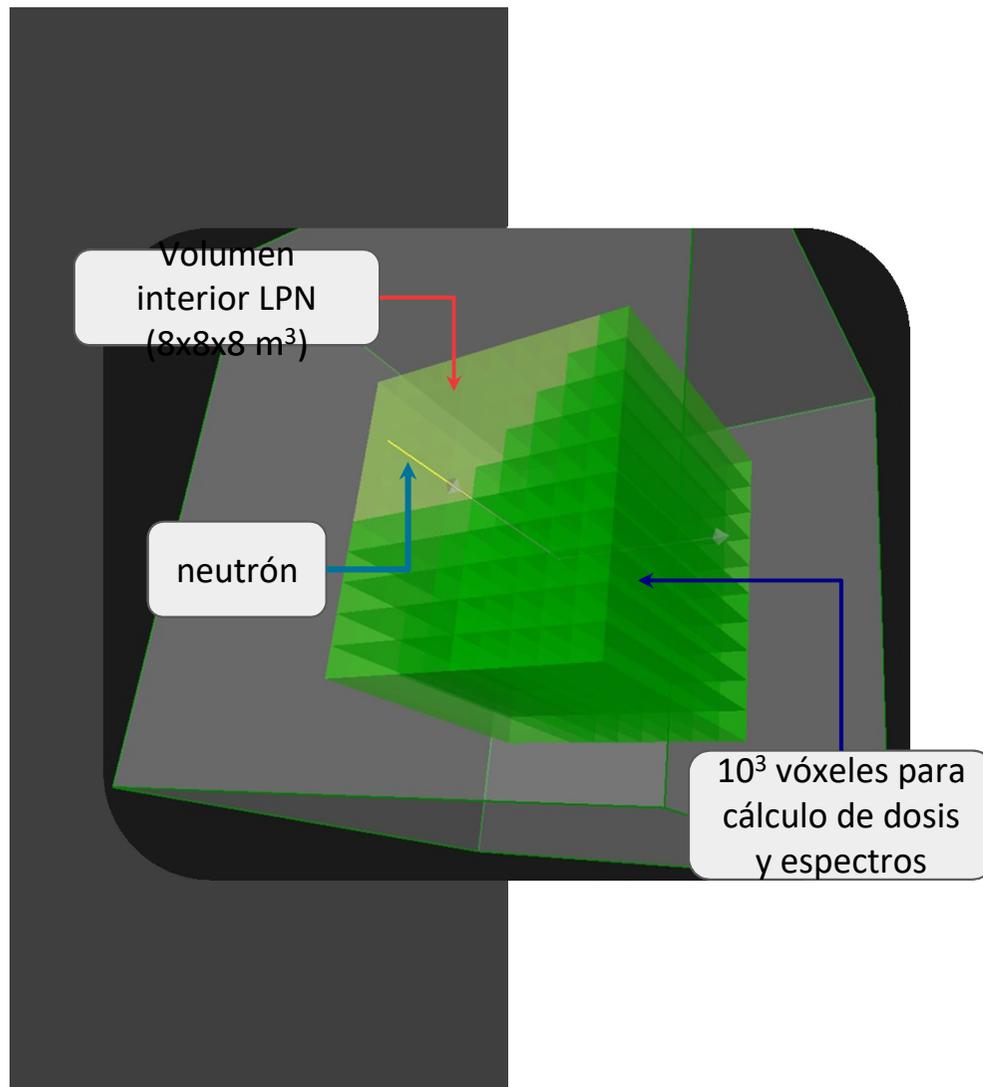
- ✓ Características espectrales de la(s) fuente(s) presentes



Espectro ^{252}Cf y $^{241}\text{AmBe}$

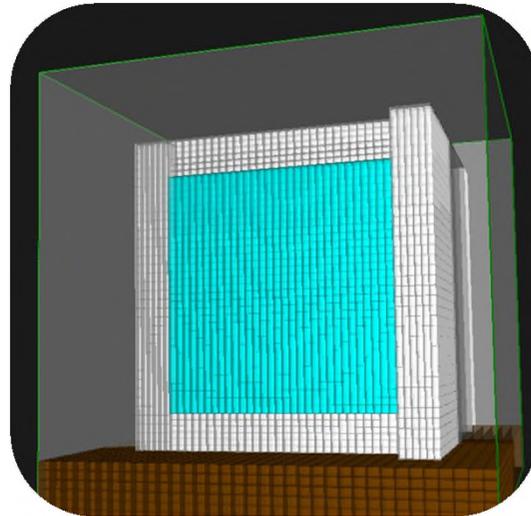
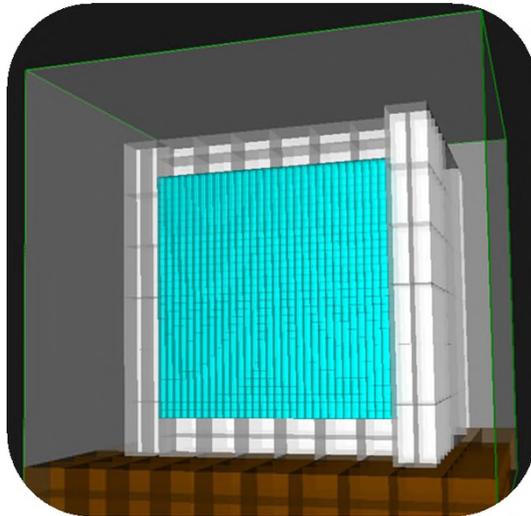
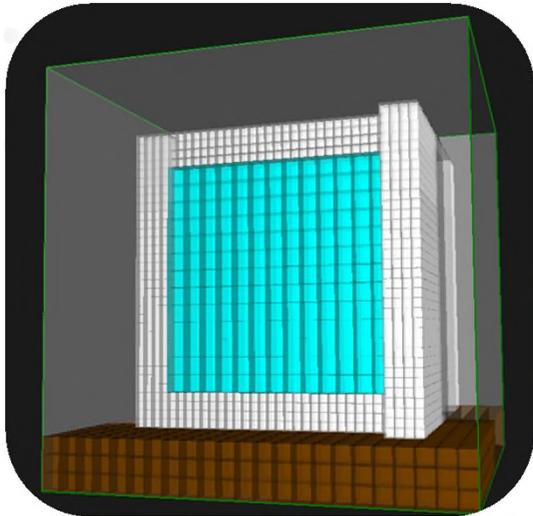
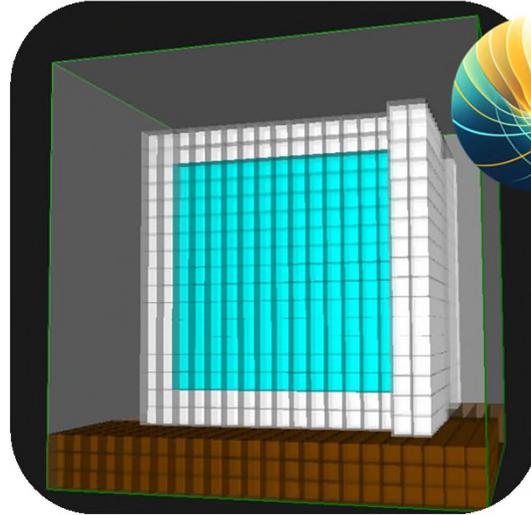
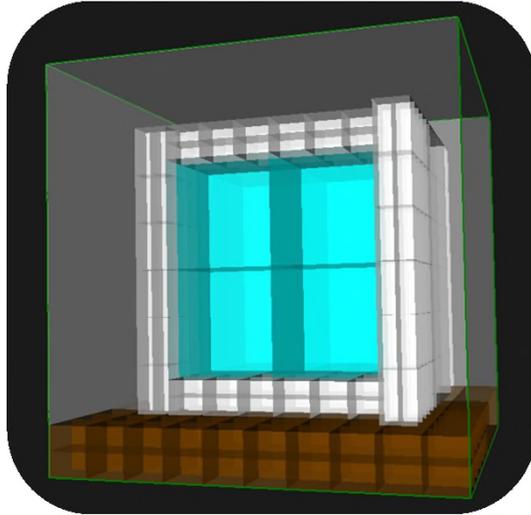
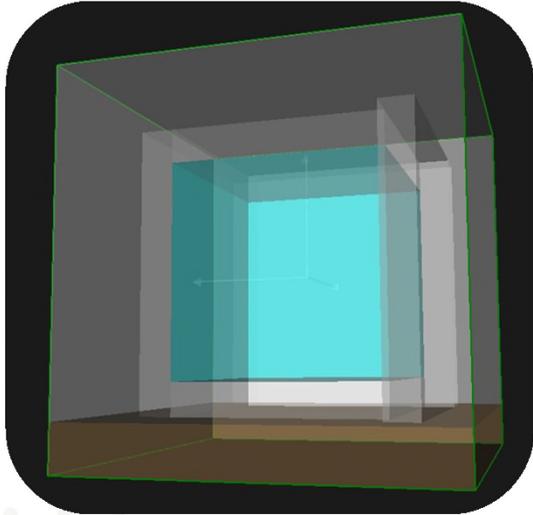


