

# Aplicación de detectores Cherenkov en agua para detección de humedad en suelos

Dr. Iván Sidelnik  
Departamento de Física de Neutrones  
GIN-GAEN-CNEA  
Bariloche, Argentina  
[ivansidelnik@cnea.gob.ar](mailto:ivansidelnik@cnea.gob.ar)  
[ivan.sidelnik@gmail.com](mailto:ivan.sidelnik@gmail.com)



# ¡¡¡¡Últimos LAGO workshops!!!!

## LAGO workshop con AP&HE escuela de física



**Ultimo meeting  
presencial previo a la  
pandemia  
Diciembre 2019 - @  
CAC - CNEA  
Bs. As., Argentina**

The Latin American Giant Observatory (LAGO)

Home About Publicaciones Actividades News Contact

### 13<sup>th</sup> LAGO Workshop

Tucuman, Argentina

The workshop will be held between the 23<sup>rd</sup> and 26<sup>th</sup> of February, 2022, in Tucuman, Argentina.

**Chair:** María Graciela Molina (FACET - UNT)

**co-Chair:** Iván Siskinik (CONICET-CNEA)

**Registration is closed!**

However, if you need an invitation letter please send an email to Graciela <[gmolina@exactas.unt.edu.ar](mailto:gmolina@exactas.unt.edu.ar)>

**Abstract submission and finance support**

The Abstract submission and the process to request financial support is now closed. Thanks for participating.

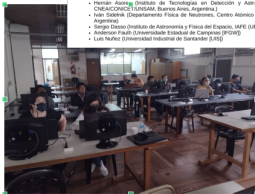
**Local Organizing Committee (Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) - Universidad Nacional de Tucumán (UNT))**

- María Graciela Molina
- Tiziano Tomas Perella
- Juan Iba

**Scientific Comittee**

- Hernán Alonso (Instituto de Tecnologías en Detección y Astronómicas (TSDA), Centro Atómico Constituyentes, CNEA-CONICET-LUNSAM, Buenos Aires, Argentina)
- Iván Siskinik (Departamento Física de Tucumán, Centro Atómico Bariloche, CNEA-CONICET, San Carlos de Bariloche, Argentina)
- Sergio Casero (Instituto de Astronomía y Física del Espacio, IAFE (UBA-CONICET)
- Anderson Faith Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
- Luis Nofre (Universidad Industrial de Santander (UIS))

**Febbrero  
2022  
FACET  
@ Tucuman,  
Argentina**





# Estadísticas LAGO

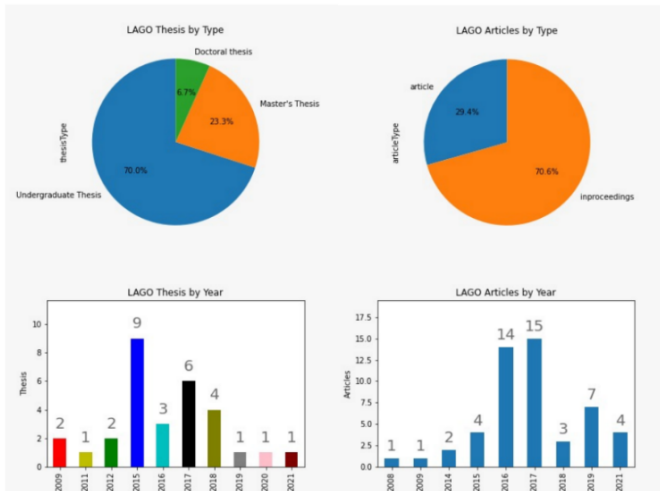


Figure 2: Left hand side: thesis produced by LAGO discriminated in thesis type (upper panel) and in the year they were produced since the beginning of the Observatory planning in 2008 (lower panel). Right hand side: publications generated in the LAGO Collaboration by type (upper panel) and in the years since 2008.

¡¡¡Advertencia!!!



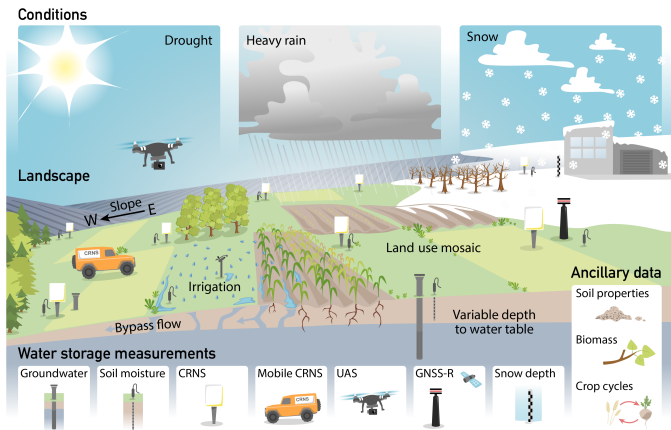
Charla **laaaaaaaaaaargaaaaaaaa**  
y con mucha **información!**

¡¡¡Advertencia!!!



Charla **laaaaaaaaaaargaaaaaaaa**  
y con mucha **información!**

# ¿Por qué es importante conocer la humedad del suelo?



La humedad del suelo es importante para la sociedad y el medio ambiente global. La información precisa sobre la humedad del suelo está en el centro de una multitud de aplicaciones que incluyen la previsión del clima y la variabilidad climática, la proyección y el monitoreo de las condiciones de sequía, la gestión precisa del riego agrícola, la conservación de los recursos hídricos, el monitoreo de la respuesta de los ecosistemas al cambio climático y la mitigación de los impactos de desastres naturales como incendios forestales, deslizamientos de tierra, inundaciones o tormentas de polvo.



## Importancia de la humedad

- La humedad del suelo es crucial para la agricultura.
- Programar aplicaciones de riego (climas con deficit de agua).
- El exceso de humedad puede ser perjudicial para las raíces de las plantas.
- Exceso de agua en el suelo puede causar inestabilidad hasta el punto de desencadenar deslizamientos destructivos de tierra.
- Problema doble: falta de métodos para áreas grande y es difícil medir la humedad en una escala amplia a partir de pequeña escala (suelos heterogéneos).

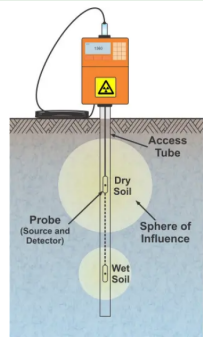
## Métodos convencionales de medición

- Determinaciones gravimétricas/volumétricas directas (la muestra de suelo se pesa y luego se seca, diferencia de contenido de humedad seca y original)
- Reflectometría en el dominio del tiempo, TDR (pulsos eléctricos a través de una sonda, el agua afecta la constante dieléctrica del suelo)
- Reflectometría en el dominio de la frecuencia, FDR (variación en la frecuencia de una señal de onda continua)
- Tensiómetro (mide la tensión o succión del agua en el suelo)
- Sensores de resistencia eléctrica (se mide la resistencia eléctrica del suelo entre dos electrodos, a menor resistencia, mayor es la cantidad de agua en el suelo)

# Métodos para la medición de humedad en el suelo usando neutrones

## Utilizando neutrones (fuentes)

- Este dispositivo utiliza una fuente de neutrones para medir la humedad del suelo. Los neutrones emitidos se moderan con los átomos de hidrógeno en el agua del suelo. La cantidad de neutrones moderados es proporcional a la cantidad de hidrógeno y, por tanto, al contenido de agua en el suelo. Alta precisión para medir el contenido de humedad a profundidades específicas.



