

# Water Cherenkov Detectors

Hernán Asorey

Comisión Nacional de Energía Atómica



Latin American alliance for  
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el  
programa Erasmus+  
de la Unión Europea





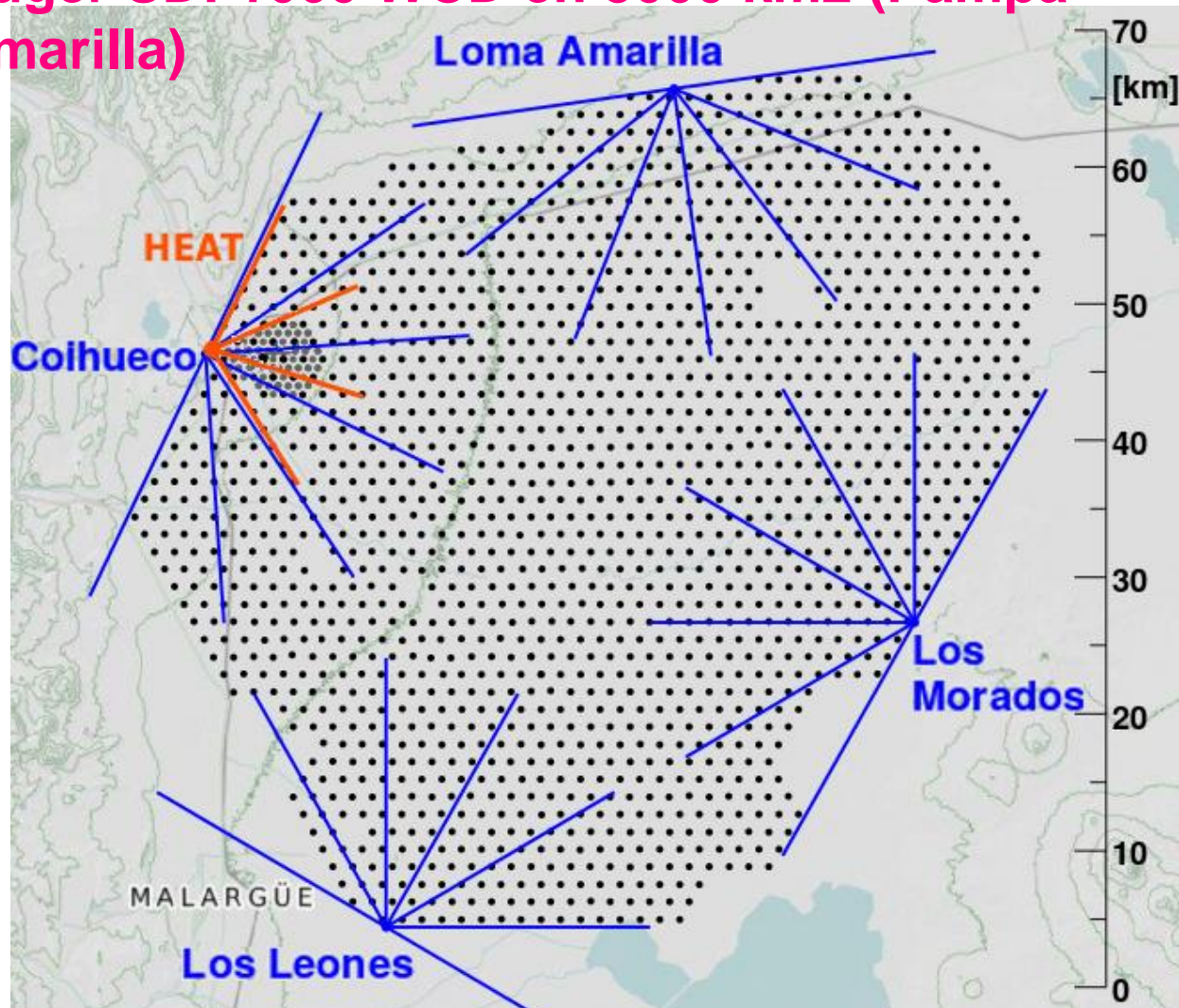
# Water Cherenkov Detectors





# Water Cherenkov Detectors Arrays: Auger and LAGO

**Auger SD: 1660 WCD en 3000 km<sup>2</sup> (Pampa Amarilla)**

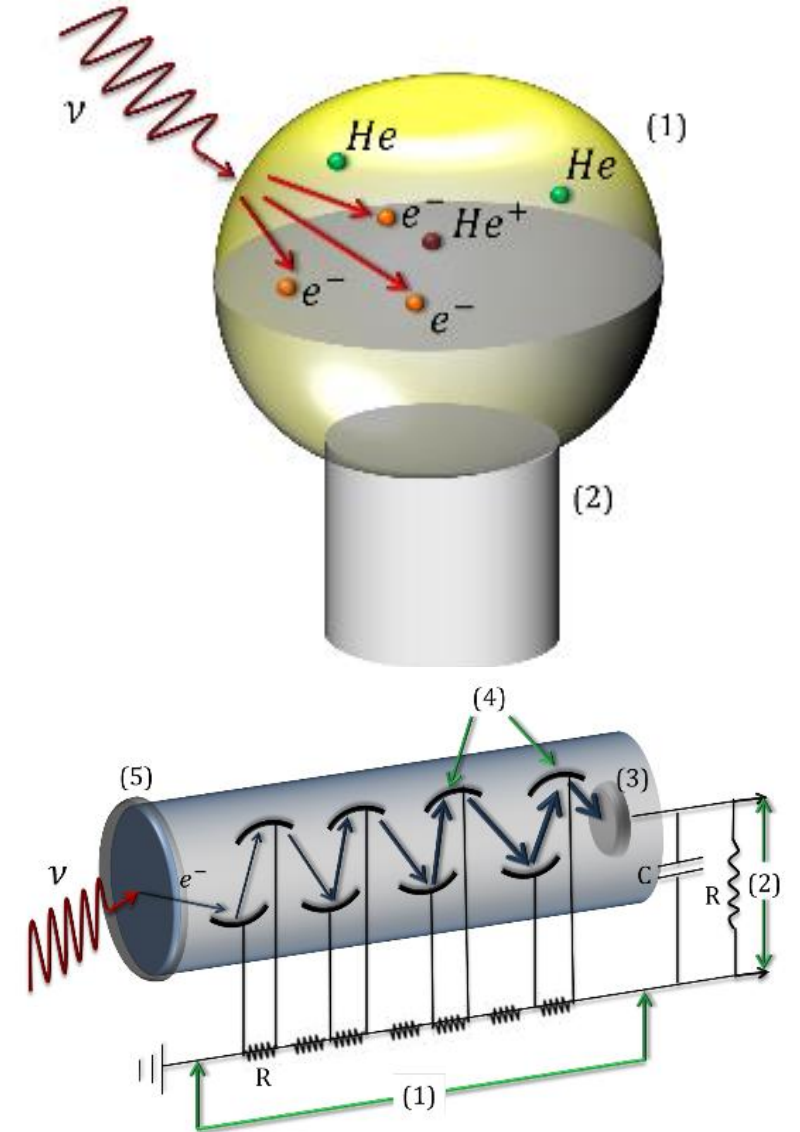
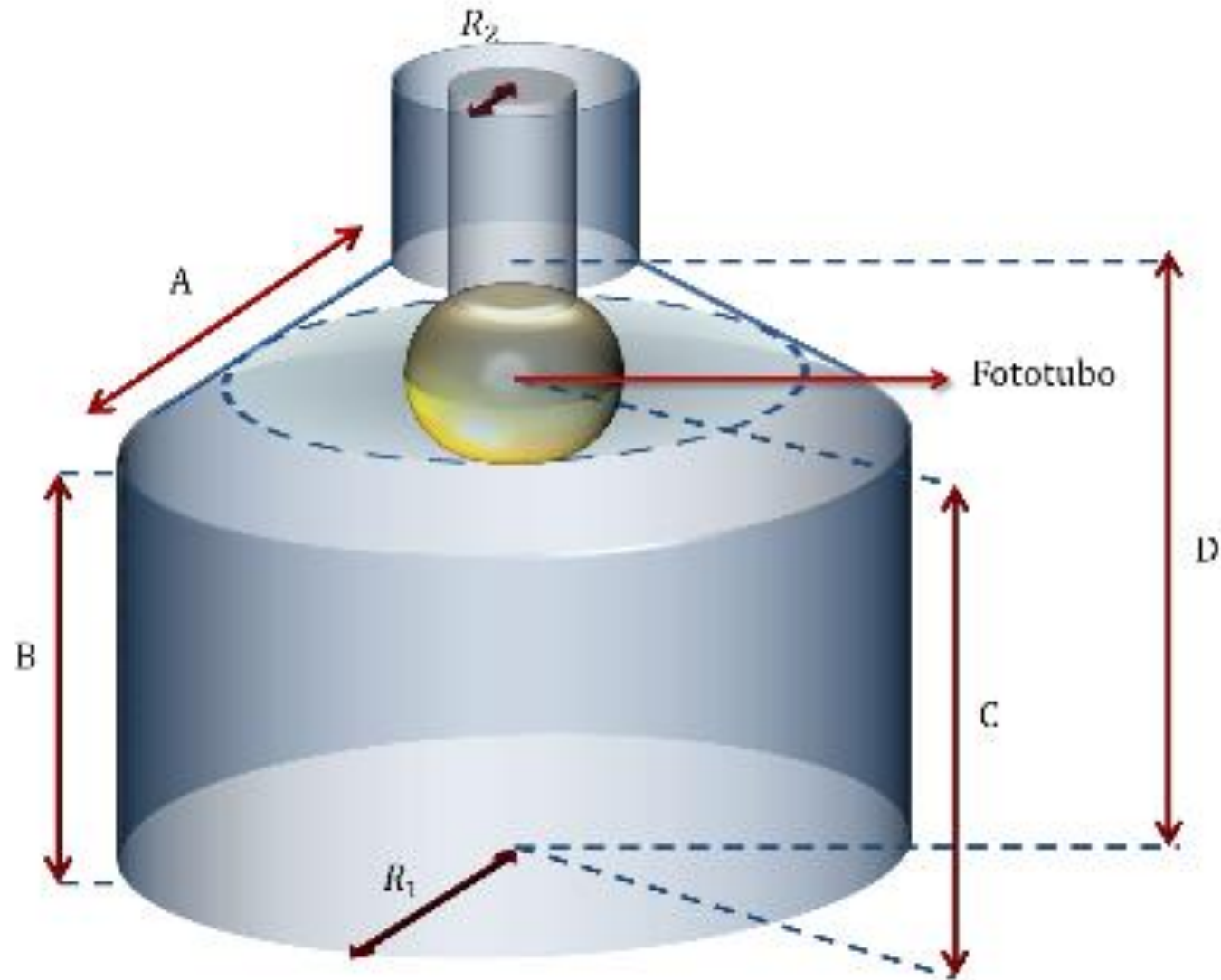