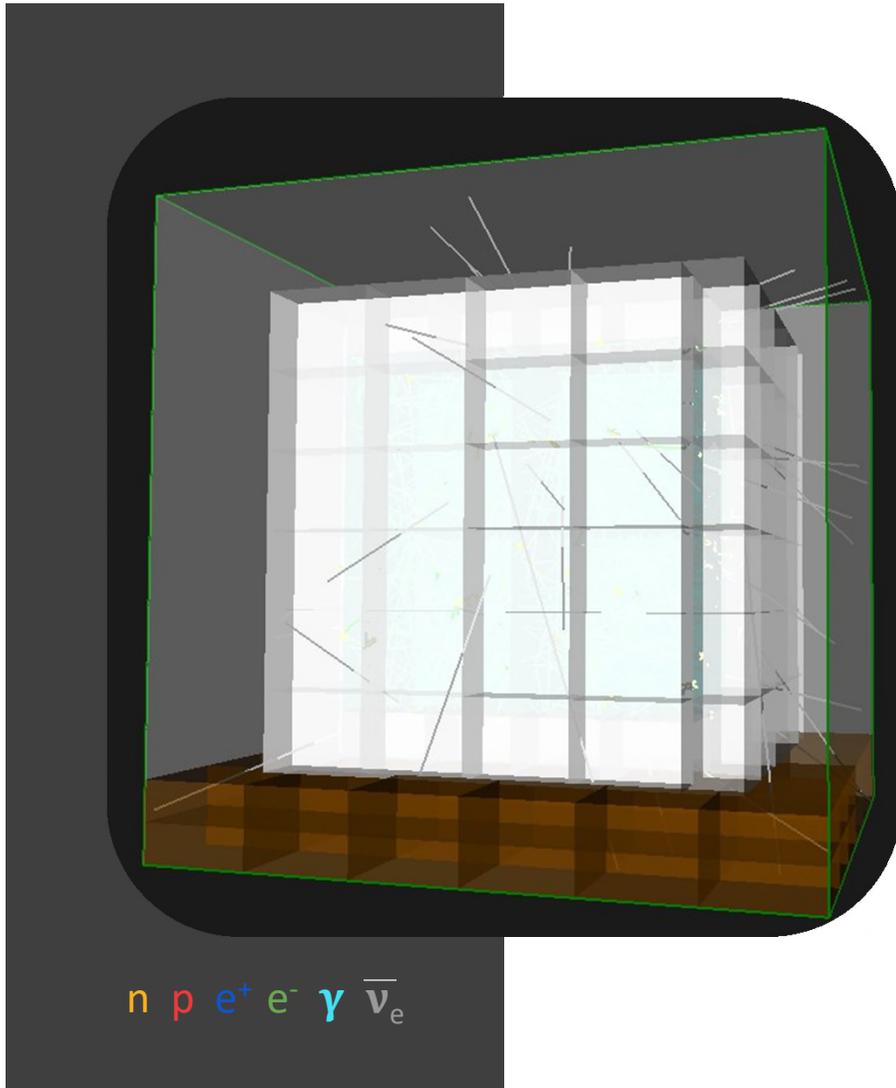
- **Nereida** incluye fuentes estándares de neutrones, como ^{252}Cf y $^{241}\text{AmBe}$ (2001, Long, Short). El usuario sólo introduce: tipo, t_0 y A_0 .
- Cualquier fuente puede ser simulada a partir de un **archivo** .csv con las características espectrales.