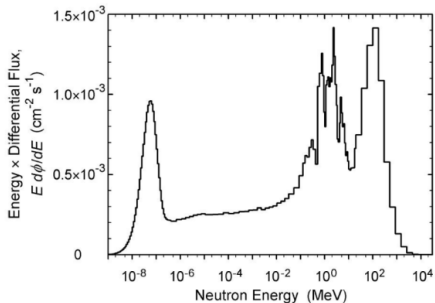
# Métodos para la medición de humedad en el suelo usando neutrones

## Métodos utilizando neutrones cósmicos

- Detectores más grandes cubren áreas mayores
- Detector fijo, medición de neutrones por hora
- En mochilas funcionan por periodos cortos (10-20 minutos)



# Espectro de neutrones a nivel del suelo

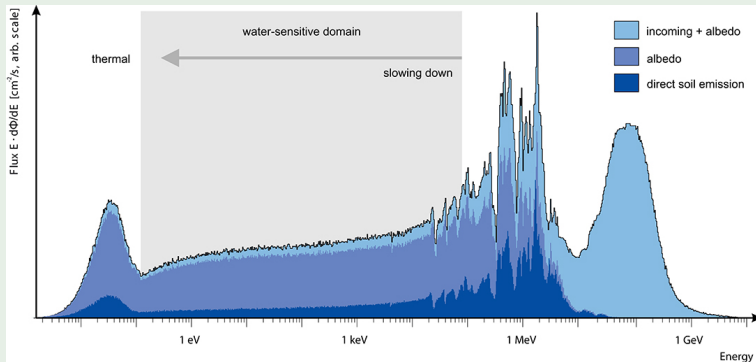


Categoría	Energía
Alta energía	>10 MeV
Rápidos	(0.2, 10) MeV
Intermedios	(1, 200 000) eV
Epitérmicos	~0.5 eV
Térmicos	~0.025 eV
Fríos/ultrafríos	(0.001,1) meV

**Figura 13:** Espectro del fondo de neutrones. En el eje X se representa la energía, y en el vertical, el producto del flujo y la energía. Tomado de M.S. Gordon, P. Goldhagen, K.P. Rodbell, T.H. Zabel, H.H.K. Tang, J.M. Clem, P. Bailey, *IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-51* (6) (2004) 3427.



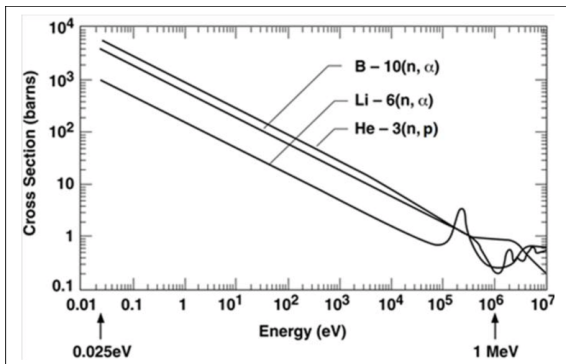
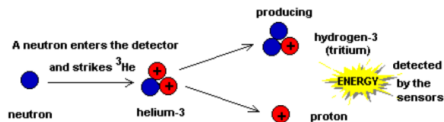
# Espectro de neutrones a nivel del suelo



El espectro de neutrones de rayos cósmicos sobre suelo seco muestra tres picos. Los neutrones de alta energía se generan en cascadas en la atmósfera superior con energías de hasta varios GeV. Por interacción con átomos en el aire o por evaporación en el suelo, se emiten neutrones con energías cercanas a 1 MeV. Finalmente, mediante dispersión elástica, los neutrones se desaceleran hasta alcanzar el equilibrio térmico con su entorno. El espectro total puede separarse en una parte que comprende los neutrones de albedo que han estado en el suelo y que contiene información sobre la humedad del suelo, aquellos que provienen de la atmósfera y los que son emitidos directamente por el suelo.

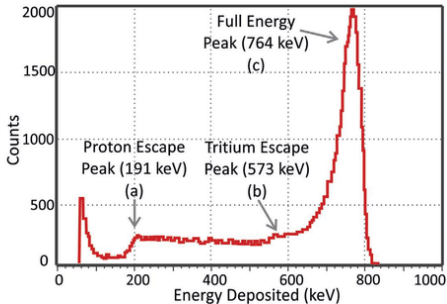
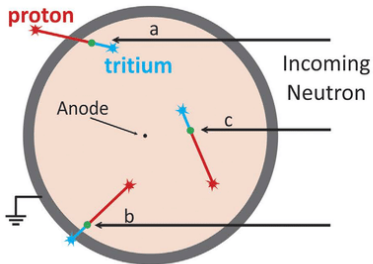
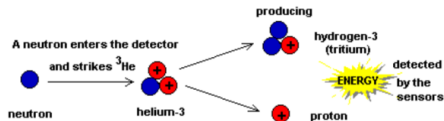
# Detección de neutrones térmicos: detector de $^3\text{He}$

Capture reaction	$\sigma_{\text{thermal}}$ (barn)
$n + ^3\text{He} \rightarrow ^3\text{H}(0.191\text{MeV}) + p(0.574\text{MeV})$	5330
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.78\text{MeV}) + ^7\text{Li}(1.01\text{MeV})$ 6,3%	3840
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.47\text{MeV}) + ^7\text{Li}(0.84\text{MeV}) + \gamma(0.48\text{MeV})$ 93,7%	
$n + ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H}(2.73\text{MeV}) + \alpha(2.05\text{MeV})$	940
$n + ^{113}\text{Cd} \rightarrow ^{114}\text{Cd} + \gamma(0.56\text{MeV}) + e^-$	20743
$n + ^{155}\text{Gd} \rightarrow ^{156}\text{Gd} + \gamma(0.09, 0.20, 0.30\text{MeV}) + e^-$	60791
$n + ^{157}\text{Gd} \rightarrow ^{158}\text{Gd} + \gamma(0.08, 0.18, 0.28\text{MeV}) + e^-$	255011



# Detección de neutrones térmicos: detector de $^3\text{He}$

Capture reaction	$\sigma_{n\text{thermal}}$ (barn)
$n + ^3\text{He} \rightarrow ^3\text{H}(0.191\text{MeV}) + p(0.574\text{MeV})$	5330
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.78\text{MeV}) + ^7\text{Li}(1.01\text{MeV})$ 6,3%	3840
$n + ^{10}\text{B} \rightarrow \alpha(1.47\text{MeV}) + ^7\text{Li}(0.84\text{MeV}) + \gamma(0.48\text{MeV})$ 93,7%	
$n + ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H}(2.73\text{MeV}) + \alpha(2.05\text{MeV})$	940
$n + ^{113}\text{Cd} \rightarrow ^{114}\text{Cd} + \gamma(0.56\text{MeV}) + e^-$	20743
$n + ^{155}\text{Gd} \rightarrow ^{156}\text{Gd} + \gamma(0.09, 0.20, 0.30\text{MeV}) + e^-$	60791
$n + ^{157}\text{Gd} \rightarrow ^{158}\text{Gd} + \gamma(0.08, 0.18, 0.28\text{MeV}) + e^-$	255011



# Nuestra herramienta: Detectores Cherenkov en agua (en inglés, WCD)



Los WCD detectan el pasaje de radiación originada por una partícula cargada al atravesar el volumen de agua a través del efecto Cherenkov. Esta señal es colectada por un PMT. Son generalmente utilizados en experimento de detección de rayos cósmicos.



## **This Week's Citation Classic**® AUGUST 26, 1991

**Cherenkov P A.** Visible light from clear liquids under the action of gamma radiation.  
*C.R. (Dokl.) Acad. Sci. URSS* 2:451-4, 1934.  
[Physico-Mathematical Institute V.A. Steklova, Academy of Science, Leningrad, USSR]

AUGUST 15, 1937

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 52

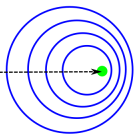
### Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light

In a note published in 1934<sup>1</sup> as well as in the subsequent publications<sup>2-4</sup> the present author reported his discovery of feeble visible radiation emitted by pure liquids under the action of fast electrons ( $\beta$ -particles of radioactive elements or Compton electrons liberated in liquids in the process of scattering of  $\gamma$ -rays). This radiation was a novel phenomenon, which could not be identified with any of the kinds of luminescence then known as the theory of luminescence failed to account for a number of unusual properties (insensitiveness to the action of quenching agents, anomalous polarization, marked spacial asymmetry, etc.) exhibited by the radiation in question.