**LAGO: Single WCD at more than 30 sites**



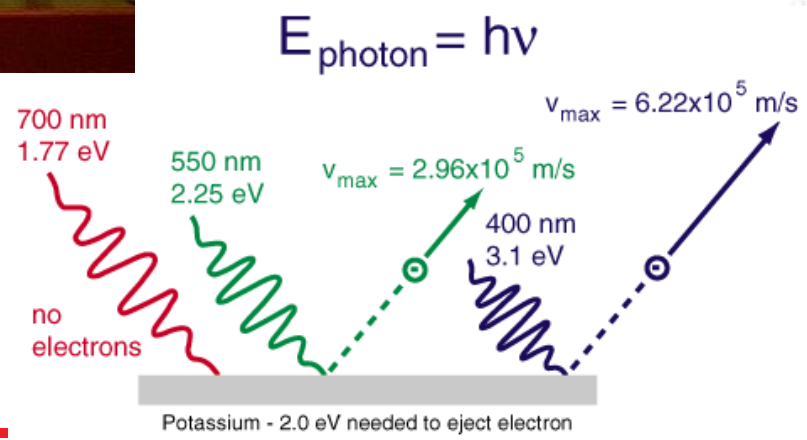
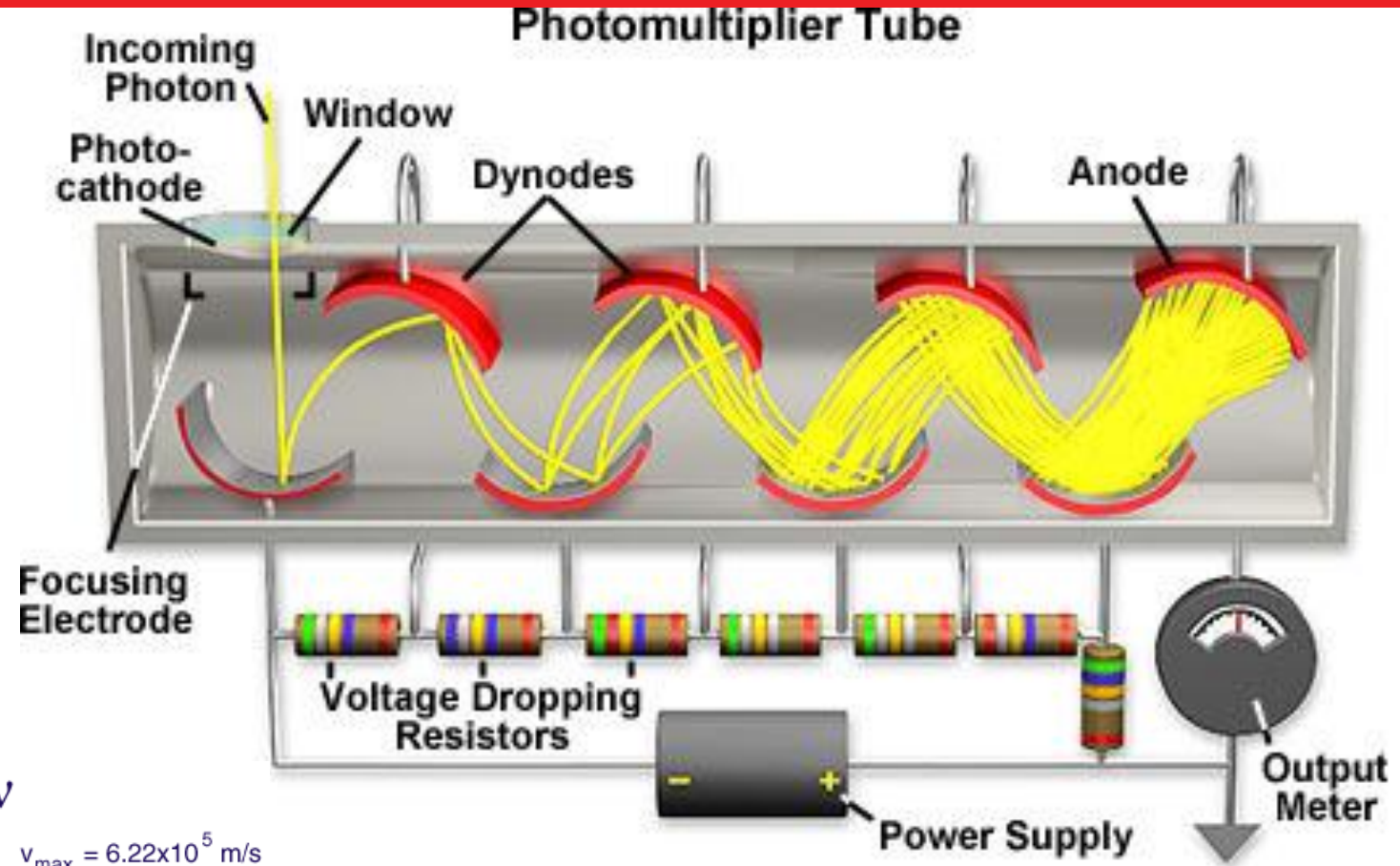


# Water Cherenkov Detectors, modelo





# Water Cherenkov Detectors, modelo



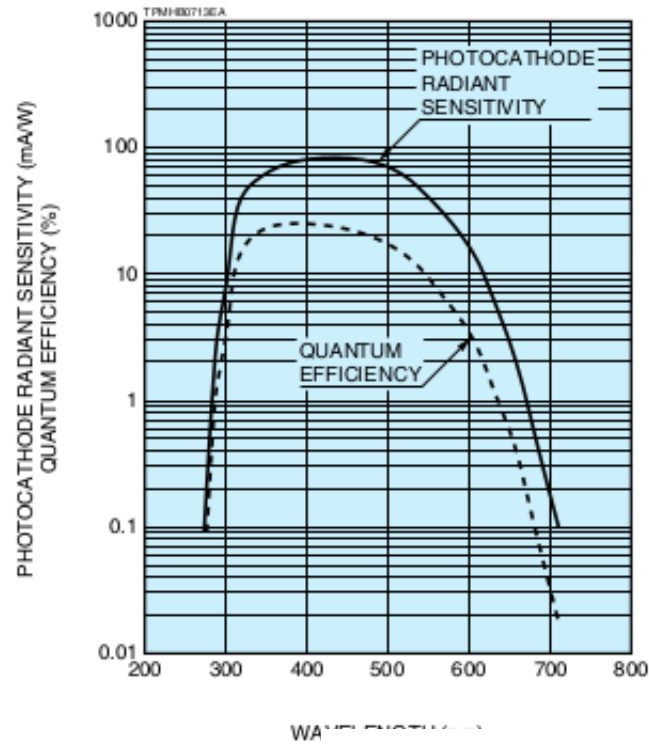
## Photoelectric effect



# Water Cherenkov Detectors

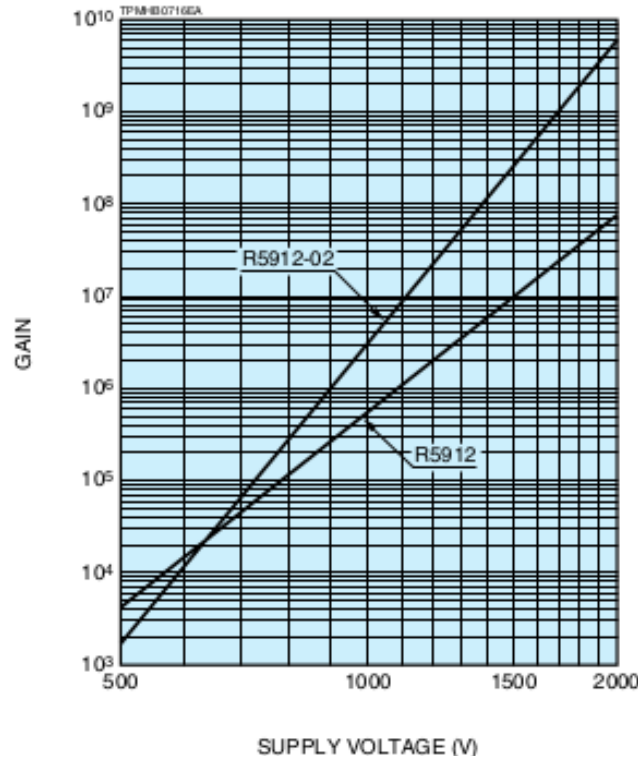
## SPECTRAL RESPONSE CH

- R5912, R5912-02
- R7081, R7081-20



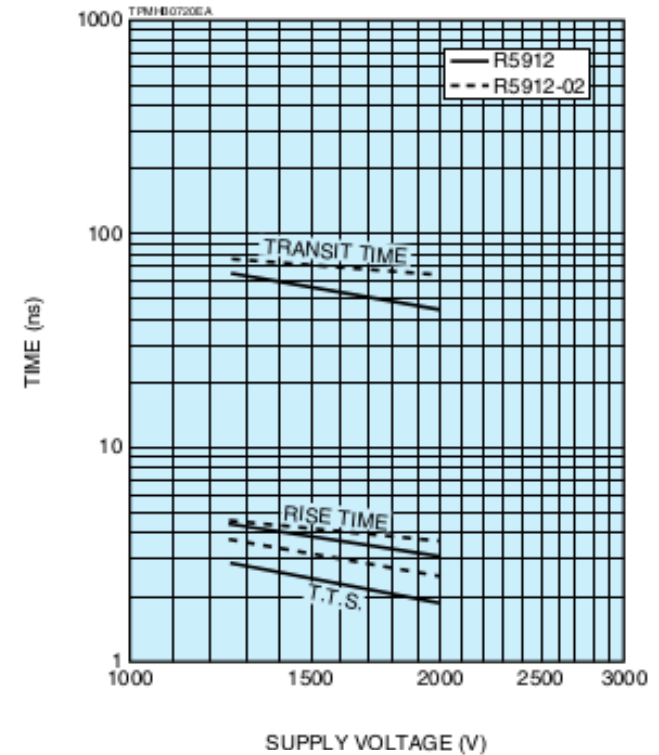
## GAIN

- R5912, R5912-02



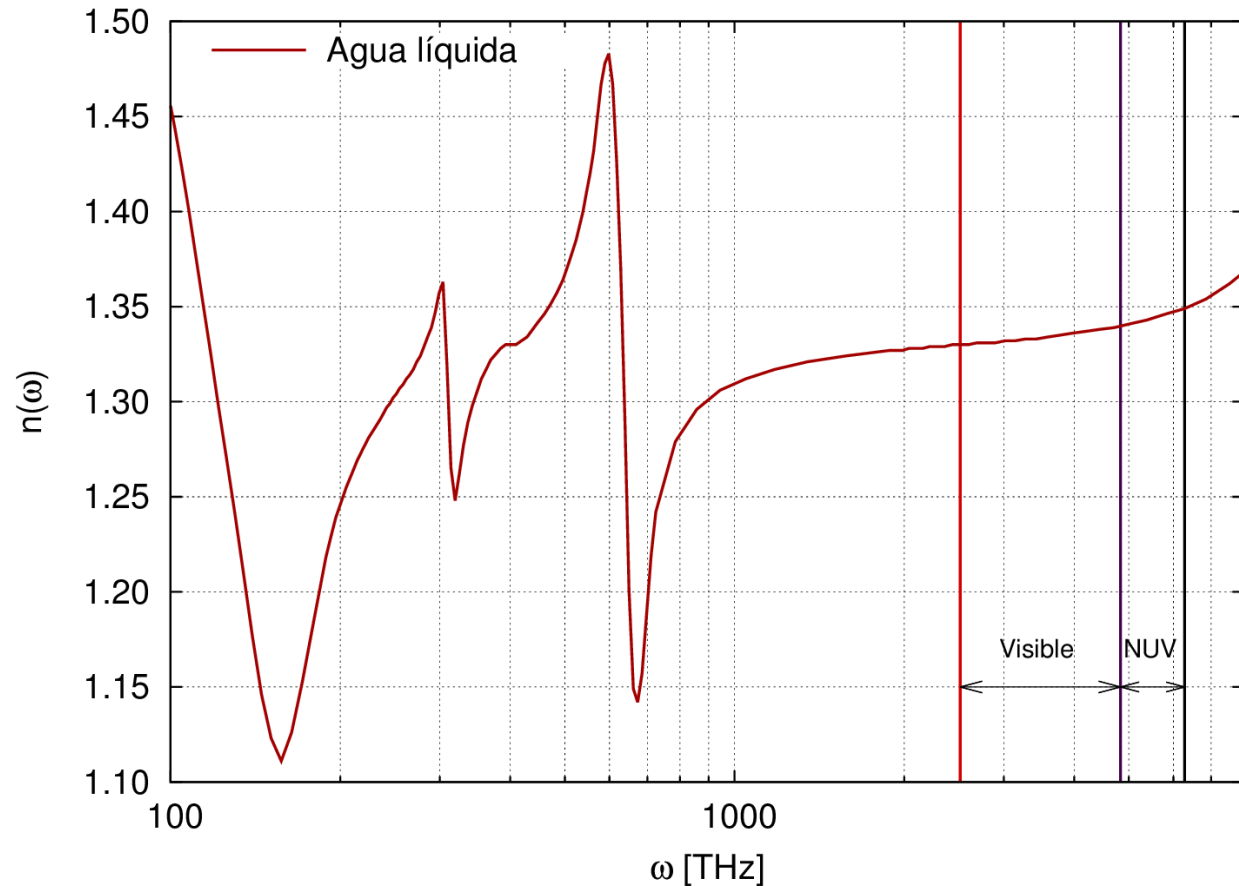
## TYPICAL TIME RESPONSE

- R5912, R5912-02



## SPECIFICATIONS

Type No.	Diameter (mm) / (inch)	Minimum Effective Area (mm)	Surface Area		Dynode		Weight (g)
			Min. (cm <sup>2</sup> )	Typ. (cm <sup>2</sup> )	Structure	Number of Stages	
R5912	202 / 8	φ190	330	380	Box & Line	10	approx. 1100
R5912-02	202 / 8	φ190	330	380	Box & Line	14	approx. 1100