Voxelizado adaptativo

- **NEREIDA** -> mallado adaptativo:
 - **Geometría:** determina el número y/o las dimensiones del vóxel
 - **Materiales:** el tamaño del vóxel se ajusta para obtener un único material

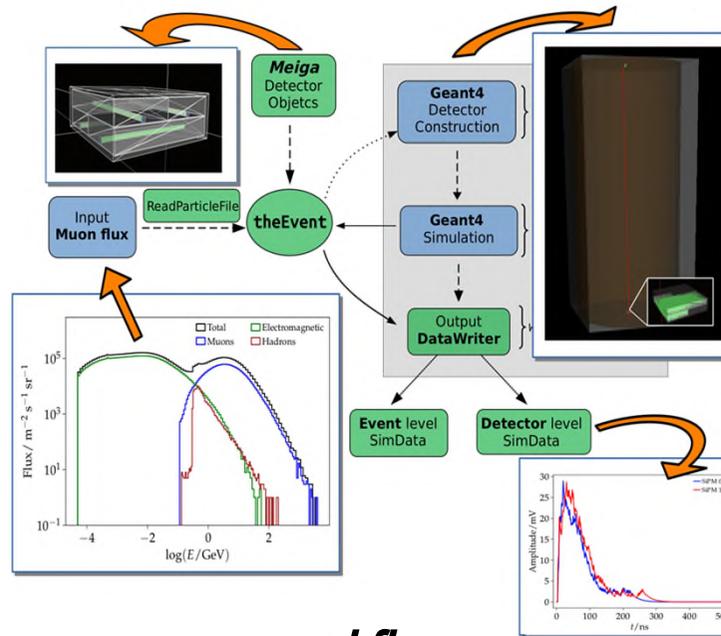
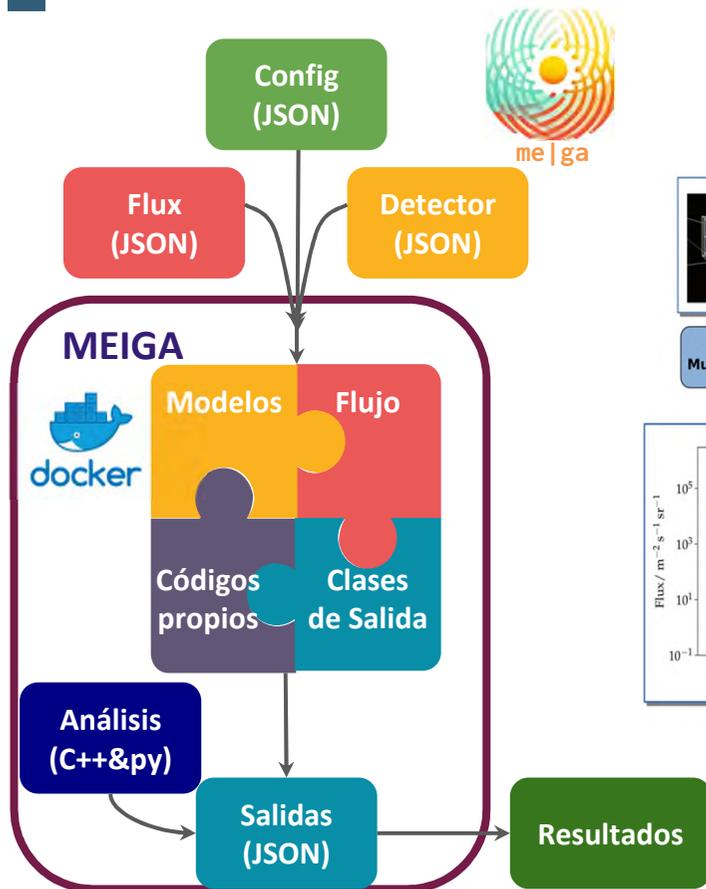




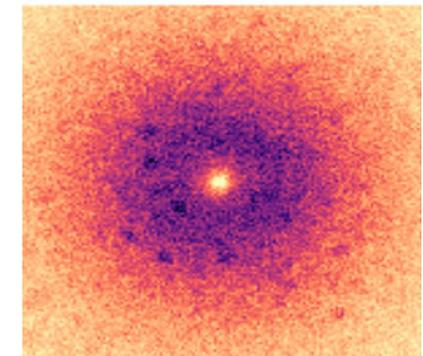
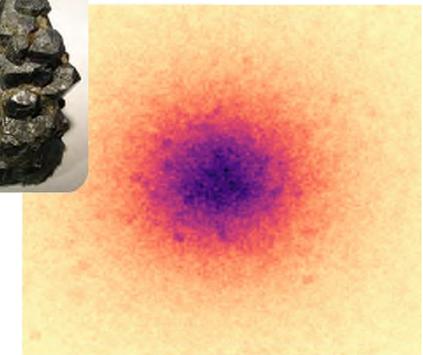
Simulación Meiga

- ✔ Generación (n, γ)
- ✔ Transporte (n, γ)
- ✔ Activación (n, γ)
- ✔ Interacción (n, γ)
- ✔ Decaimientos (n)