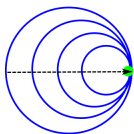


# Efecto Cherenkov: cálculo simple

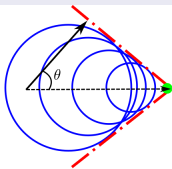
## Condición Cherenkov



$$\beta c < c'$$



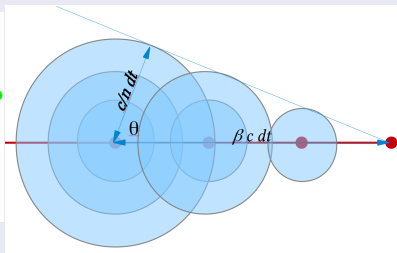
$$\beta c = c'$$



$$\beta c > c'$$

$\beta = v/c$  (velocidad de la partícula)

$$\beta c > c' = \frac{c}{n}$$
$$\beta > \frac{1}{n}$$

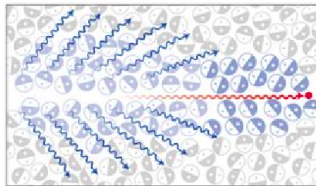
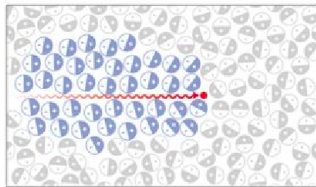


$$\cos \theta = \frac{c/ndt}{\beta c dt}$$
$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

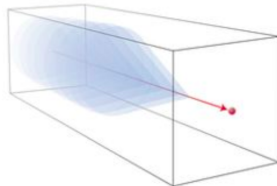
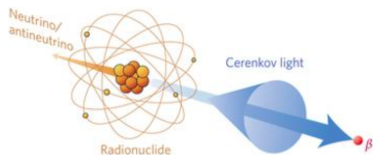
Como si fuera un boom sónico, las ondas coherentes se producen mediante el mecanismo de Cherenkov, generando un frente de onda fotónica. A medida que la partícula avanza, el frente de onda fotónica se propaga en un ángulo hacia adelante,  $\theta$ , con la luz emitida en la dirección del movimiento.

Todo esto con la condición  $n(\omega) \equiv \sqrt{\mu(\omega)\epsilon(\omega)} \simeq \sqrt{\epsilon(\omega)} \approx n = cte$

# Efecto Cherenkov: el medio



Top: A **charged** particle travelling faster than light in a medium **polarizes** the medium.  
Bottom: As the medium returns to the ground state, blue-weighted light (blue wavy lines) is emitted in a forward direction.



Top: Cherenkov light is emitted **by the medium** in which a charged particle travels.  $\beta$ -particle emission with energies greater than the Cherenkov threshold result in CL. Bottom: negative index materials, the cone of Cherenkov light is reversed compared with conventional materials.

# Efecto Cherenkov: La fórmula de Frank-Tamm.

## Frank-Tamm formula

In a slightly absorbing medium with permittivity  $\epsilon(\omega)$  and  $Z$  atomic number, a particle with  $\beta = \frac{v}{c}$  produces:

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x \partial \lambda} = 2\pi \frac{Z^2}{137} \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 \epsilon(\omega)} \right) \frac{1}{\lambda^2}$$

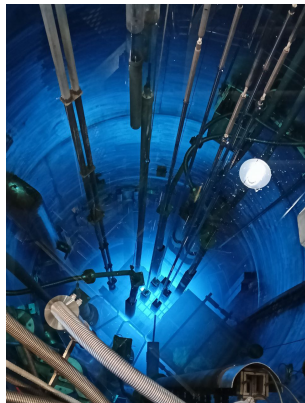
taking in to account that  $n(\omega) = \sqrt{\epsilon\mu} \simeq \sqrt{\epsilon(\omega)} \approx n$ , the number  $N$  of Cherenkov photons produced when the particle travels a distance  $x$  in the interval  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  is:

$$\frac{\partial N}{\partial x} = 2\pi \frac{Z^2}{137} \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

Unlike the fluorescence or emission spectra, the Cherenkov radiation spectrum given by the Frank-Tamm formula, is **continuous** and its density is **inversely proportional to the wavelength ( $\lambda$ ) squared**. Therefore, **the number of photons increases as the wavelength decreases**. That explains why most of the Cherenkov radiation seems **blue** and mostly in **UV** range.



# Efecto Cherenkov en agua



Reactor de investigación RA-6 Bariloche

# Efecto Cherenkov: umbral de energía

Threshold energy for production of Cherenkov lighth

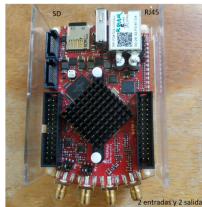
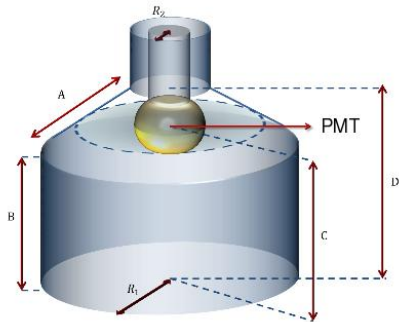
$$E = m_0 c^2 \left[ \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right]$$

Particle	Mass $\left[ \frac{\text{MeV}}{c^2} \right]$	Kinetic E. [MeV]	Threshold E [MeV]
$e^+ e^-$	0.511	0.264	0.775
$\mu^+ \mu^-$	105	54	159
Proton	938	484	1422

$\text{H}_2\text{O}$   $n = 1,333$  in the visible range

Cherenkov radiation is emitted in a very short time (ps) for solids and liquids

# WCD de LAGO

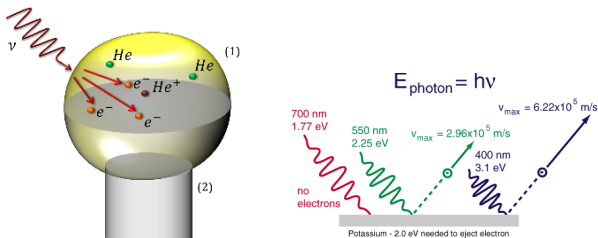


# Water Cherenkov Detectors (WCD): Photo Multiplier Tube (PMT)

9" Photonis XP1802

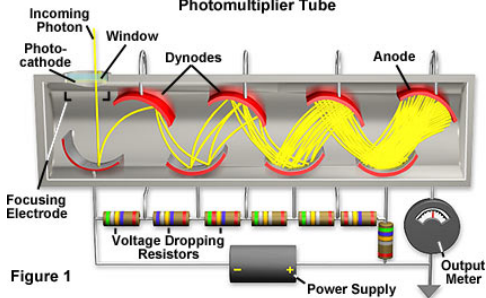


8" Hamamatsu R5912

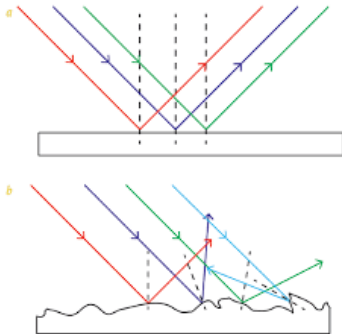


Photoelectric effect

Photomultiplier Tube

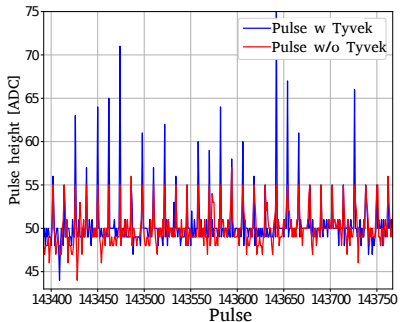


# Recubrimiento interno de Tyvek

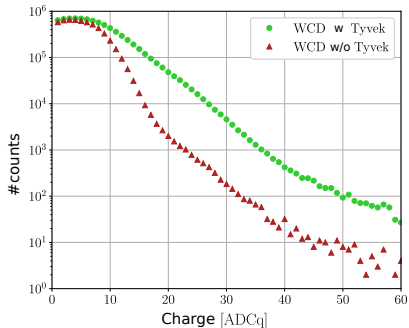


Tyvek inner cover is used to maximize Cherenkov photons collection, through the particular rugosity of the fabric that enhance the diffusion and reflection of photons.