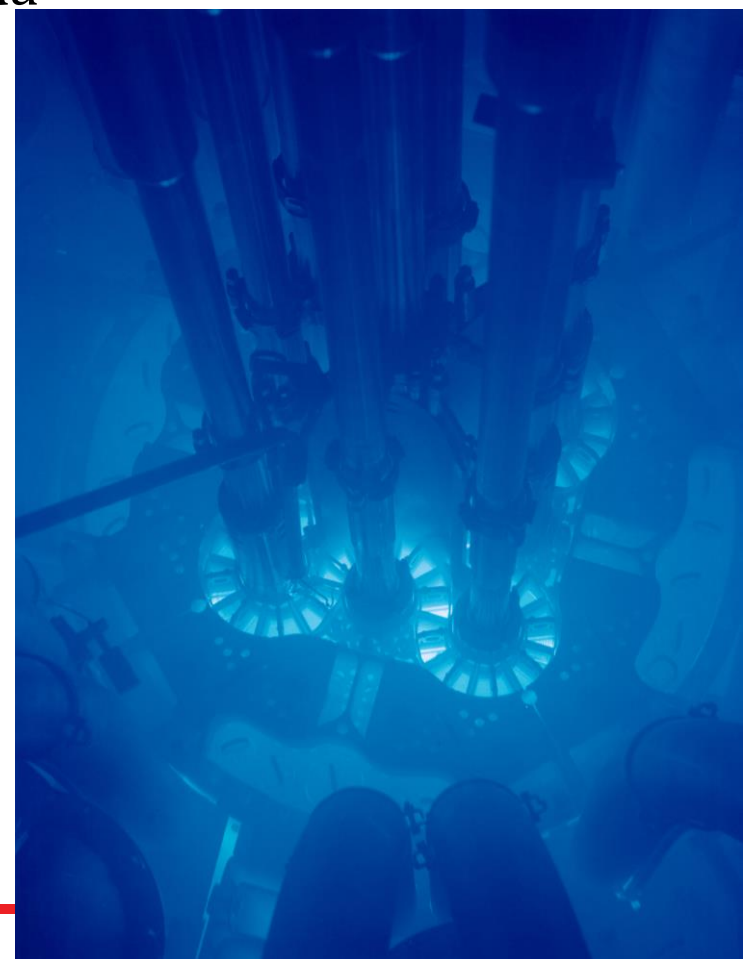
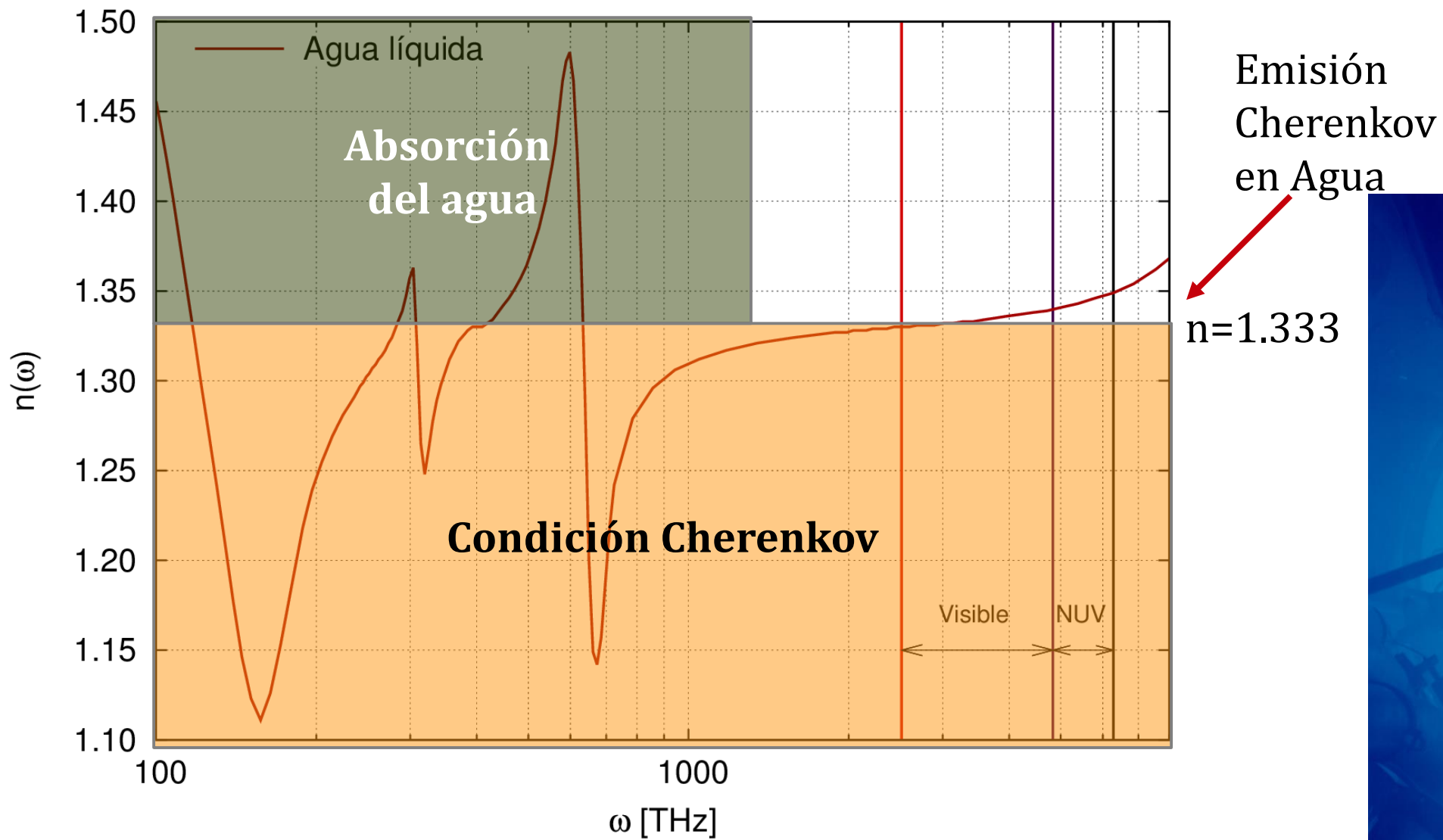


- Es barata, abundante y está distribuida universalmente
- A temperatura ambiente, es líquida. Bajo ciertas condiciones, se puede obtener hielo transparente
- No es tóxica
- Es densa  $\rightarrow$  alta transferencia de energía
- $n > 1.3$  en un amplio rango de longitudes de onda
- Tiene ventanas aprovechables para su aplicación como detector Cherenkov
  - Alta emisividad y baja absorvancia en el visible y UV cercano
  - Fácil detección