MEIGA: Simulación modular de interacciones basada en Geant4



workflow



Prospección UO₂-UO₃

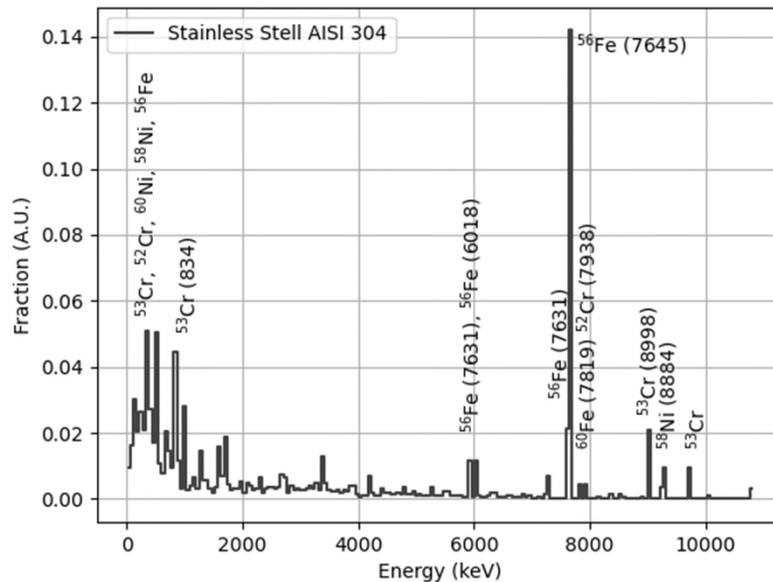


Modelo LPN en Meiga

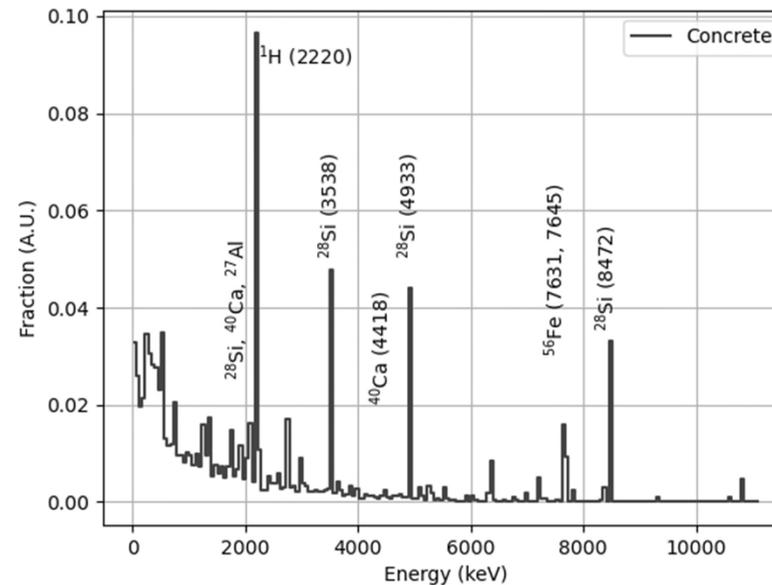
- Modelo físico validado
Transporte e interacción neutrónica
- Voxelizado adaptativo
- Catálogo de materiales
- Espectro n+γ de fuentes habituales (^{252}Cf , $^{241}\text{AmBe}$) a partir de A_0 y t , y genéricas (espectro .csv)
- Envejecimiento y contaminación de fuentes ($^{252}\text{Cf} \rightarrow ^{252}\text{Cf} + ^{250}\text{Cf} + ^{248}\text{Cm}$...)