# Recubrimiento interno de Tyvek



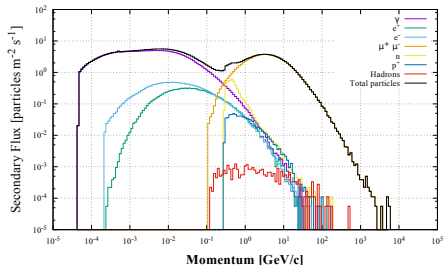
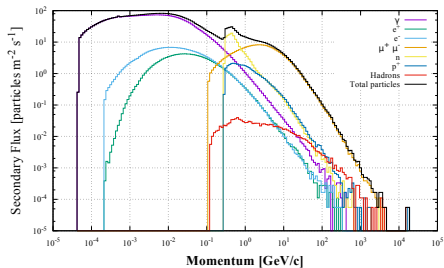
Pulse shape of background radiation with and without the presence of Tyvek inside the detector



Charge spectra of background radiation with and without the presence of Tyvek inside the detector

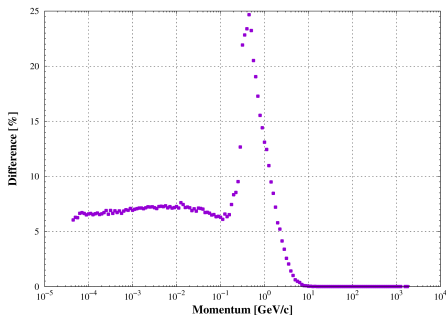
# Volvamos al problema original: detección de neutrones!

## flux @ ground sites: Chacaltaya and La Serena



## During a geostorm: largest variations in neutron flux

Preliminary results from the latin american giant observatory space weather simulation chain. H. Asorey, L.A. Núñez, and M. Suárez-Durán. Space Weather, 16(5):461–475, 2018.



The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations.

C. Sarmiento-Cano, M. Suárez-Durán, et al.

Eur. Phys. J. C (2022) 82:1019

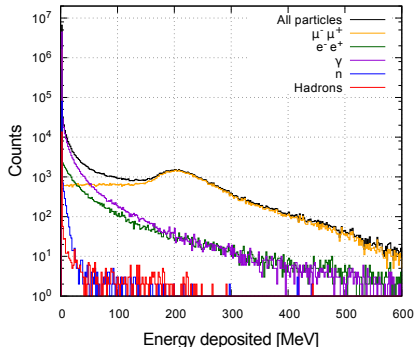
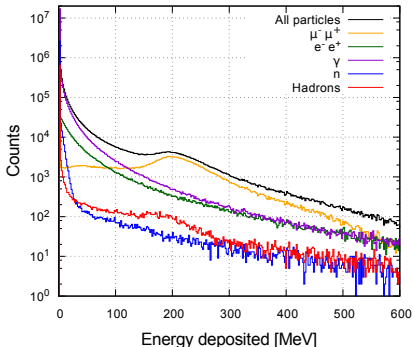
<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10883-z>

# Volvamos al problema original: detección de neutrones!

## Histograma de carga del detector simulado

Chacaltaya (5421 m a.s.l.)

La Serena (28 m a.s.l.)



The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations

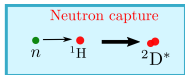
C. Sarmiento-Cano, M. Suárez-Durán, et al.

Eur. Phys. J. C (2022) 82:1019 <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10883-z>

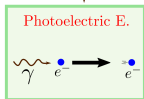
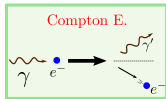
¿Podremos mejorar la señal de neutrones en el detector Cherenkov?



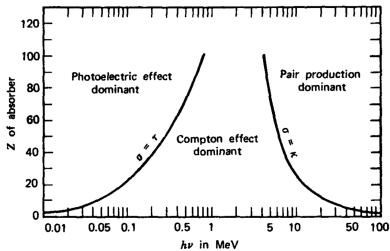
# Detección de neutrones con WCD



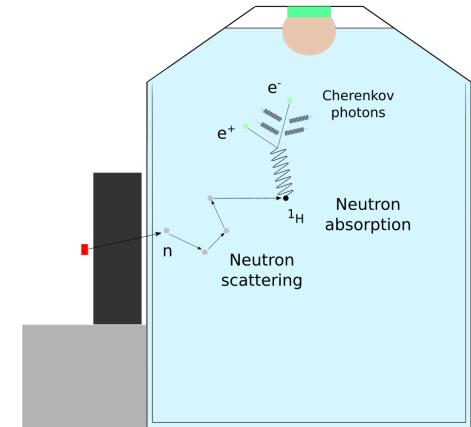
$$\gamma = 2.22 \text{ [MeV]}$$



Photon processes that can result in an electron



**Knoll, Radiation detection and measurement**



Threshold energy  $E = m_0 c^2 \left[ \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \right]$

Particle	Mass $\left[ \frac{\text{MeV}}{c^2} \right]$	Kinetic E. [MeV]	Threshold energy for prod. of Cherenkov light [MeV]
$e^+e^-$	0.511	0.264	0.775
$\mu^+\mu^-$	105	54.26	159.26
Proton	938	484	1422

# Detección de neutrones con WCD

Prueba de concepto detectores  
LAGO en Bariloche (Nahuelito)



Diferentes blindajes: parafina, Cd, Pb  
AmBe and  $^{252}\text{Cf}$  neutron sources

Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT.

I. Sidelnik, H. Asorey, et al.

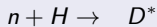
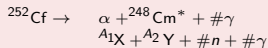
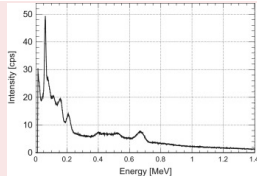
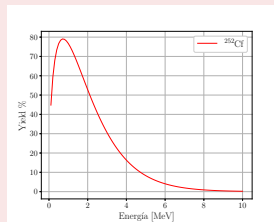
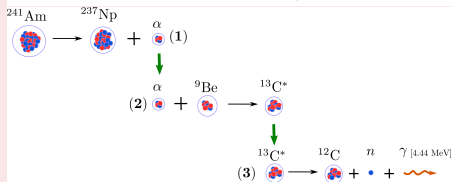
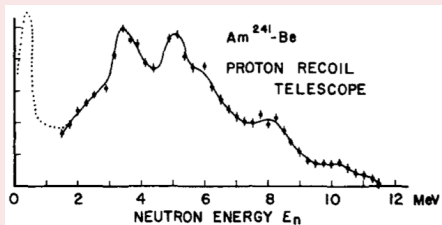
NIM A 876 (2017) 153-155 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.02.048>