# Cherenkov en Agua



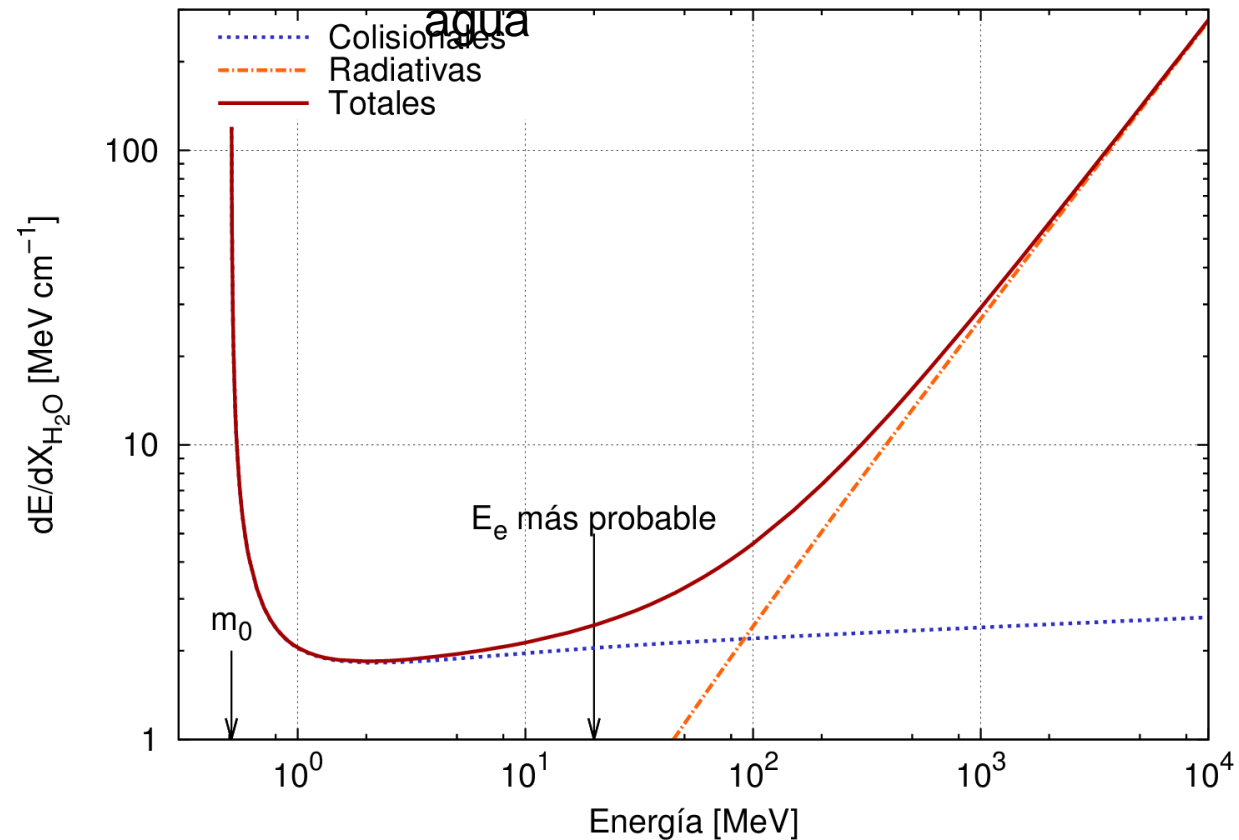




# Poder de frenado en agua

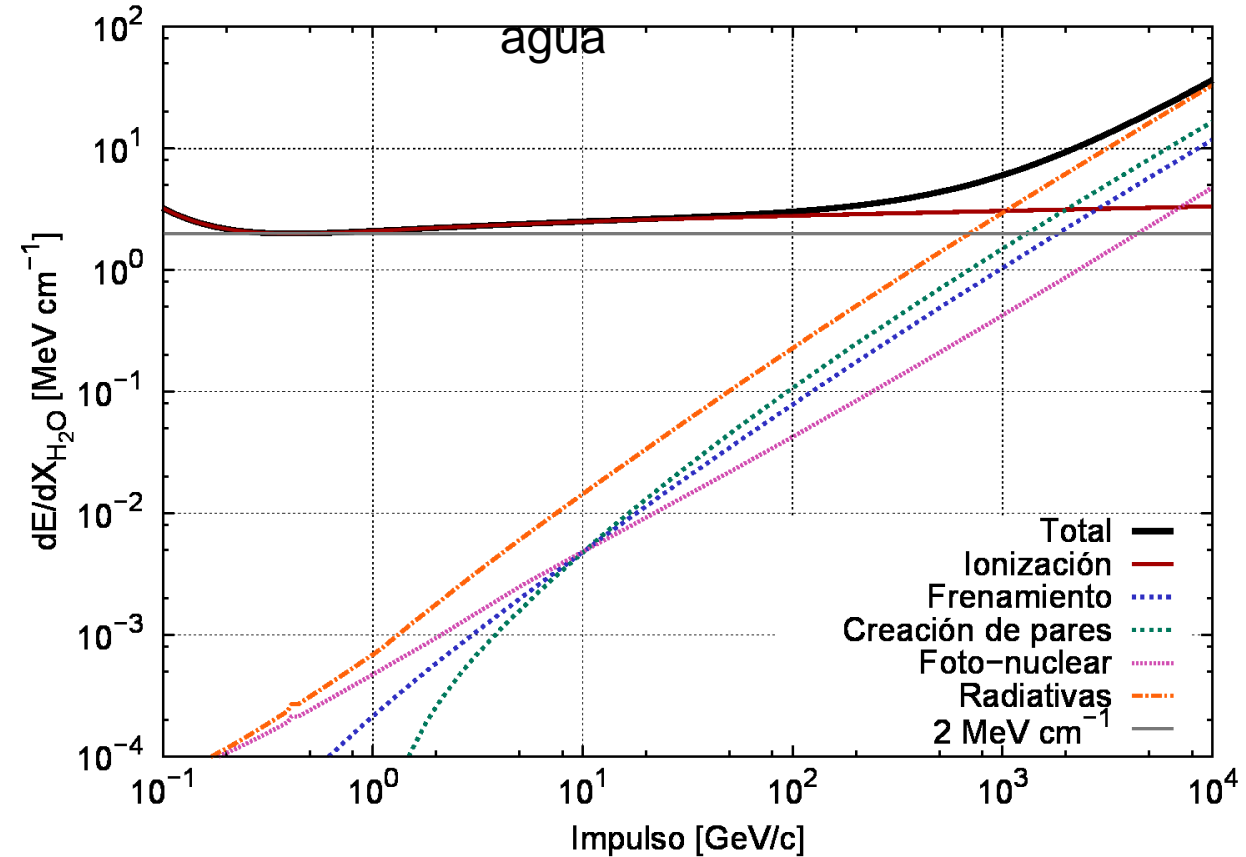
## Electrones en

agua



## Muones en

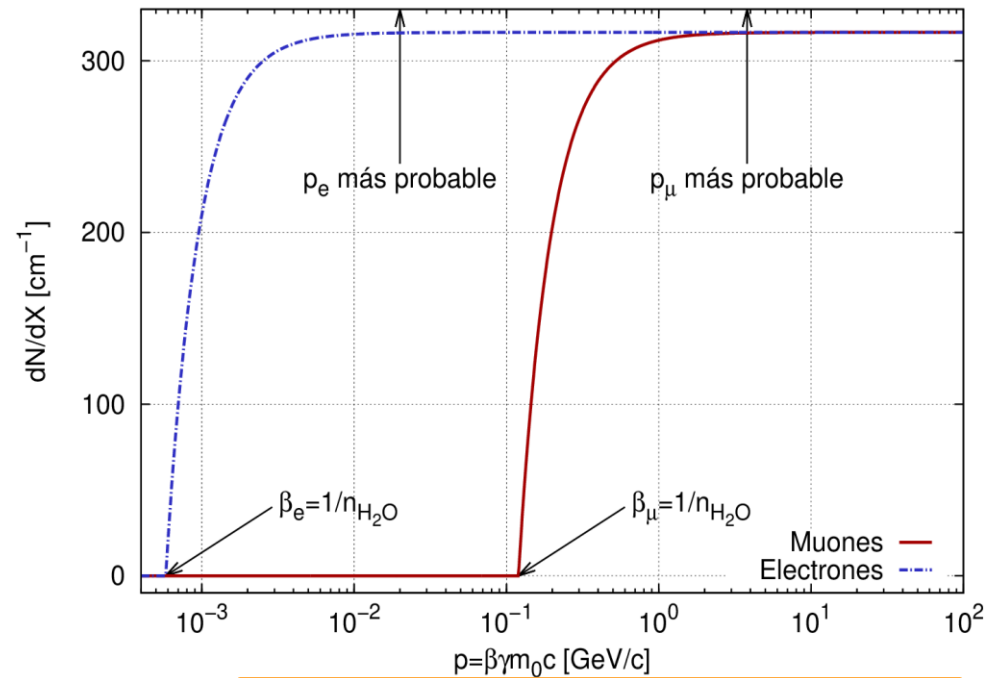
agua



La fracción de pérdida de muones es relativamente pequeña respecto a su energía



# La señal Cherenkov

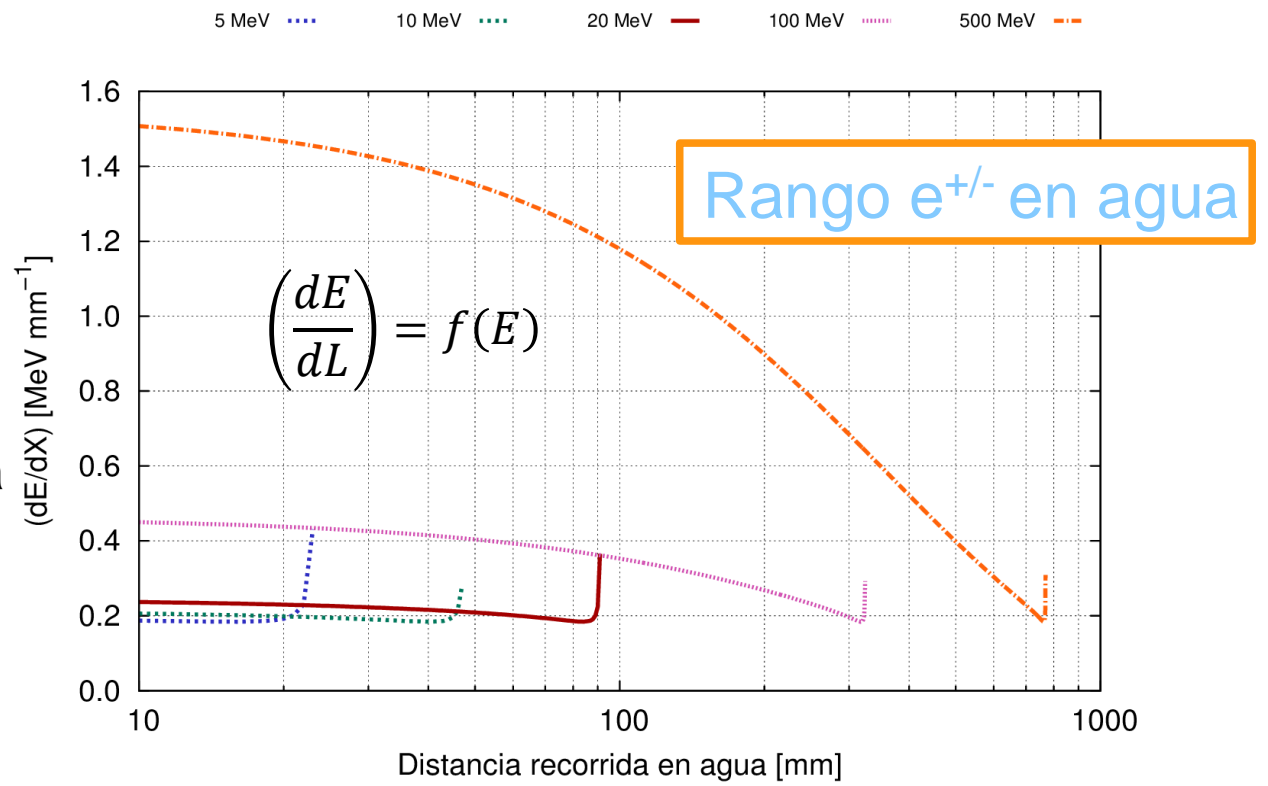


Producción Cherenkov

- La **señal electrónica** será proporcional a la energía
- La **señal muónica** depende de la distancia recorrida
- **Fotones** de alta energía → producción de pares, fotoeléctrico, **Compton**

$$\left(\frac{dE}{dl}\right) = \left(\frac{Ze}{c}\right)^2 \int \omega \left(1 - \frac{1}{\beta^2 \epsilon(\omega)}\right) d\omega$$

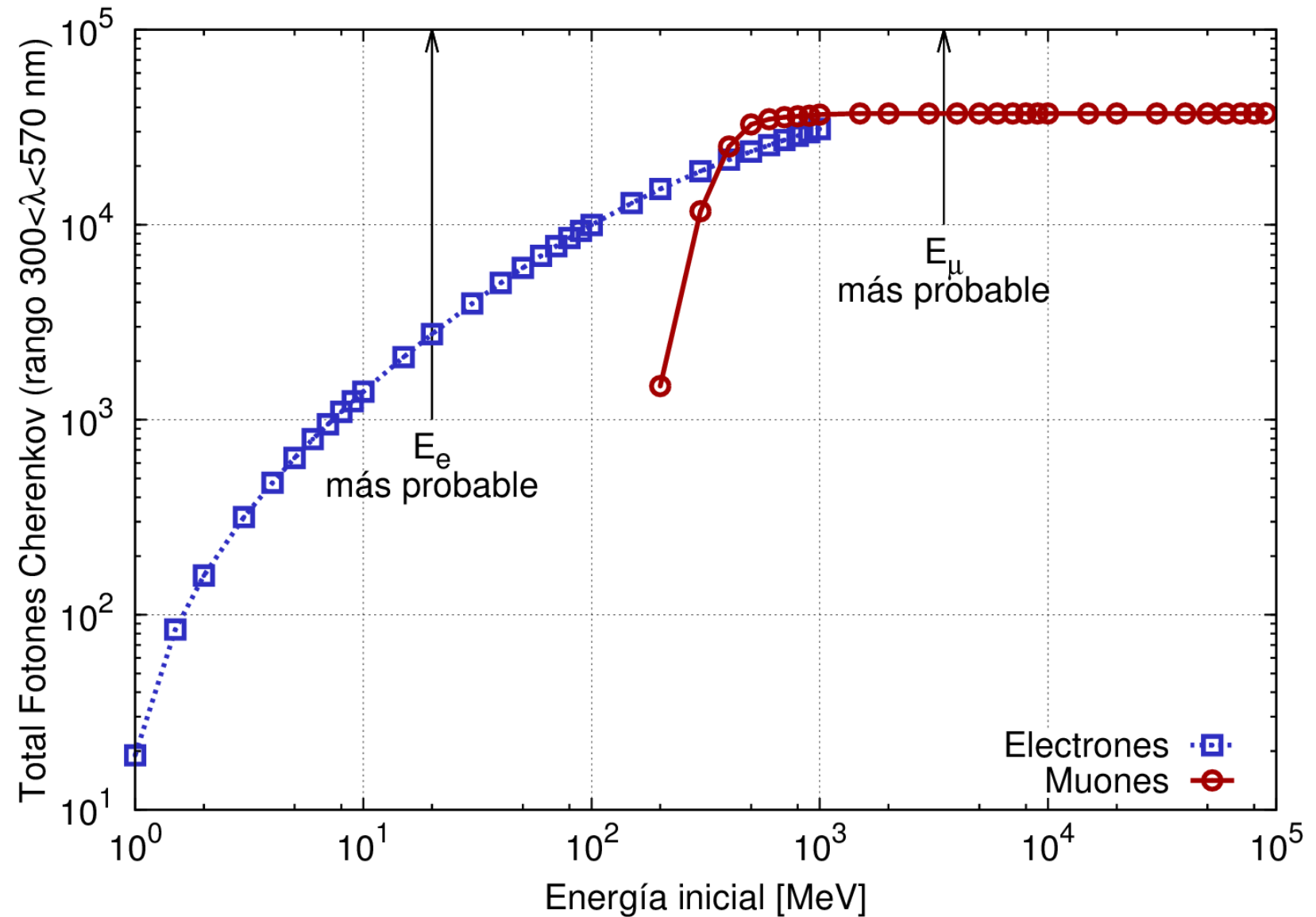
$$\frac{\Delta N}{\Delta L} = 2\pi\alpha_{EM} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2}\right) \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)$$