n p e⁺ e⁻ γ $\bar{\nu}_e$

Activación neutrónica de materiales presentes

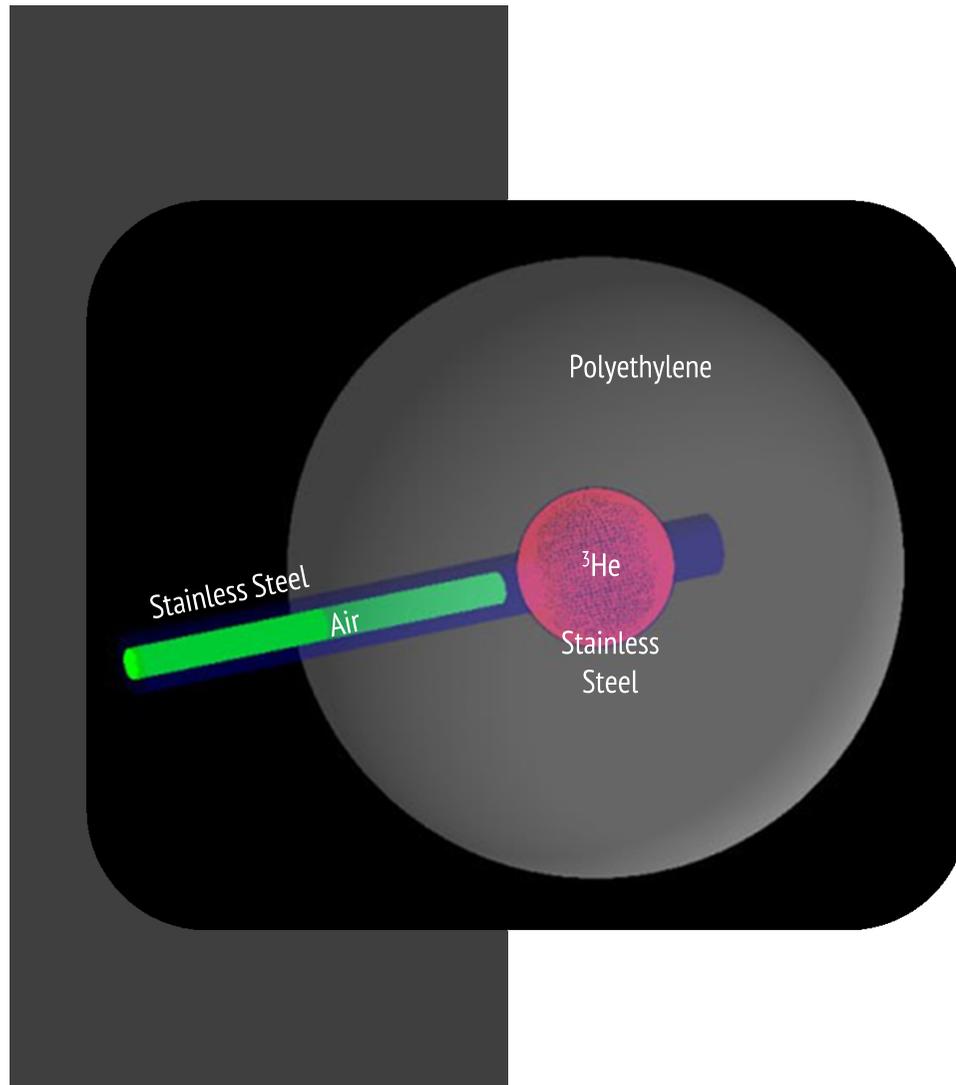


Neutrones térmicos sobre un tubo 3" Sch 40SS AISI 304



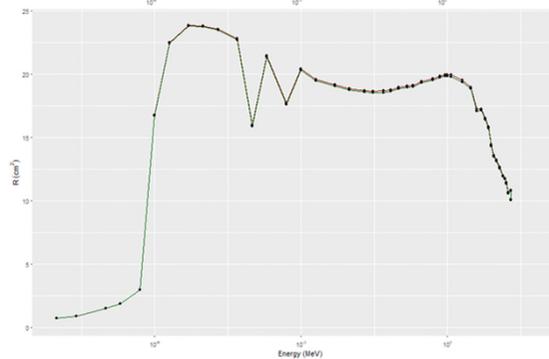
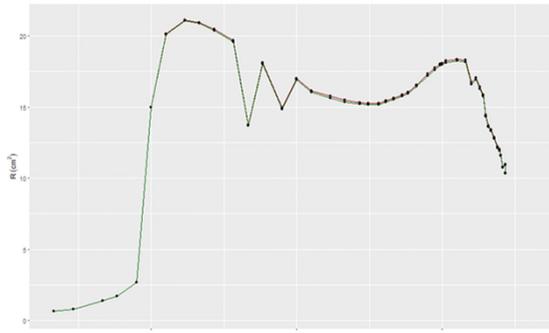
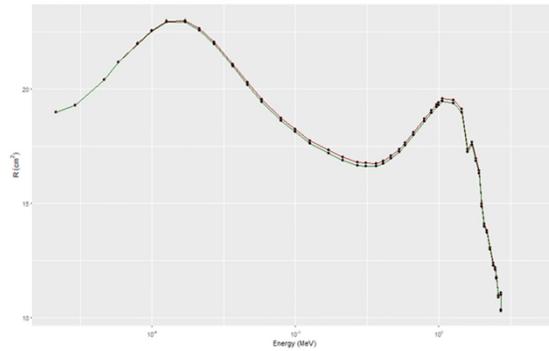
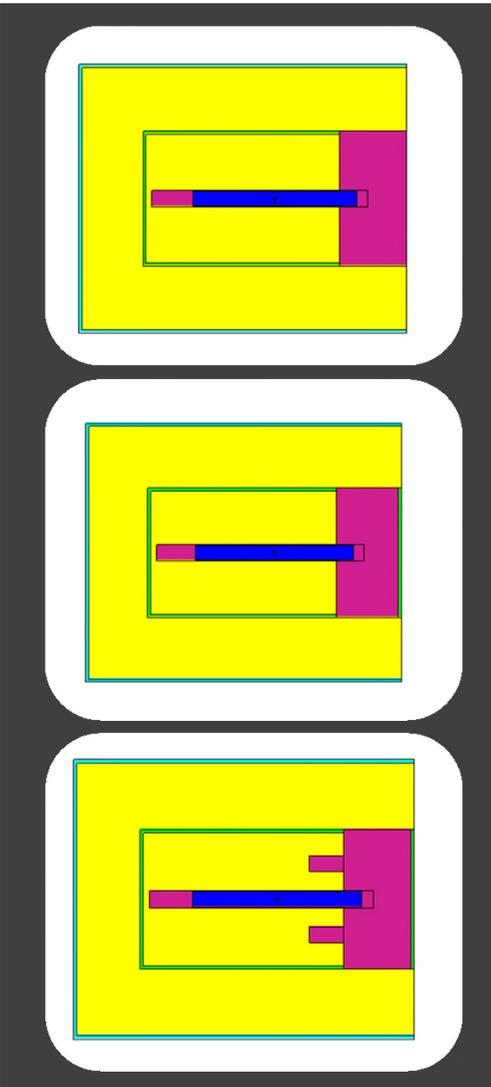
Neutrones térmicos sobre un bloque de cemento constructivo LPN

- Se utiliza la composición de cada compuesto o material, y la composición isotópica natural de cada elemento
- Posibilidad de incluir la activación de los materiales (por ejemplo, aceleradores)



Modelo modular de Esferas de Bonner

Desarrollo e integración de esferas de Bonner y *long counter* como detectores base para NEREIDA
En progreso



Respuesta *long-counter*

Long-counter basado en detector central de ^3He LND-2575 a 10 atm y dimensiones:

254.0 mm (L) x 25.4 mm (\emptyset)

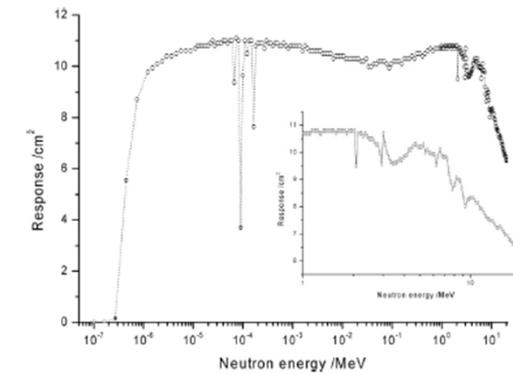
Core PE 300 mm (L) x 200 mm (\emptyset) + 0.5 mm de Cd +

Shielding PE 410 mm (L) x 500 mm (\emptyset)

En (b) incorpora ventana de Cd y en (c) *annulus* de PE

Se observa mejora en la respuesta plana con la

En

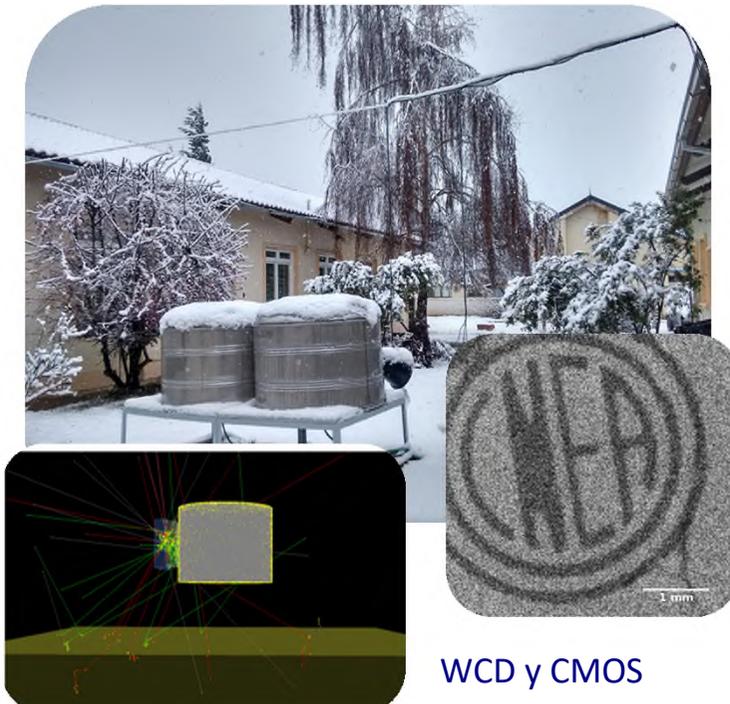


Respuesta long-counter IRSN, Rad. Meas. 45 (2010)