# Detección de neutrones con WCD

Fuentes de neutrones

$^{241}\text{Am}-^9\text{Be}$

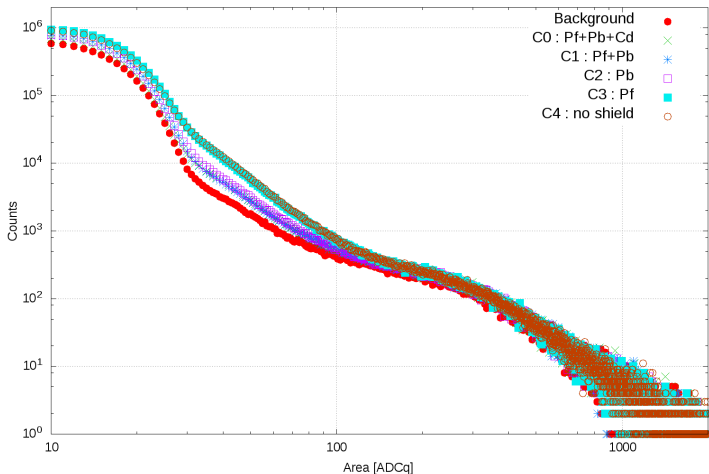
$^{252}\text{Cf}$



$\downarrow E_\gamma = 2,22\text{MeV} \Rightarrow$  **exceed the energy threshold for Cherenkov radiation**  
 $D$

# Detección de neutrones con WCD - Resultados I

Pulse charge histogram of background radiation and using an AmBe source



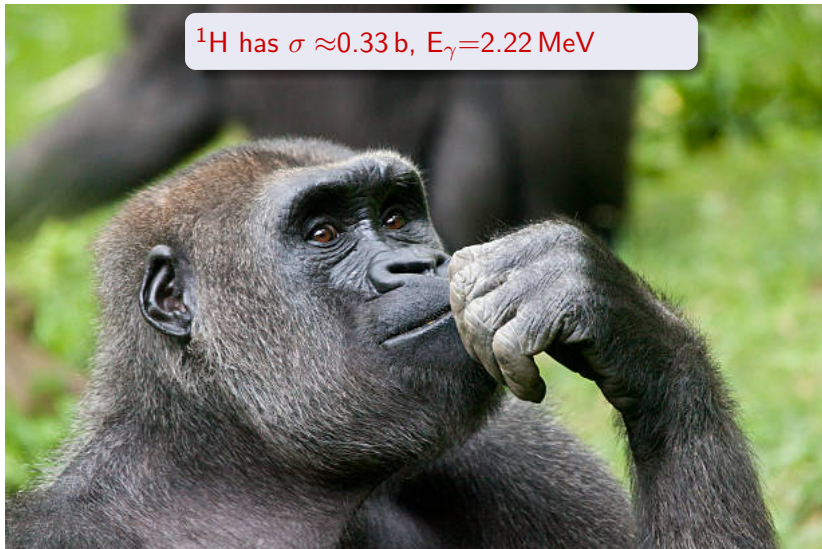
**Neutron detection using a water Cherenkov detector with pure water and a single PMT.**

*I. Sidelnik, H. Asorey, et al.*

NIM A 876 (2017) 153-155 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.02.048>

# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

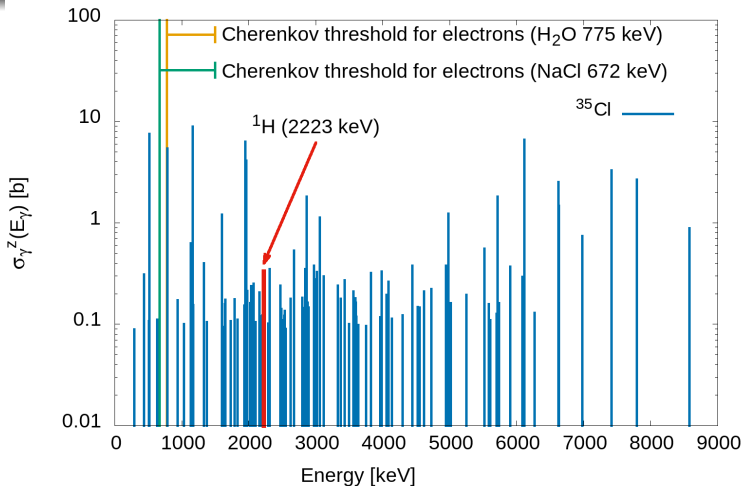
${}^1\text{H}$  has  $\sigma \approx 0.33 \text{ b}$ ,  $E_\gamma = 2.22 \text{ MeV}$



# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

¡Cl!

$^{35}\text{Cl}$  has  $\sigma \approx 43\text{b}$ , abundancia del  $\sim 75\%$ , no es contaminante, se disuelve fácil en agua y es muy barato. ¡ $E_\gamma < 8.5\text{ MeV}$ !



# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

Pensando en un elemento no contaminante, barato y fácil de conseguir → usamos ¡NaCl!



# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?

Pensando en un elemento no contaminante, barato y fácil de conseguir → usamos ¡NaCl!

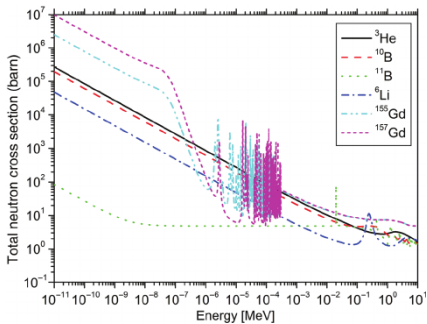




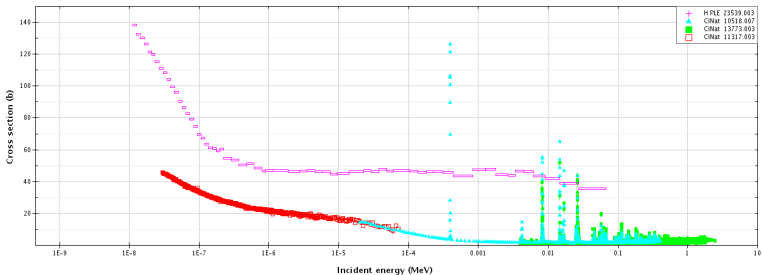
# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?



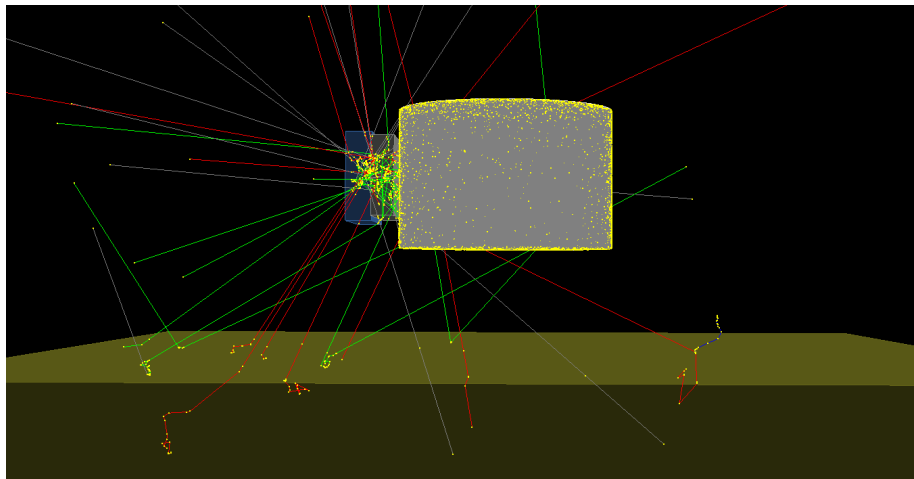
# ¿Cómo mejoramos la señal de los neutrones en un WCD?