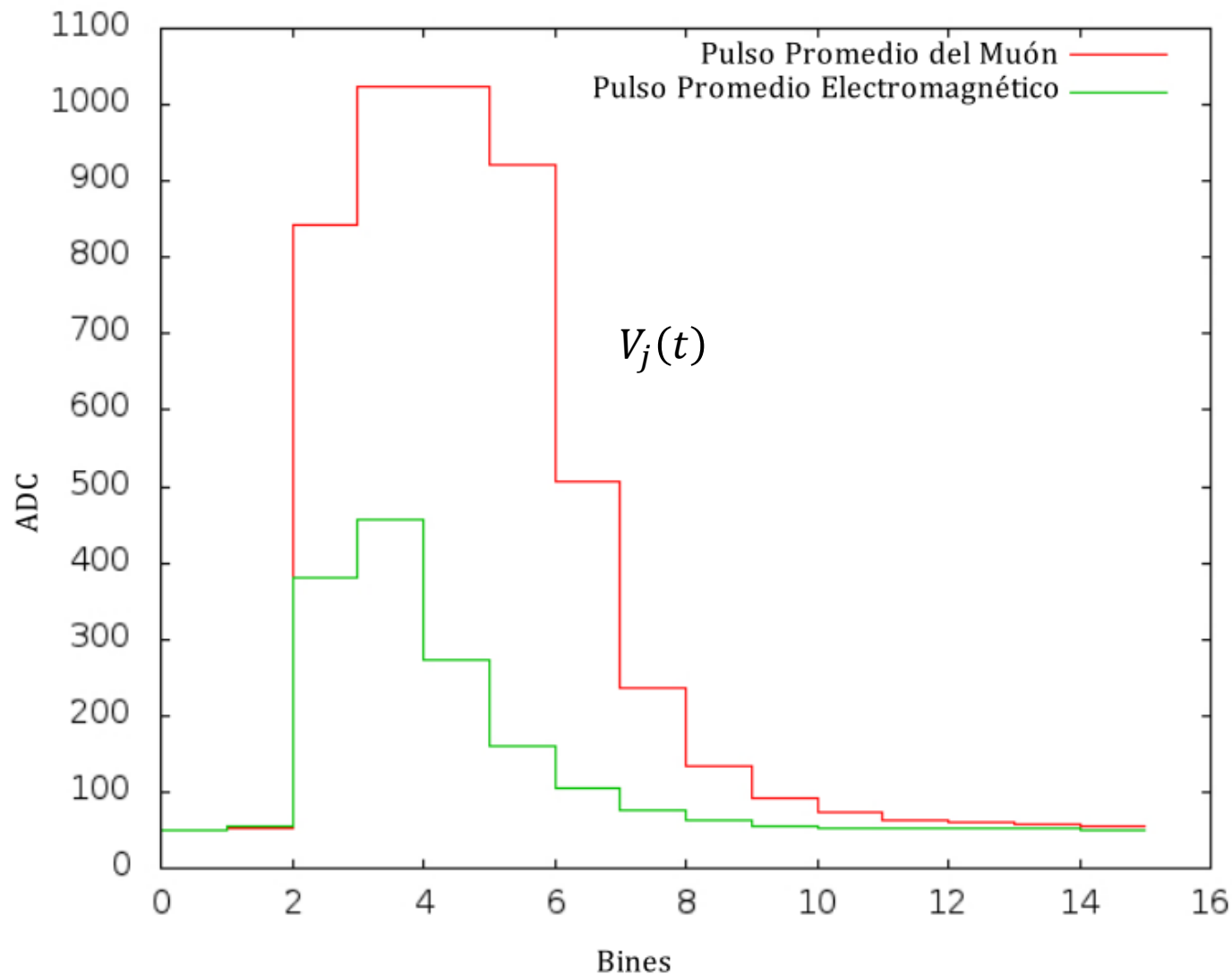




# La señal Cherenkov

- La **señal electrónica** será proporcional a la energía
  - La **señal muónica** depende de la distancia recorrida
  - **Fotones:**
    - Fotoeléctrico
    - producción de pares, fotoeléctrico
    - Compton
- => electrones**





- Pico (máximo)