Validación y casos de estudio



Neutrones BRC y MAD



WCD y CMOS

Neutrones LPN

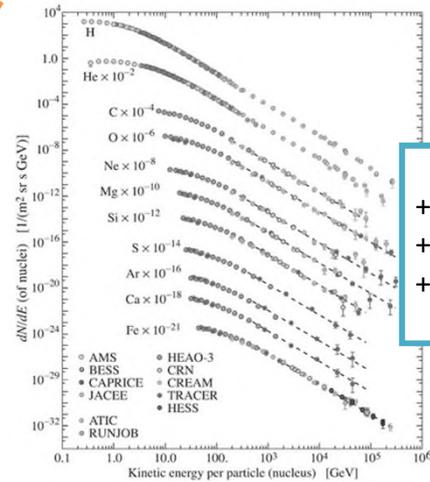


Esferas de Bonner
y long counter

Validación: nuevo WCD Madrid



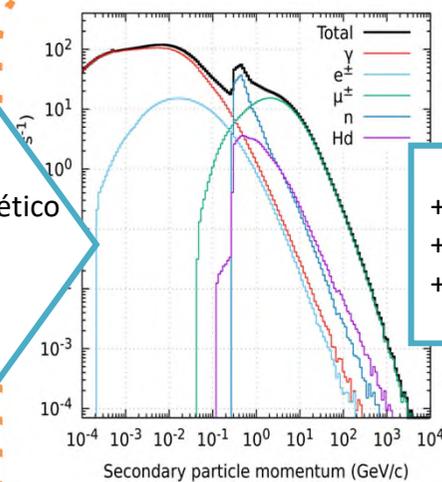
docker S0



Flujo Primario

+ Campo Magnético
+ Atmósfera
+ Sitio

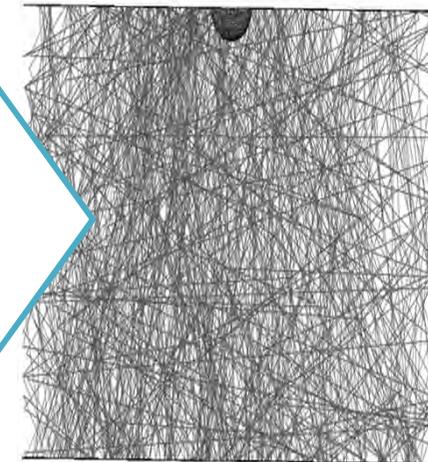
docker S1



Flujo Secundario

+ Geometría
+ Condiciones
+ Materiales

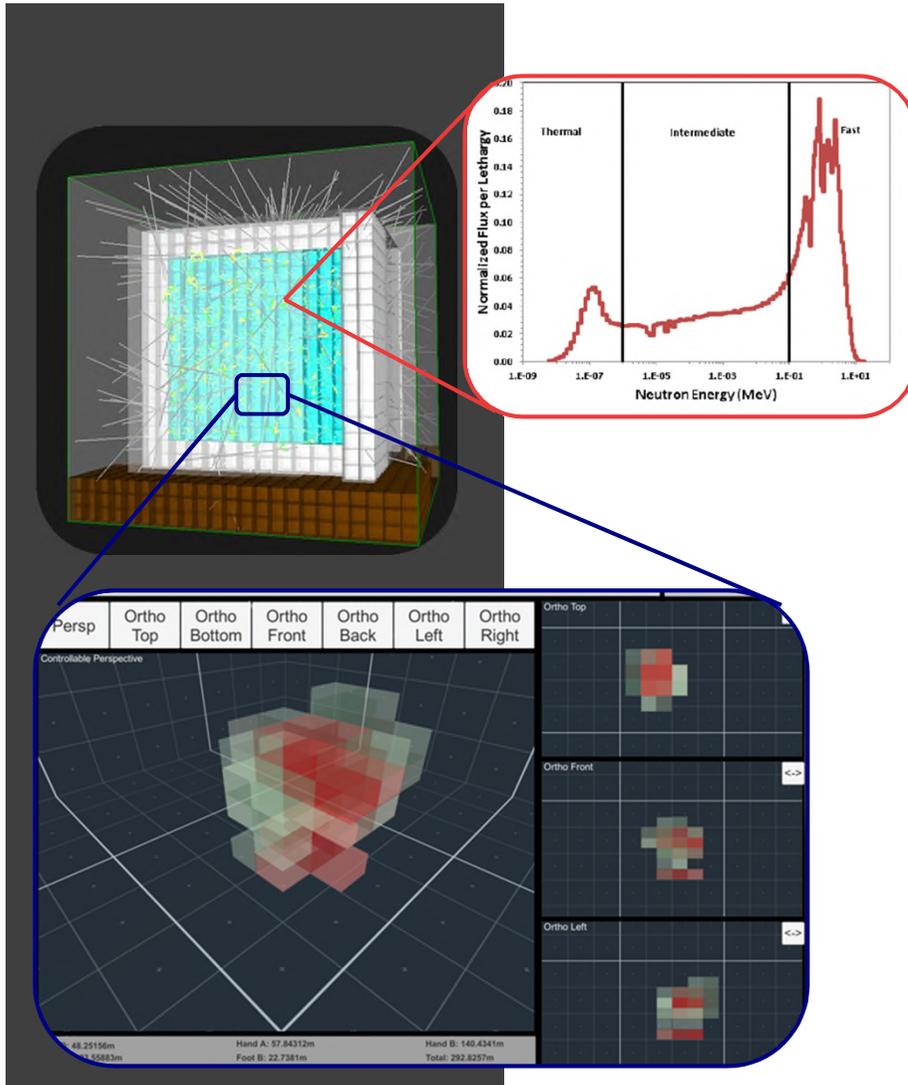
docker S2

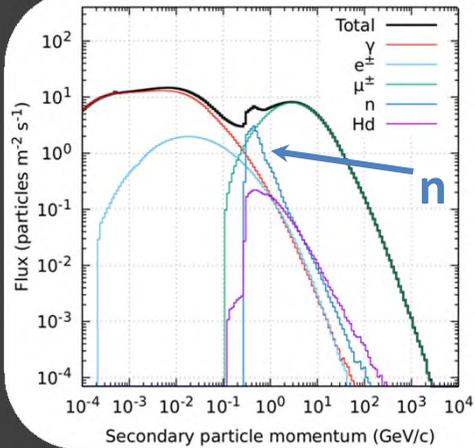


Señales

Visualización

- ✓ Mapas de dosis 2D y calificación de zonas
- ✓ Voxelizado del flujo (n)
- ✓ Herramienta web interactiva (React)
- ✓ Posible aplicación SaaS