Incident neutron data / EXFOR / / (,TOT) /



# Simulaciones con geometría realista en Geant4



# Resultados simulaciones

Distancia en la que el neutrón es capturado dentro del agua con NaCl

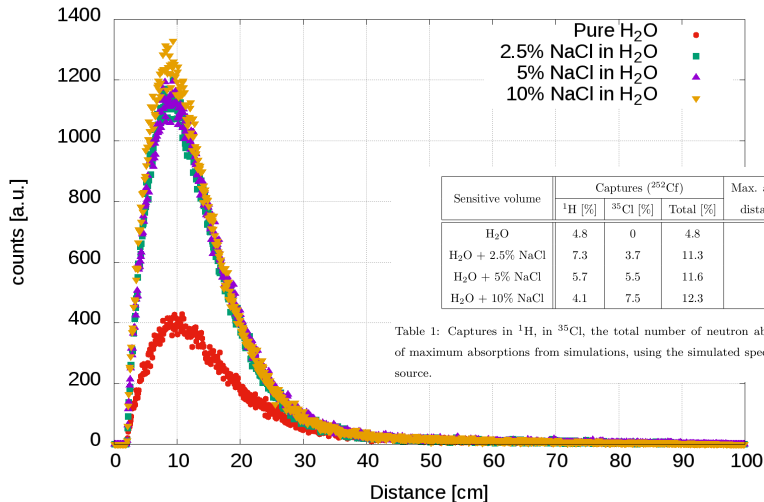


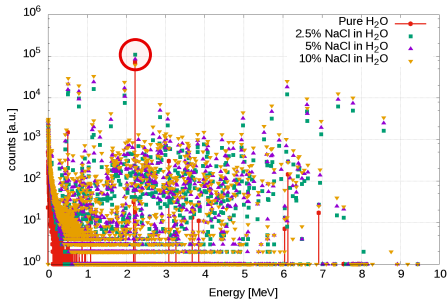
Table 1: Captures in <sup>1</sup>H, in <sup>35</sup>Cl, the total number of neutron absorbed and the distance of maximum absorptions from simulations, using the simulated spectrum of a <sup>252</sup>Cf neutron source.

Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.

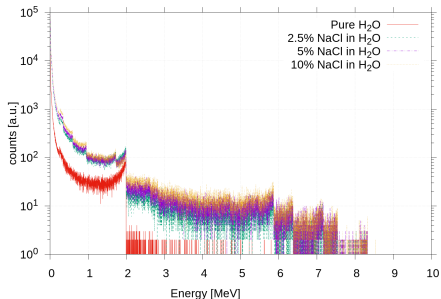
I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.

NIM A 955 (2020)163172 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2019.163172>

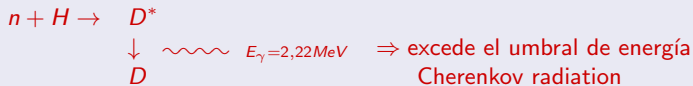
# Resultado simulaciones → producción de gammas y electrones dentro del detector



Distribución de energía para  $\gamma$ .



Distribución de energía para electrones.

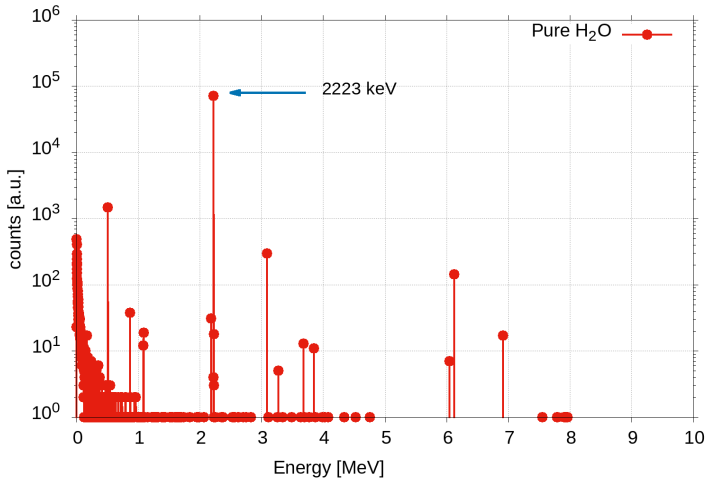


Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.

NIM A 955 (2020)163172 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2019.163172>

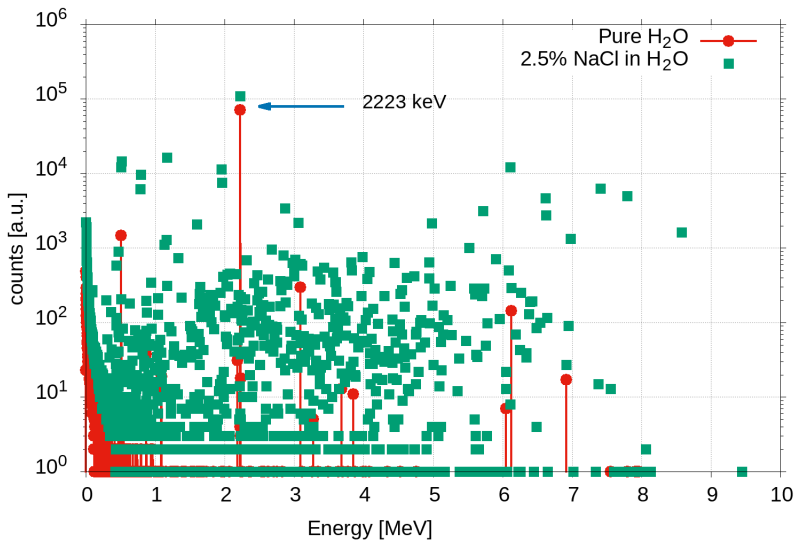
# Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production