$$P_j = \text{máx}[V_j(t) - 50]$$

- Área ← Energía depositada

$$A_j = \left( \int_0^{400\text{ns}} [V_j(t) - 50] dt \right) > 0$$

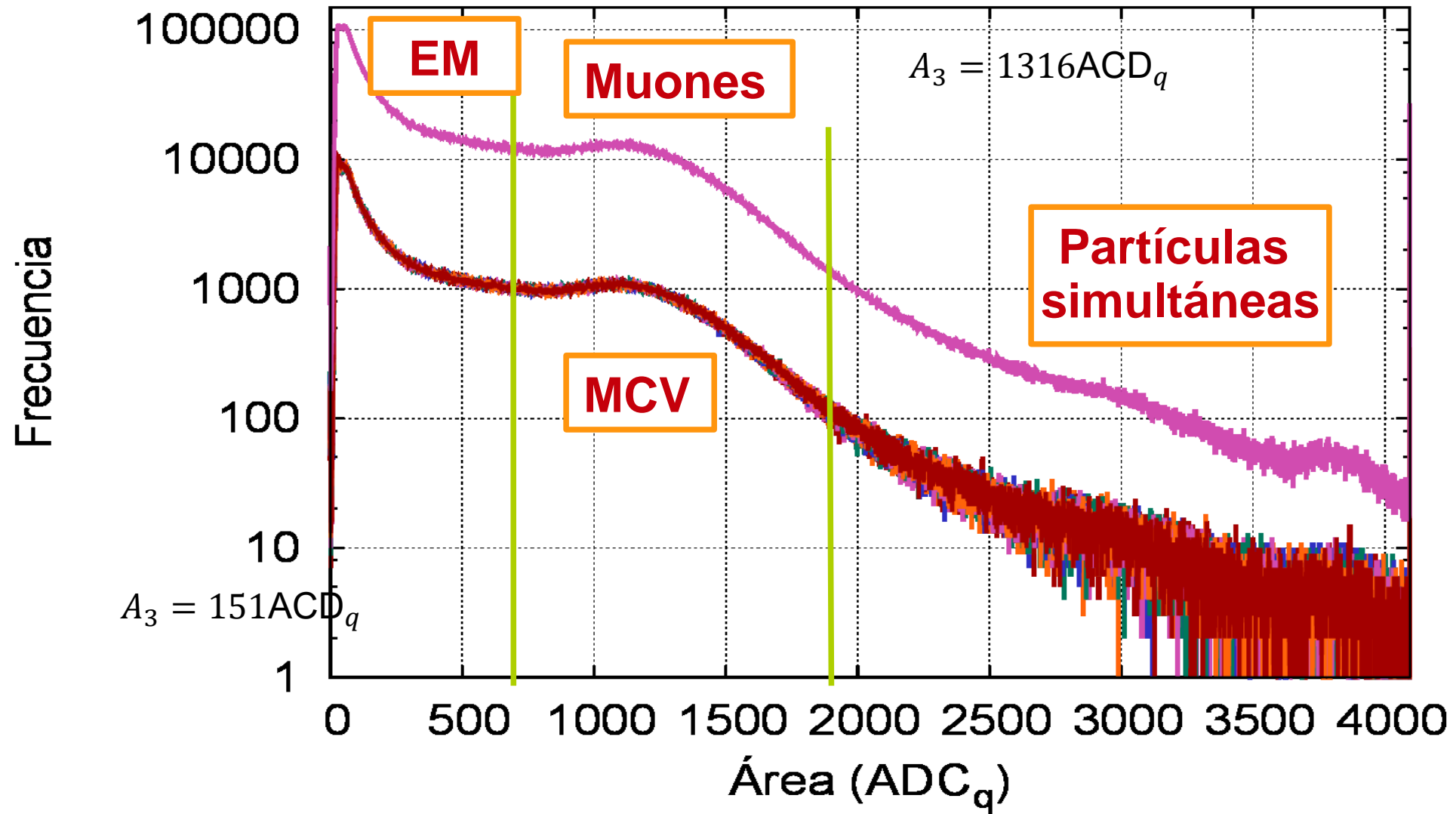
- Área sobre Pico

$$(A/P)_j = A_j/P_j$$



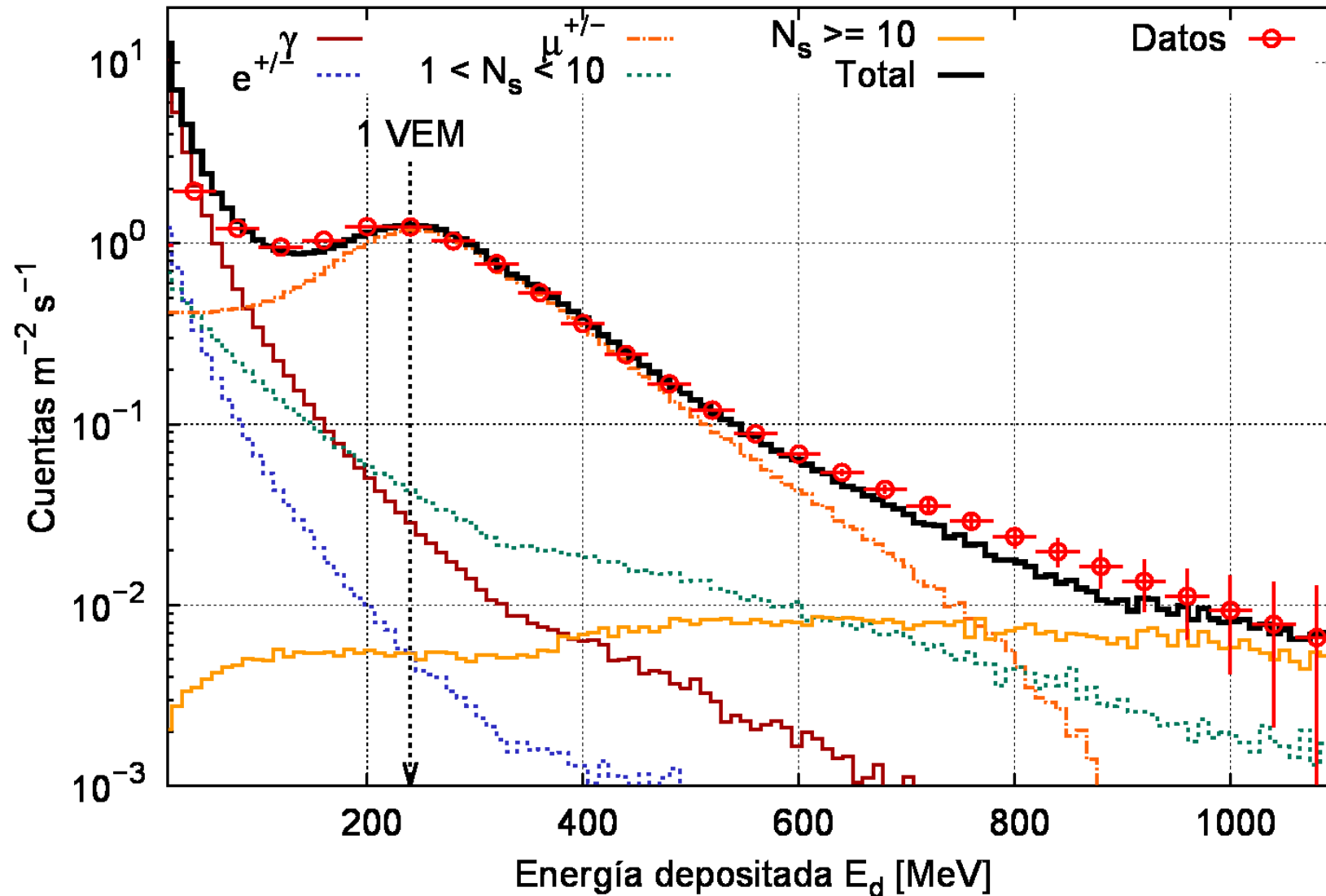


# El histograma de cargas



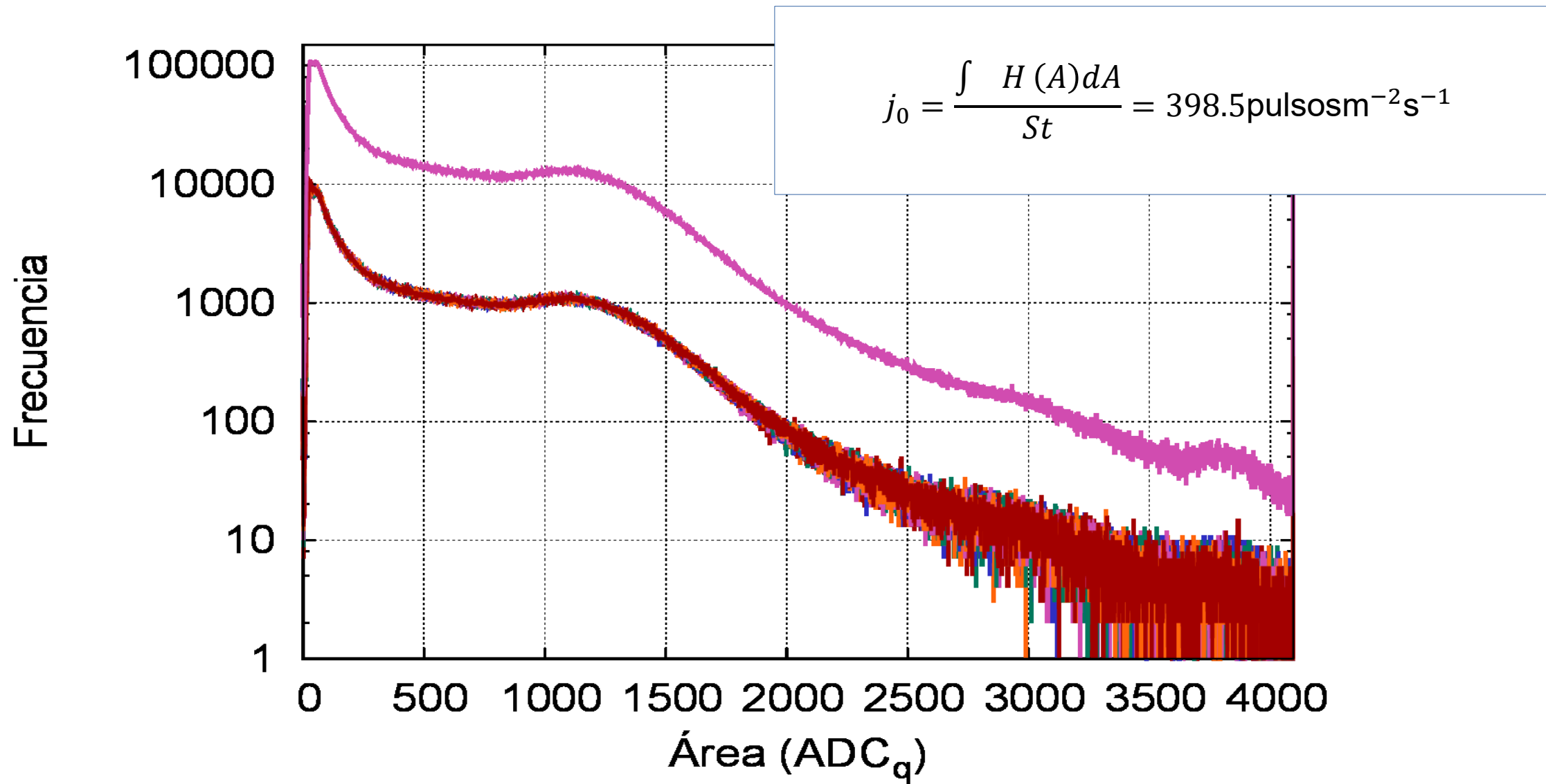


# Histograma simulado (CORSIKA+Geant4)





# Flujo integrado





- Poisson: sucesos independientes que ocurren a una tasa constante (flujo total de secundarios)

$$P(x, t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

- Distribución para el tiempo entre dos pulsos ( $\Delta t$ ): no tener pulsos en tiempo  $\Delta t$ , recibir el 1er pulso en  $\Delta t + dt$

$$P(\Delta t) \propto e^{-\lambda \Delta t}$$

Distribución  
Exponencial

- Propiedad: “falta de memoria” (memorylessness)

$$P(t > (l+m) | t > l) = P(t > m)$$

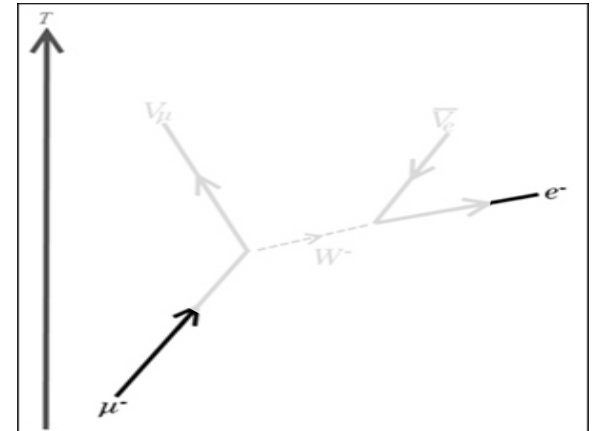




- Proceso electrodébil
- La vida del muón está “protegida” por la elevada masa de los mediadores W

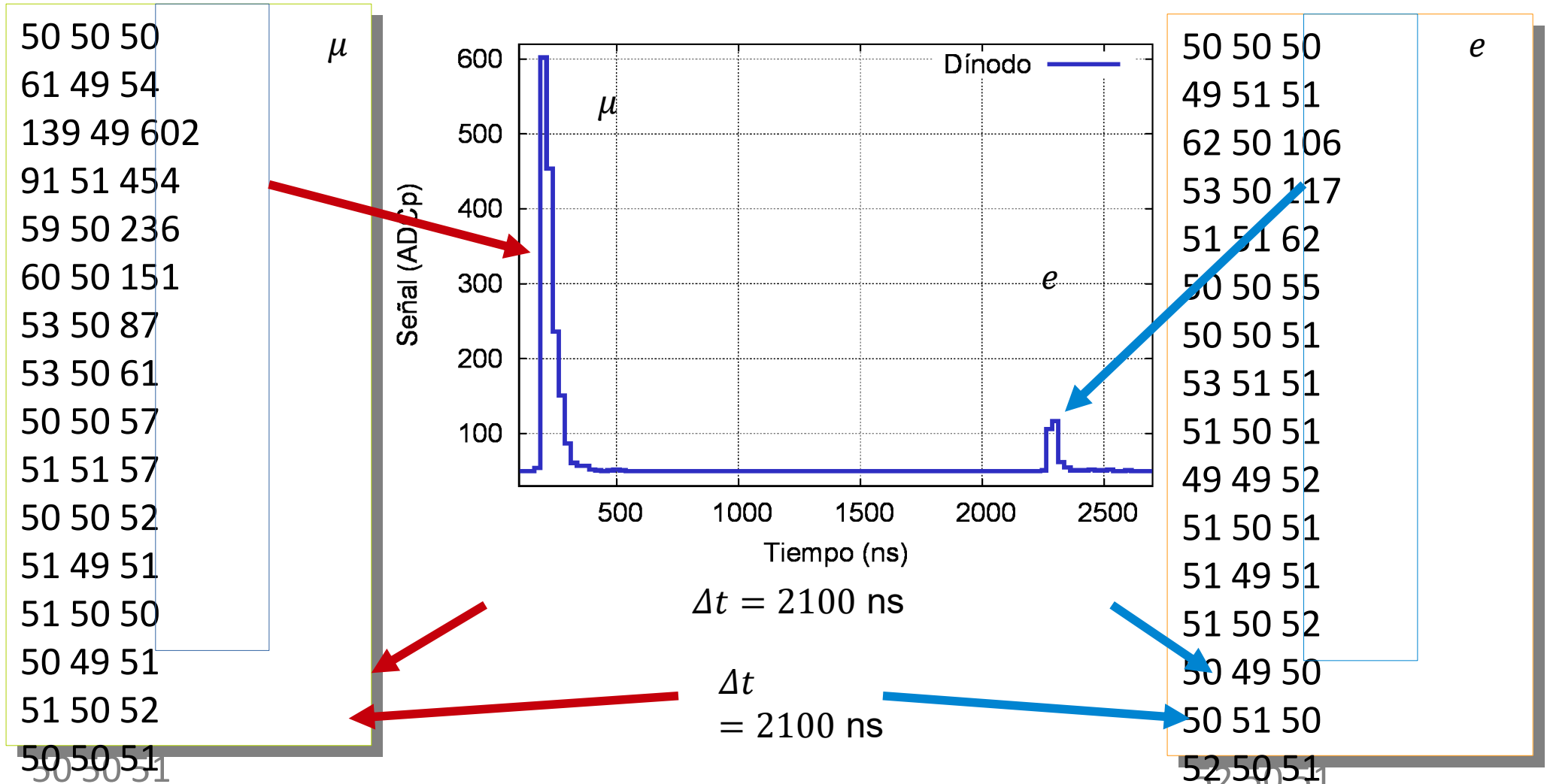
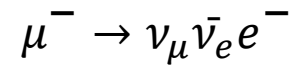
$$(\lambda_\mu)^{-1} \equiv \tau_\mu = (2197.03 \pm 0.04)\text{ns}$$

- Probabilidad baja de observar el decaimiento de un muón de alta energía
- Sin embargo, si  $E_\mu < \sim 500 \text{ MeV} \rightarrow$  Se detiene en el interior del detector
- Pulso del muón  $\rightarrow$  (Decaimiento)  $\rightarrow$  Pulso del electrón





# En los datos...



#t 4 30008562

#c 663486982

#t 4 30008646

#c 663486982



# Diferencia de tiempo entre dos pulsos sucesivos

- Calculamos el  $\Delta t$  entre pulsos sucesivos
- La distribución de  $\Delta t$  es un muestreo de las distribuciones de los procesos en el interior:
- Flujo de secundarios

$$(\lambda_{\text{fondo}})^{-1} \equiv \tau_{\text{fondo}} \simeq 2.5\text{ms} = 2.5 \times 10^3 \mu\text{s}$$

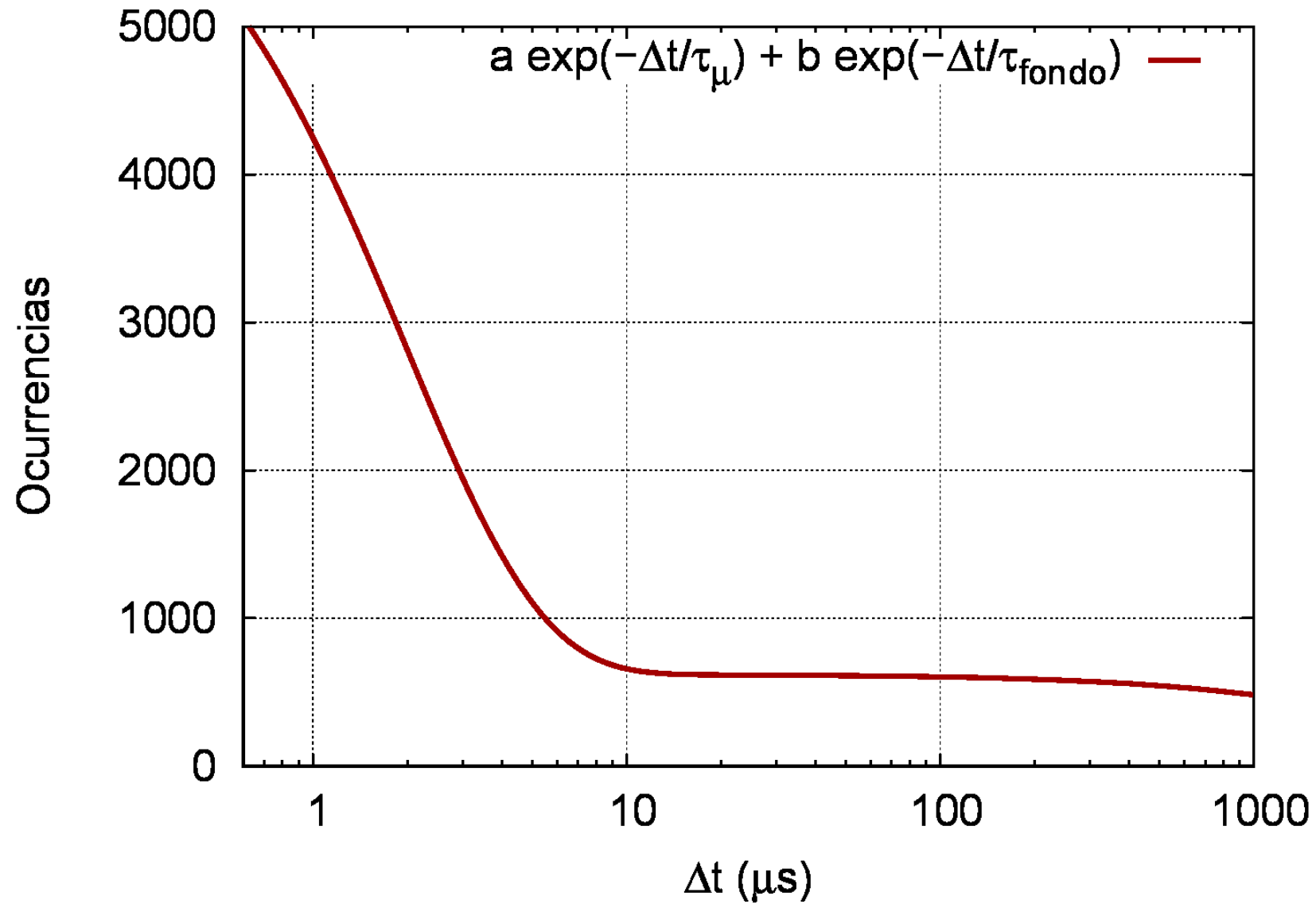
- Decaimiento de los muones en el interior del detector