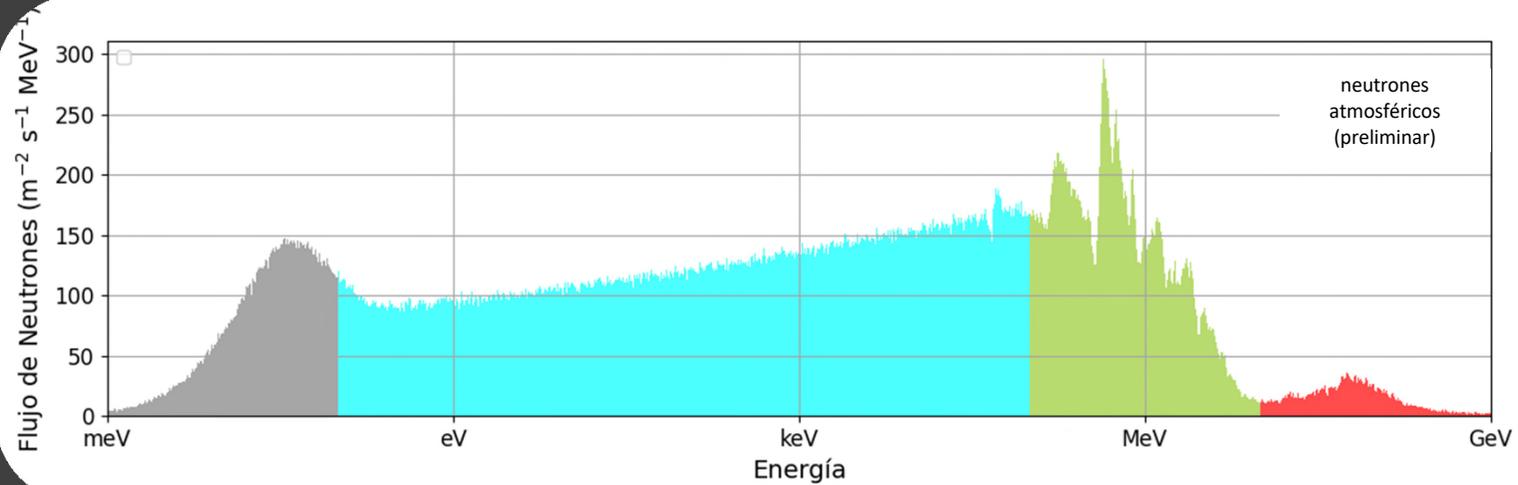


Flujo de neutrones atmosféricos (Madrid)



Adicionales

- ✓ Flujo de neutrones atmosféricos
- ✓ Esquema de datos y metadatos compatibles con FAIR
- ✓ Maniquí antropomórfico ICRP 110 integrado en MEIGA



Paradigma FAIR



Findability



discoverable,
identifiable and
locatable by means
of a standard
identification
mechanism

PiD, Metadata

Accessibility



always available
and obtainable;
even if the data is
restricted, the
metadata is open

Cloud storage

Interoperability



syntactically
parseable and
semantically
understandable,
allowing data
exchange and
reuse

Vocabulary

Reusability



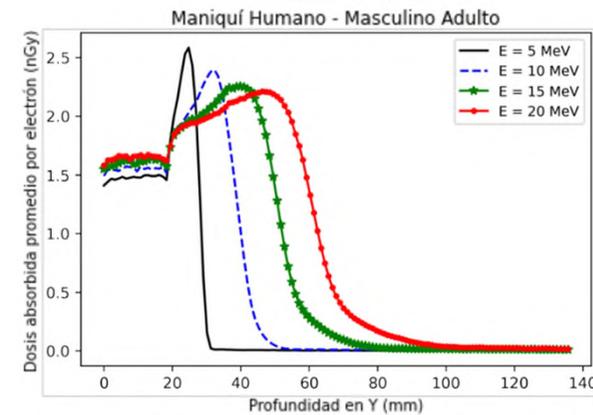
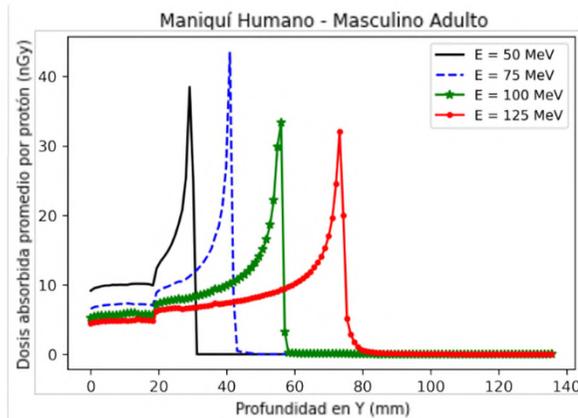
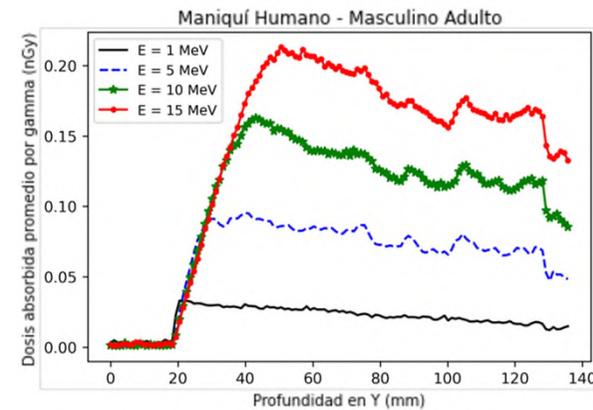
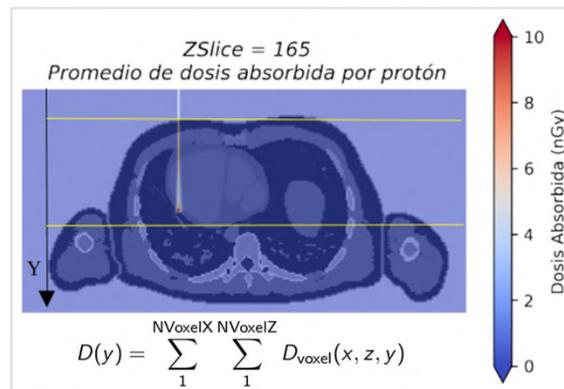
described and
shared with the
least restrictive
licences, allowing
the widest reuse
possible

Harvester,
copyleft

RadPhantom: maniqués antropomórficos



Maniqués antropomórficos (hombre y mujer) s/ICRP 110



RadPhantom
(Núñez-Chongo et al,
2024, en prensa)