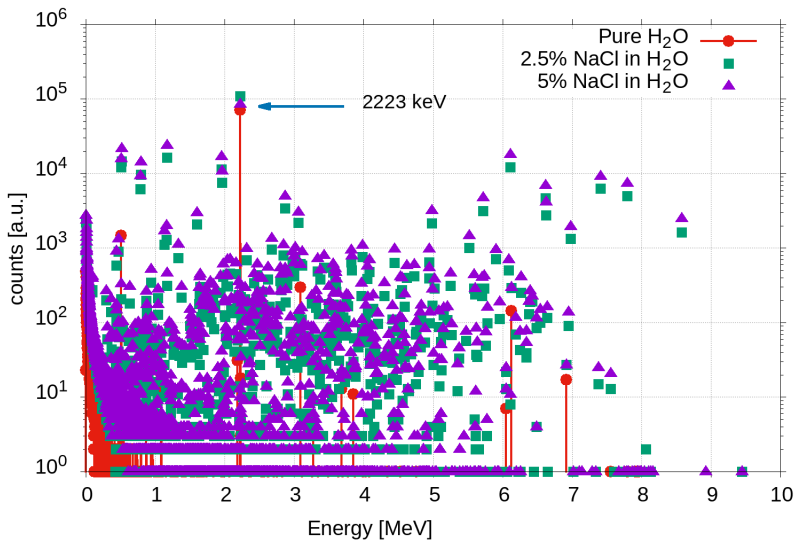
$$E_\gamma = 2,22 \text{ MeV}$$

$\Rightarrow$  exceed the energy threshold for  
Cherenkov radiation

# Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production

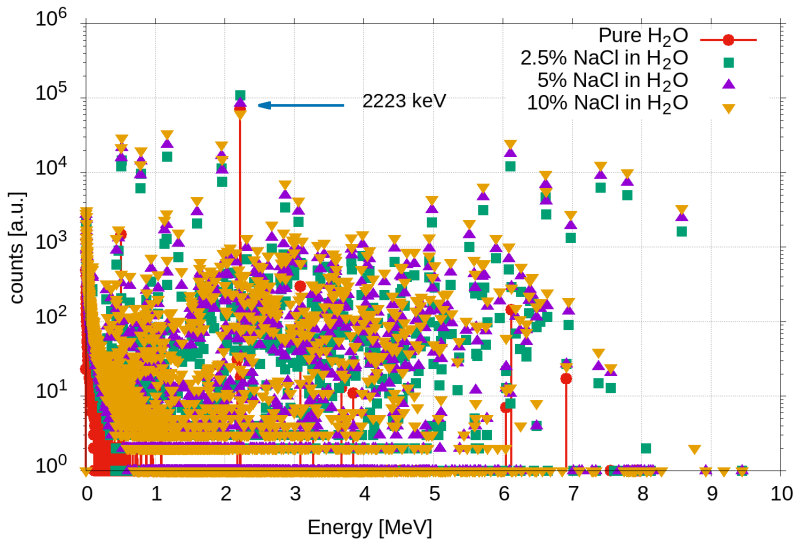


# Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production





# Results: Simulations $\rightarrow$ gamma production



# Resultado de simulaciones → producción de electrones

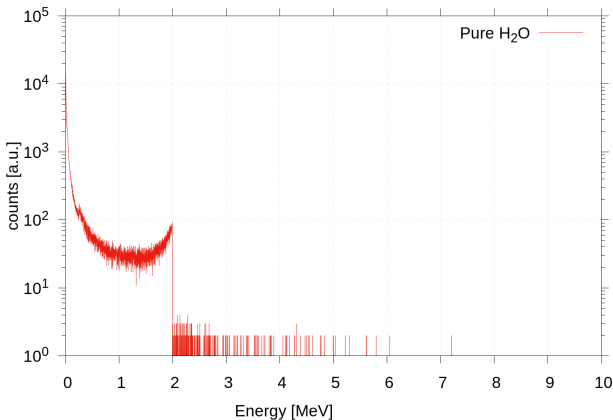
## Efecto Compton

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{(1 + E_{\gamma}/m_e c^2)(1 - \cos \theta)}$$

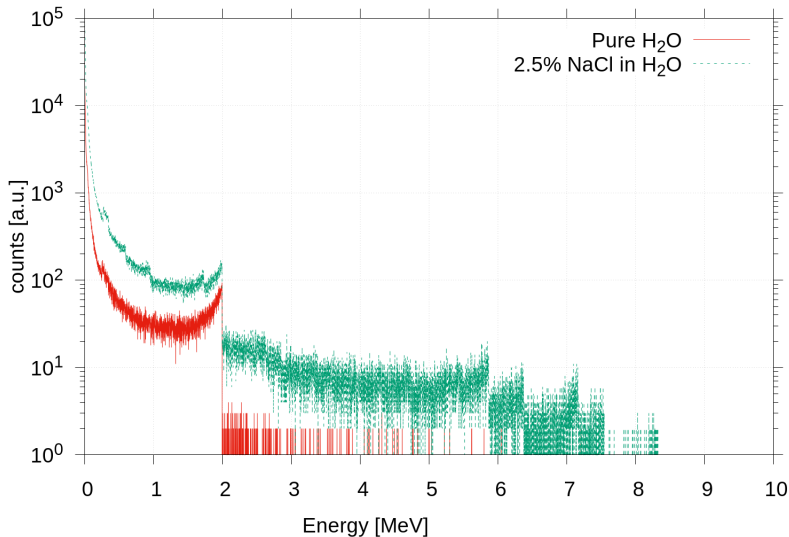
$\theta$  es el ángulo del fotón  $::: E_{elec} = E_{\gamma} - E_{\gamma'}$

Energía máx. electrón  $\rightarrow \theta = \pi$

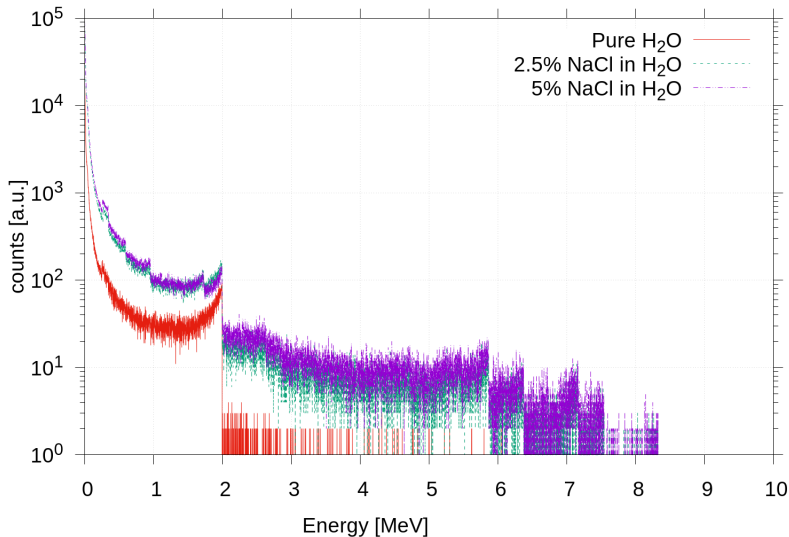
$$E_{elec}^{max} = E_{\gamma} \left( 1 - \frac{1}{2 \left( 1 + \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2} \right)} \right) \quad (\text{pista } \sim 1994 \text{ keV})$$



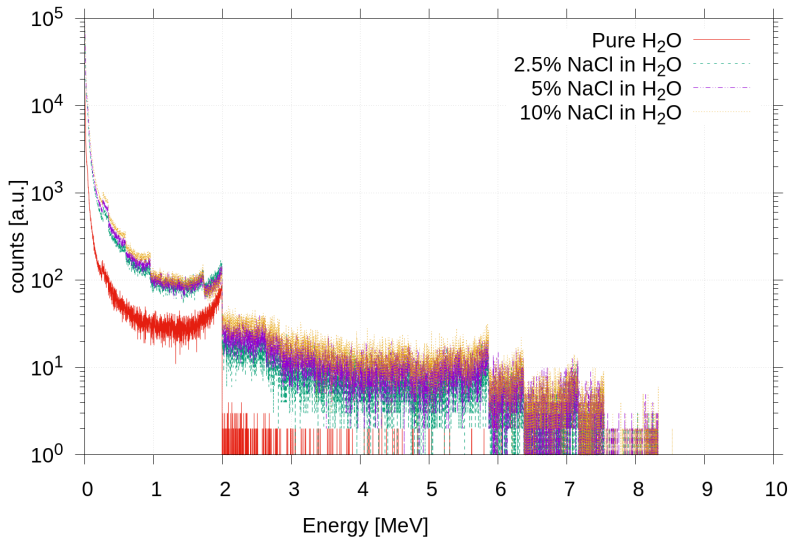
# Resultado de simulaciones → producción de electrones



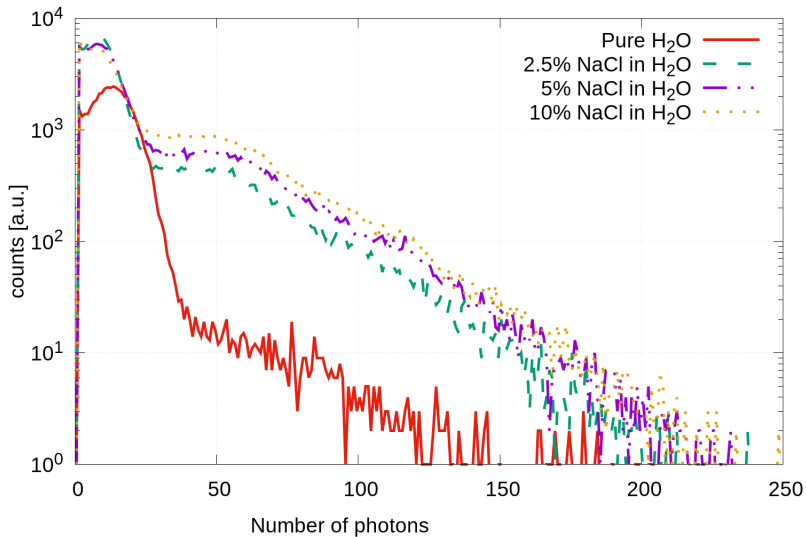
# Resultado de simulaciones → producción de electrones