$$(\lambda_{\mu})^{-1} \equiv \tau_{\mu} \simeq 2.2\mu\text{s}$$

- Tiempos característicos muy diferentes



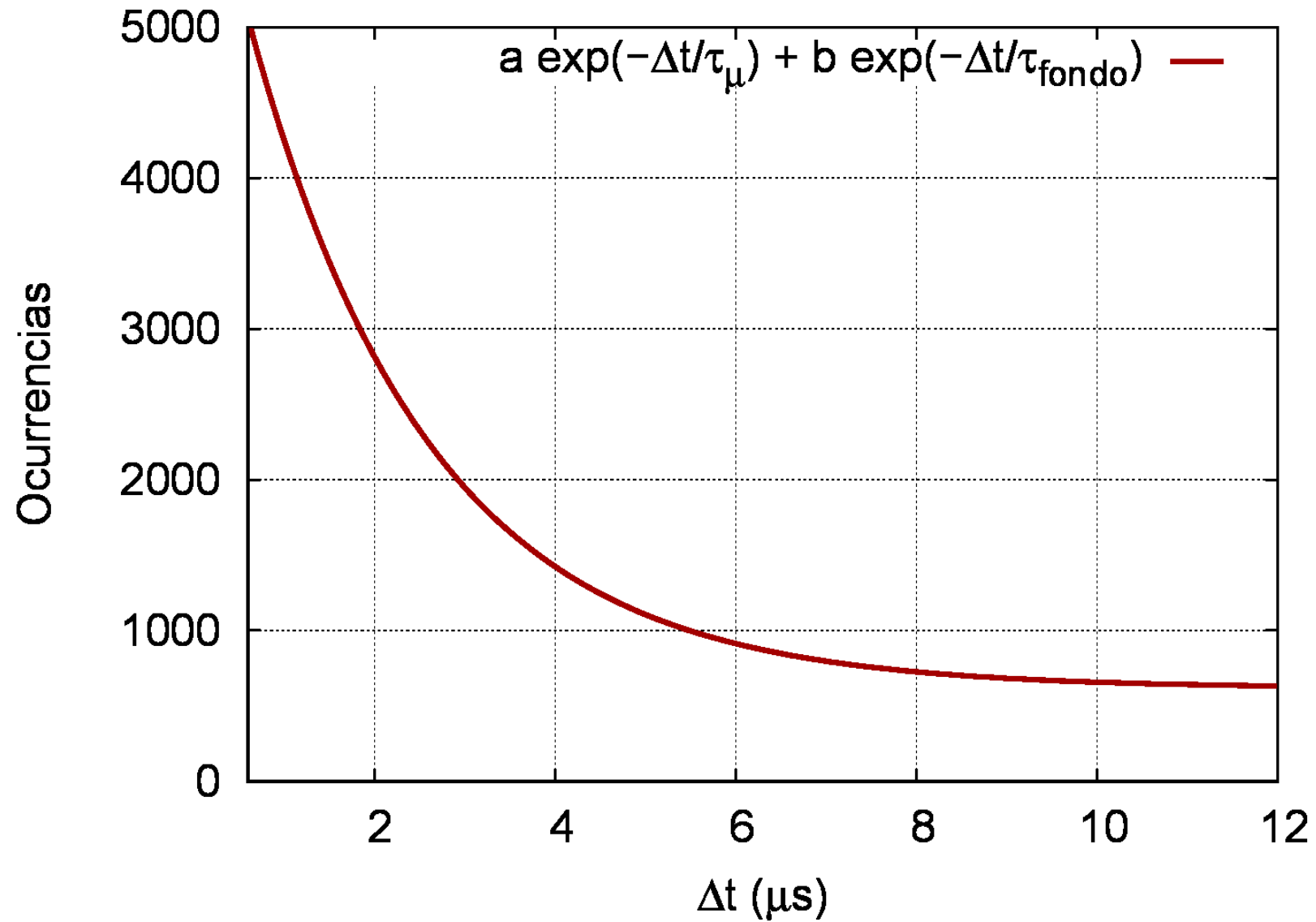
# Suma de exponenciales

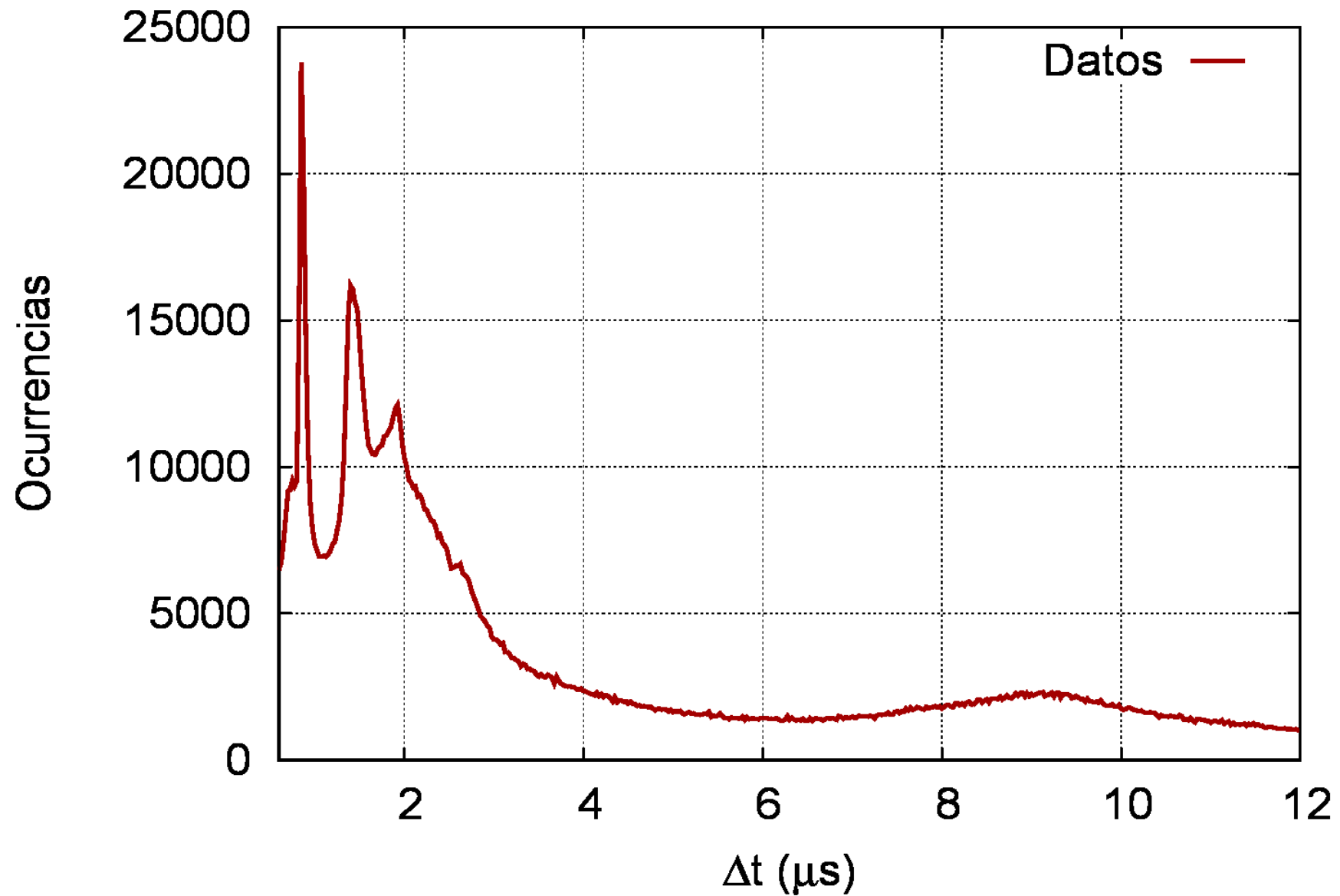






# Nos concentramos en $\Delta t \sim \tau_\mu$

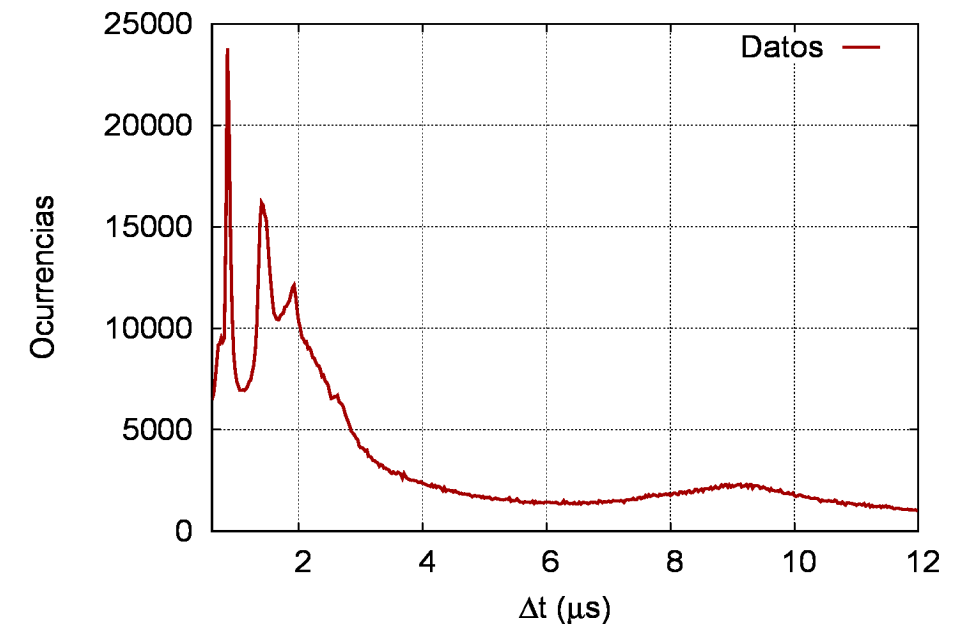






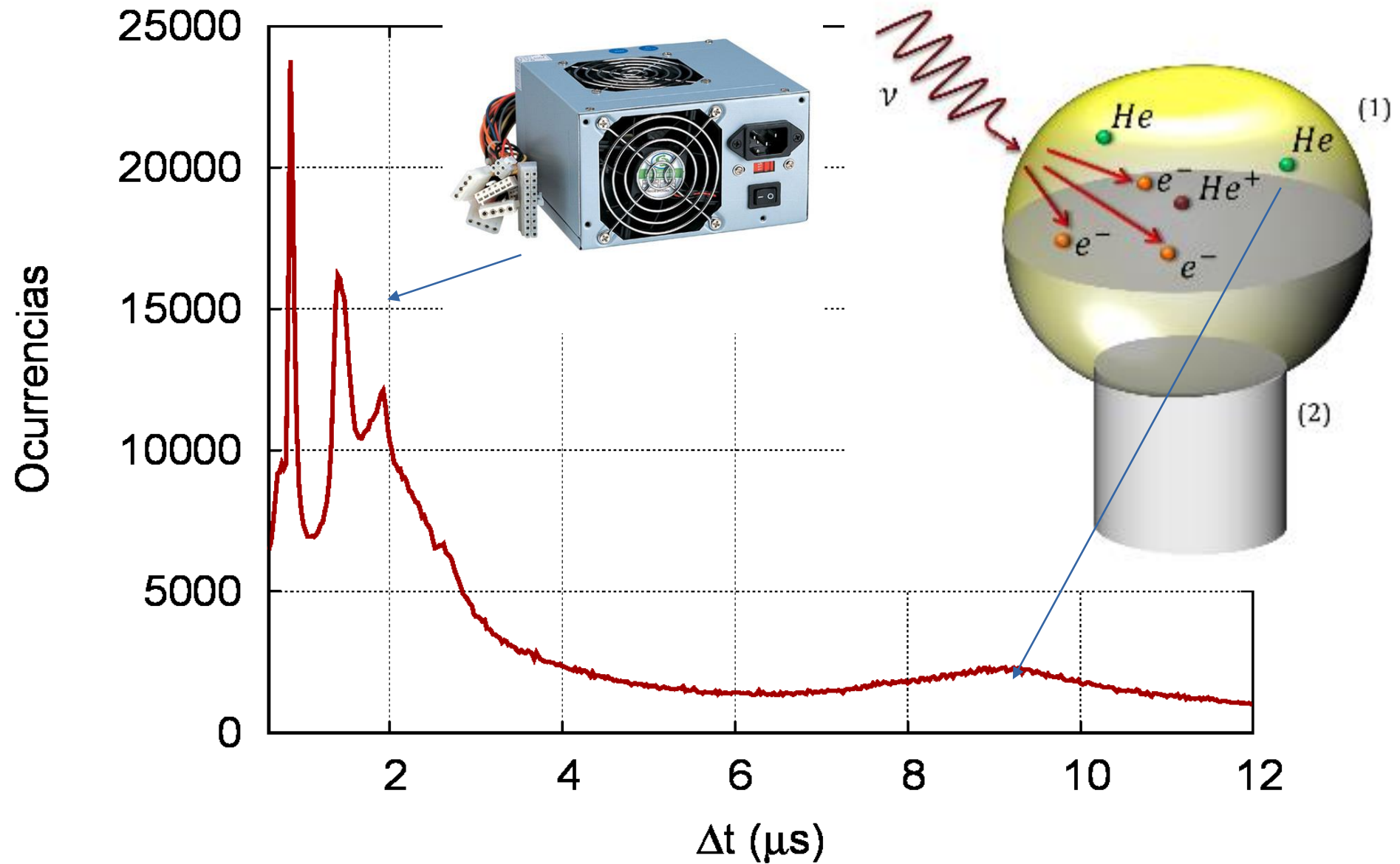
# Diferencia de tiempo entre dos pulsos sucesivos

- Un pico en el histograma de tiempos significa que hay sucesos que ocurren a un “rate” constante
- Pensemos en un reloj: tengo un pulso cada segundo
- Aquí tenemos una distribución en torno a un valor
- ¿Relojes? ← Fuentes conmutadas
- ¿Propagación? ← “Afterpulses”:
- Un fotoelectrón ioniza al Helio
- El ión  $\text{He}^+$  migra hacia el fotocátodo
- El ión produce un nuevo fotoelectrón
- El fotoelectrón es un pulso nuevo
- ¡¡¡El tiempo entre pulsos depende de la geometría del PMT!!!



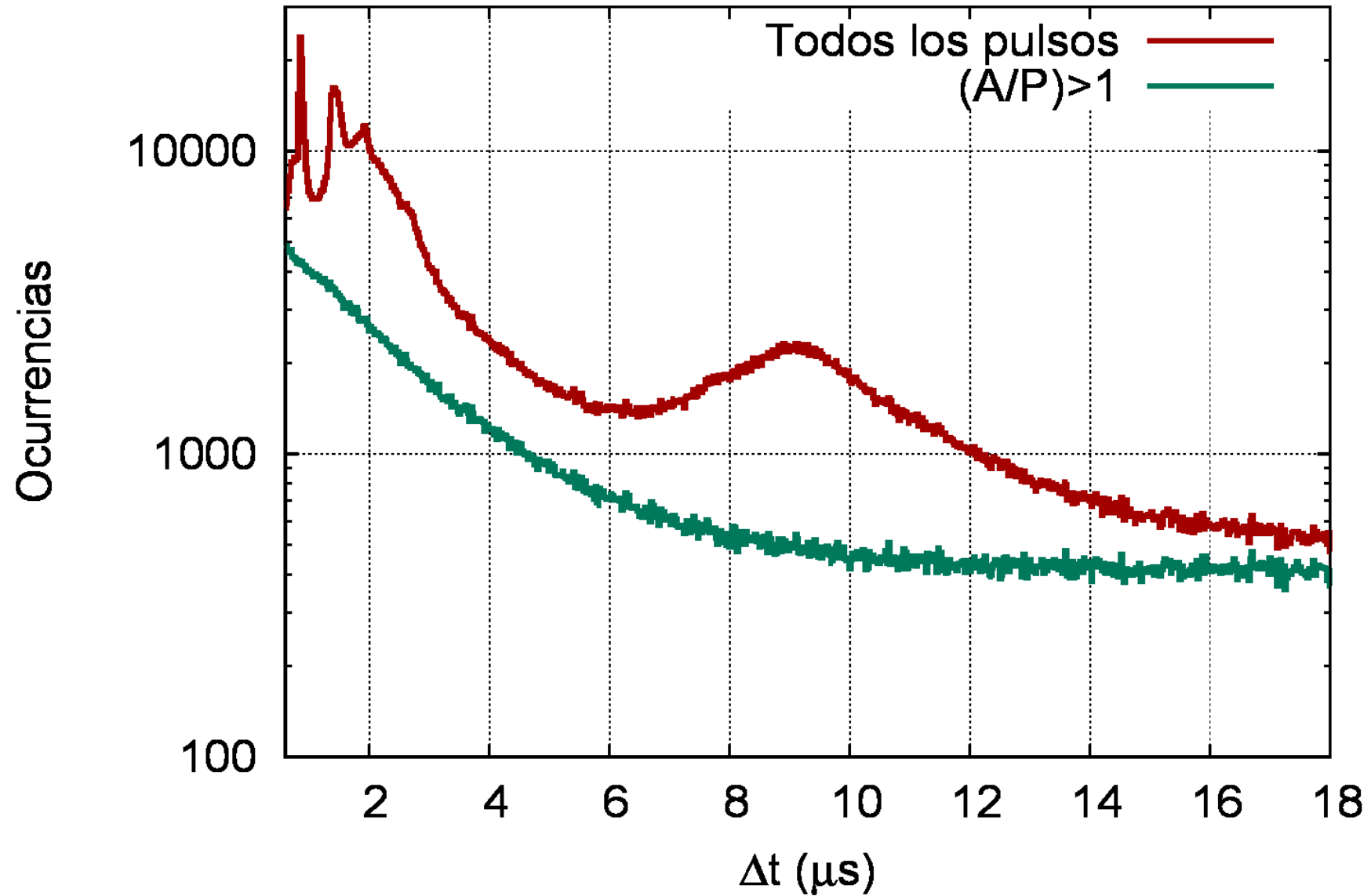


# El experimento contra-ataca



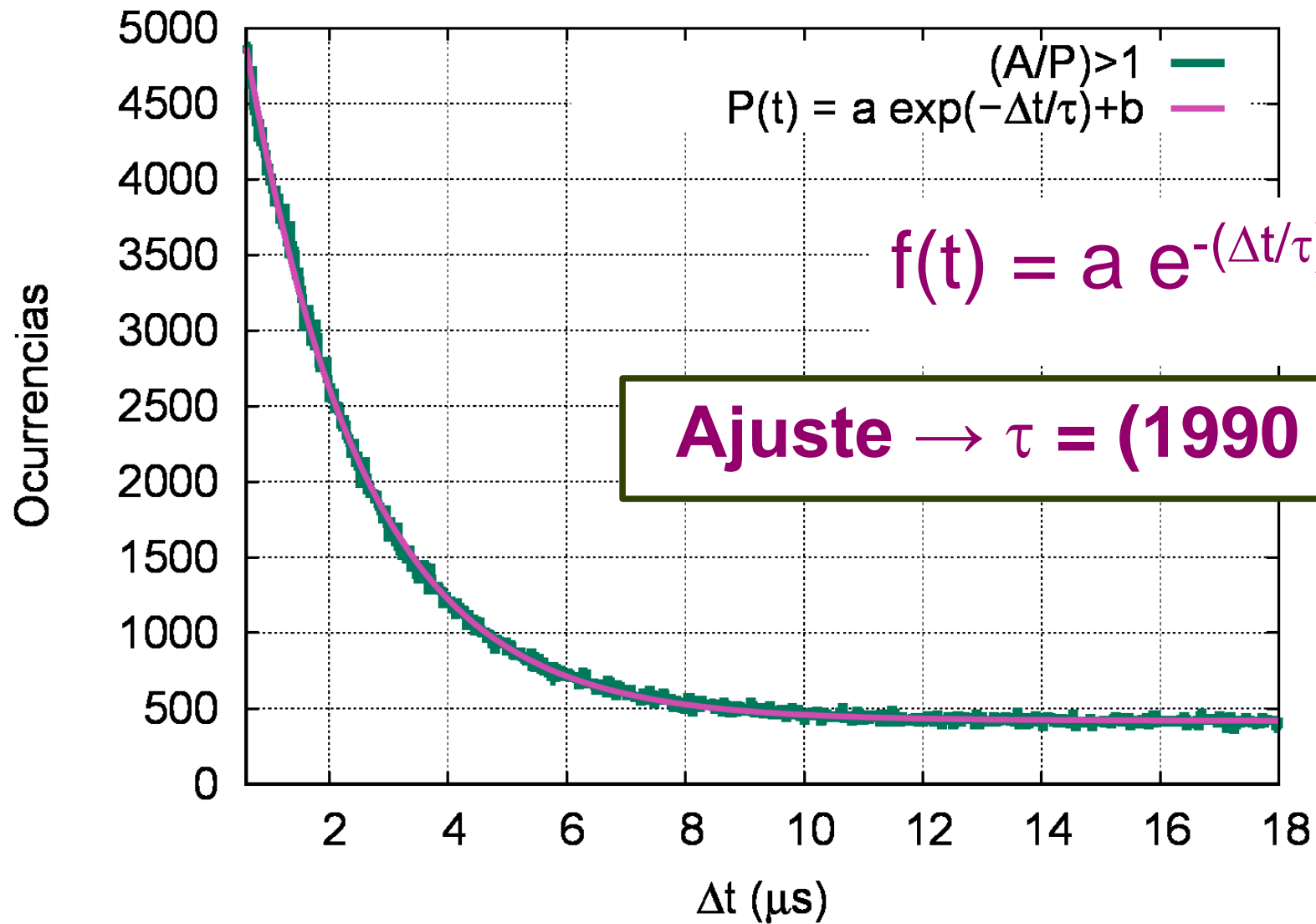


# Solución → identificar y eliminar “ruído” (p.ej, A/P)





# Diferencia de tiempo entre pulsos sucesivos







- Muón en agua

- $\mu^+$  → Libre