Contenido

1. Presentación
2. Desarrollo y primeros resultados
- 3. Implementación**
4. Conclusiones



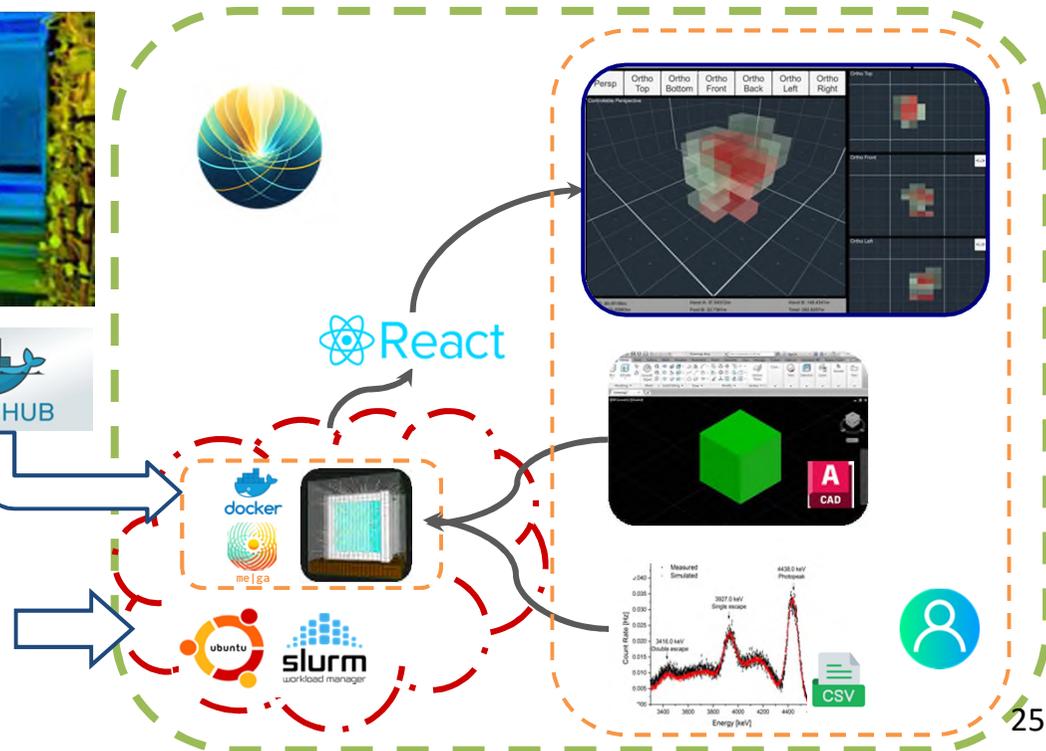
Arquitectura adaptada para Nereida



HPC provider assigns cloud resources to the project:
 n Nodes, r GB/TB of RAM, d TB local storage



Assigned resources are deployed in virtual cluster by using a template-based web service
Installs the OS and configures the workload manager in the cluster



The screenshot shows the GitHub interface for the repository 'asoreyh / nereida'. The repository is private and has 6 branches and 0 tags. The current branch is 'features/G4Nere...', which is 8 commits ahead of 'main'. The repository description is 'Fast Neutrons for the Exploitation of Facilities with Atomic Devices'. The file list includes:

- .vscode (Version_0,0_14022024 Add: Watt_rejection_..., 3 days ago)
- docs (First Commit, 3 months ago)
- nereida-g4 (Preparing for Meiga development - nereida..., last month)
- nereida (Version_0,0_14022024 Add: Watt_rejection_..., 3 days ago)
- README.md (New NEREIDA Dockerfile for the features/G..., last month)

 The README section features a large circular logo with a colorful, abstract design. Below the logo, the text 'The NEREIDA Project' is visible. The right sidebar shows 'About', 'Releases', 'Packages', 'Languages' (C++ 91.5%, CMake 8.5%), and 'Suggested workflows'.

Repositorios GitHub y Docker



The screenshot shows the Docker Hub interface for the repository 'asoreyh/nereida'. The repository is locked and was updated 1 minute ago. The description is 'Fast Neutrons for the Exploitation of Facilities with Atomic Devices'. The 'Tags' section indicates that the repository contains 3 tags:

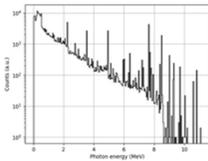
Tag	OS	Type	Pulled	Pushed
main		Image	a few seconds ago	a minute ago
latest		Image	a few seconds ago	a minute ago
dev		Image	a few seconds ago	10 minutes ago

Contenido

1. Presentación
2. Desarrollo y primeros resultados
3. Implementación
4. **Estado actual y trabajos futuros**

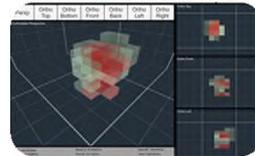


Acciones previstas Año 2



módulos de física

Continuar con el desarrollo e integración de los módulos de física (activación, wcd, ...) en la aplicación Nereida



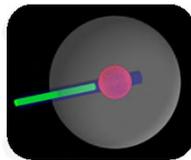
CAD y visualización

Integración librerías dwg (CAD) en Nereida para geometría y materiales. Interfaz de visualización React



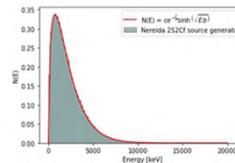
mediciones MAD y BRC

Abril: Misión de medición neutrones a CNEA (BRC)
2024Q4: Misión de medición CMOS al LPN (MAD)



integración de detectores

Integración Esferas de Bonner y *long counter* en Nereida.
Diseño y fabricación del long counter



validación

Ejecuciones de **validación** del núcleo físico de Nereida
Comparativa mediciones y simulaciones MCNP

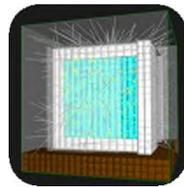


publicaciones

RSEF 2024 - WSC'24
Primer manuscrito Nereida
(3 trabajos publicados con referencia a NEREIDA y el CSN)

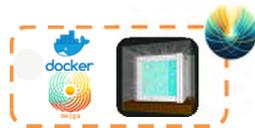


Conclusiones M14/36



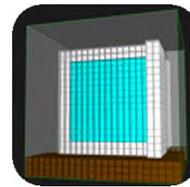
núcleo neutrónico en Geant4

Núcleo de interacciones las listas de física de Geant4 para térmicos, epi y HE



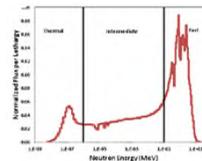
arquitectura de simulación

- Nereida está desplegada en los HPC del proyecto, y funciona en entornos virtualizados para el despliegue en la nube



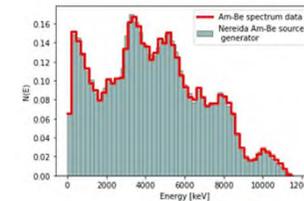
meiga

Núcleo de interacción, voxelizado y detectores incorporados a meiga



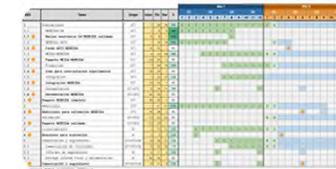
validación

Se dispone de un conjunto de mediciones y simulaciones del LPN como referencia de diseño. Se complementarán con CMOS y WCD



interfases

Interfaz lectura espectro de fuentes y fuentes de uso habitual incorporados



progreso

hasta el momento se han verificado los hitos críticos según la planificación del proyecto y la ejecución continúa





NEutrones Rápidos para la Explotación de Instalaciones con Dispositivos Atómicos NEREIDA

Muchas gracias

A. Alberto-Morillas, H. Arnaldi, H. Asorey, A. Bustos-Molina, X. Campo-Bianco,
M. Gómez-Berisso, **R. Mayo-García**, R. Méndez-Villafañe, J.A. Moriñigo,
O. Núñez-Chongo, S. Rivera-Vazquez, A.J. Rubio-Montero, I. Sidelnik,
M. Suárez-Durán, A. Taboada-Núñez

29/02/2024 - CSN
rafael.mayo@ciemat.es