# Resultado de simulaciones → producción de electrones



# Resultado de simulaciones → producción de fotones Cherenkov



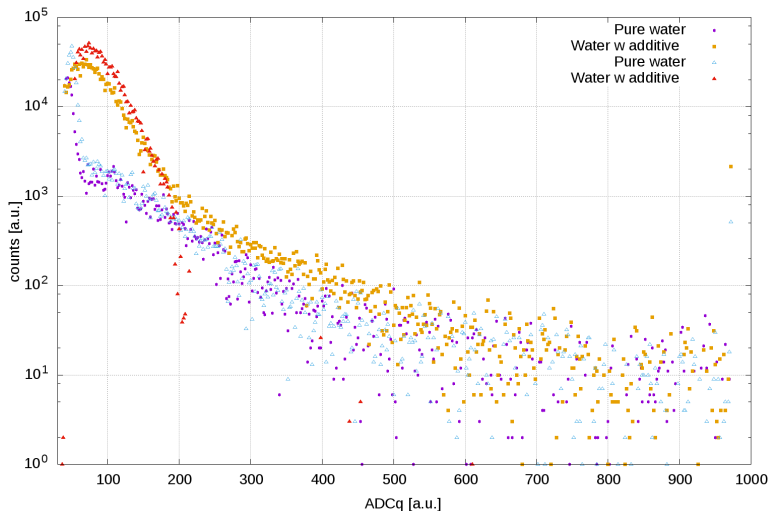
# Experimental set up @ CAB with Cf neutron source



Small det.	Big det.
$h = 62 \text{ cm}$	133 cm
$\varnothing = 96 \text{ cm}$	96 cm
$V = 500 \text{ l.}$	1000 l.

# Resultado experimental usando NaCl como dopante

Histograma de carga usando una fuente de Cf (restando el fondo de radiación)



**Enhancing neutron detection capabilities of a water Cherenkov detector.**

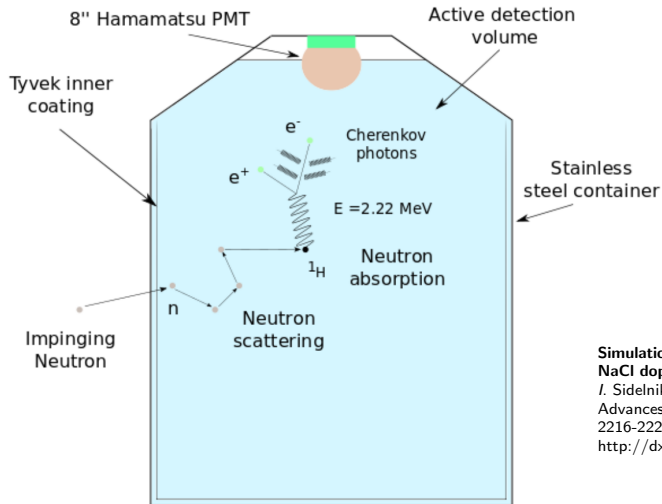
*I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarin, et al.*

NIM A 955 (2020)163172 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2019.163172>



# ¿Qué pasa para neutrones de muy alta energía?

Neutrones de 500 MeV



**Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.**

*I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarin, et al.*

*Advances in Space Research 65 (2020)*

*2216-2222*

<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

# ¿Qué pasa para neutrones de muy alta energía?

Distancia en la que el neutrón es capturado dentro del agua con NaCl

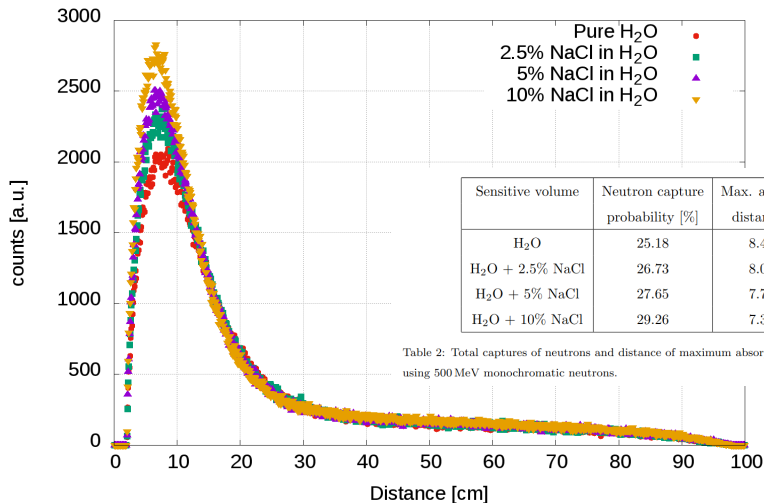


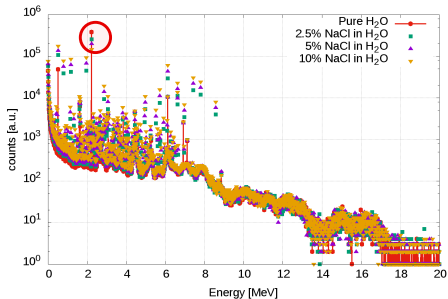
Table 2: Total captures of neutrons and distance of maximum absorptions from simulations, using 500 MeV monochromatic neutrons.

Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.

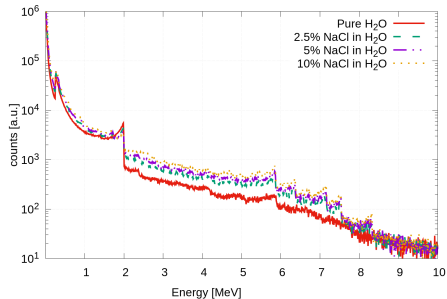
I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.

Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

# Resultado simulaciones → producción de gammas y electrones dentro del detector



Distribución de energía de  $\gamma$ .



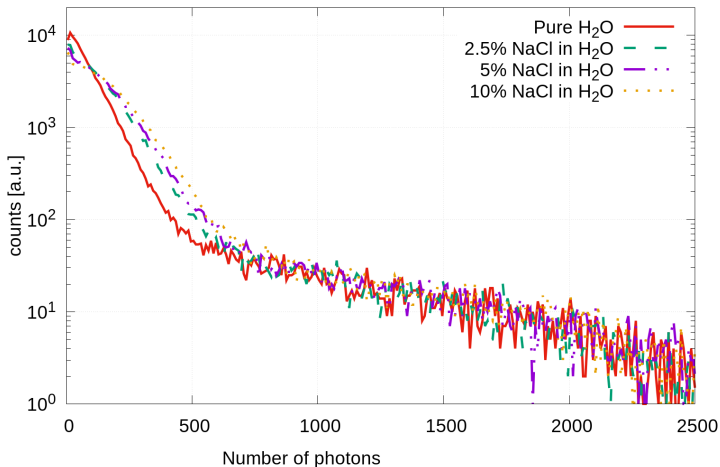
Distribución de energía de electrones.

**Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.**

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.

Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>

# Resultado de simulaciones → producción de fotones Cherenkov



Simulation of 500 MeV neutrons by using NaCl doped Water Cherenkov detector.

I. Sidelnik, H. Asorey, N. Guarín, et al.

Advances in Space Research 65 (2020) 2216-2222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.024>


# Algunas conclusiones, un poco para pensar... y futuro

## Concs

- Demostramos que se puede distinguir neutrones respecto al fondo de radiación con un WCD.
- Aditivos no contaminantes agregados al agua pura mejoran la eficiencia (NaCl).
- Rango dinámico muy amplio, capacidad de detección en gran parte del espectro.
- Entendemos por que pasa lo que pasa (mecanismos físicos, factibilidad tecnológica).

## Futuro

- ¿Aumentar concentración NaCl? Comparar con otros dopantes ( $GdCl_3$ ).
- Experimentos observando la variación de humedad en el suelo *in situ*
- Discriminación de partículas (ML, diferentes algoritmos, features, etc.)
- ¿Un WCD portátil? (electrónica, análisis *on the fly*, otros sensores, paneles solares...)  $\implies$  LAGOEdge <sup>®</sup>



¡Gracias!  
¿Preguntas?  
¿Comentarios?  
¿Sugerencias?  
¿Quejas?