- $\mu^-$  → Prob. de captura nuclear (similar a la c.e.):
  - $\propto Z^4$  del medio
  - Alta absorción en  $^{35}\text{Cl}$  y  $^{36}\text{Cl}$  (lejía, lavandina, NaClO)

- Procesos que compiten para el  $\mu^-$  :

- Decaimiento
- Captura

- $\lambda_{\text{obs}} = (N^+ \lambda^+ + N^- \lambda^-)/(N^+ + N^-)$

- Se puede medir la relación  $N^+/N^-$

Tiempo Decaimiento muon negativo  
**Ajuste** →  $\tau_{\mu^-} = (1.86 \pm 0.02) \mu\text{s}$

**Sólo decaen los que no son absorbidos**

$$\tau_{\mu^-} < \tau_0$$



- Conozca su detector y podrá obtener resultados que van más allá de los originalmente esperados
  - Si el problema es la estadística, el problema fue el diseño
  - Lo que es “ruido” para algunas personas, serán datos para otras (y viceversa)
  - Pensamiento lateral: busque otras aplicaciones para sus datos
  - No siempre un resultado inesperado es un error metodológico



<http://laconga.redclara.net>



[contacto@laconga.redclara.net](mailto:contacto@laconga.redclara.net)



lacongaphysics



Latin American alliance for  
Capacity buildiNG in Advanced physics

**LA-CoNGA physics**



Cofinanciado por el  
programa Erasmus+  
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.