

10 Semanas de Pasantia: Resumen

Simulaciones de Detectores WCD Dopados con NaCl

Agenda

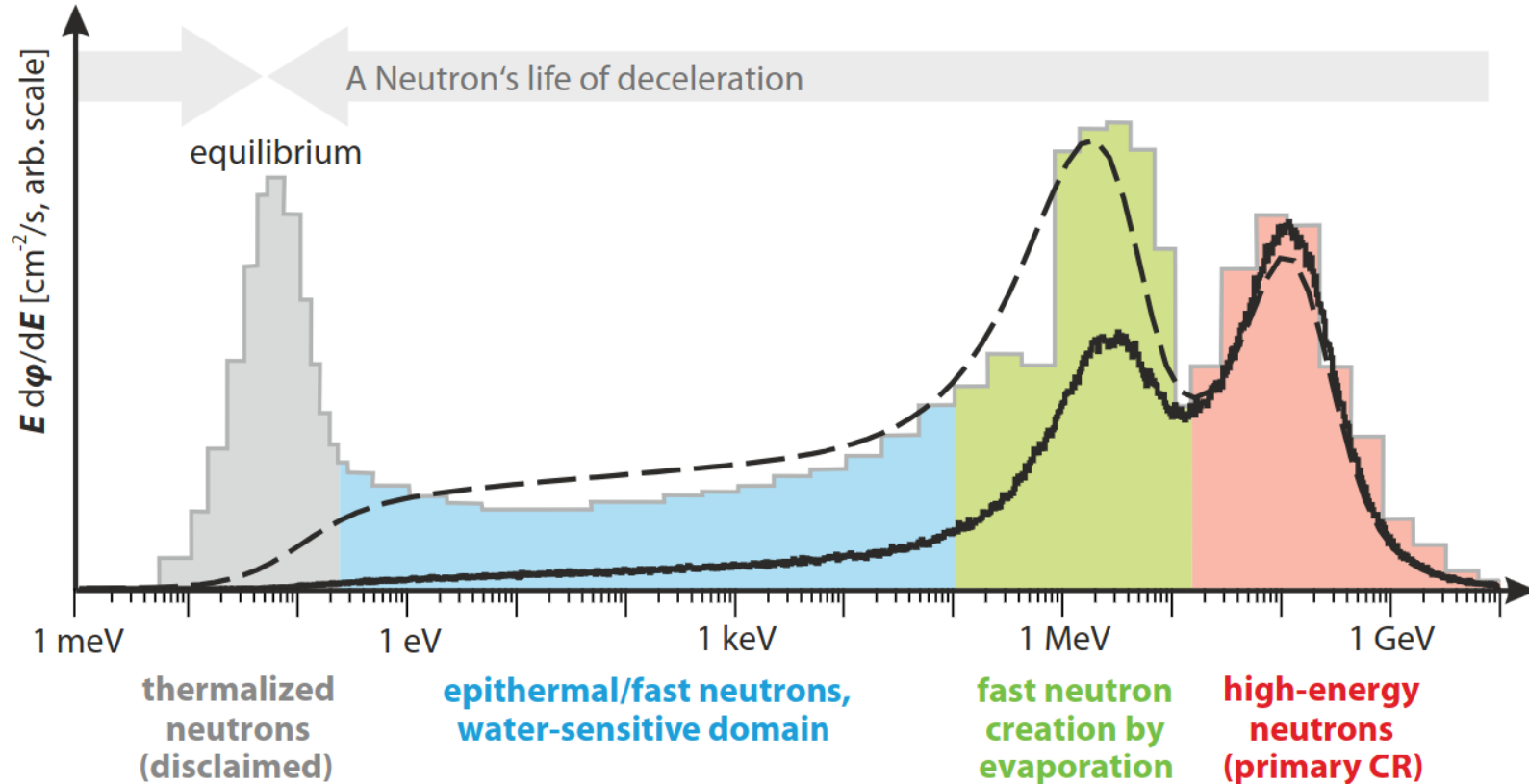
- 1) Introducción
- 2) Simular un WCD con Sal
- 3) Resultados de Simulaciones
- 4) Discusión

Introducción

Cosmic Ray Neutron Sensing

- Rayos cosmicos producen lluvias atmosféricas de particulas
 - 3 Componentes principales: EM, Muones y Hadrones
- Neutrones no tienen carga
 - Solo interactuan por colisiones
 - Modo de interacción depende de la energía

Espectro de Neutrones



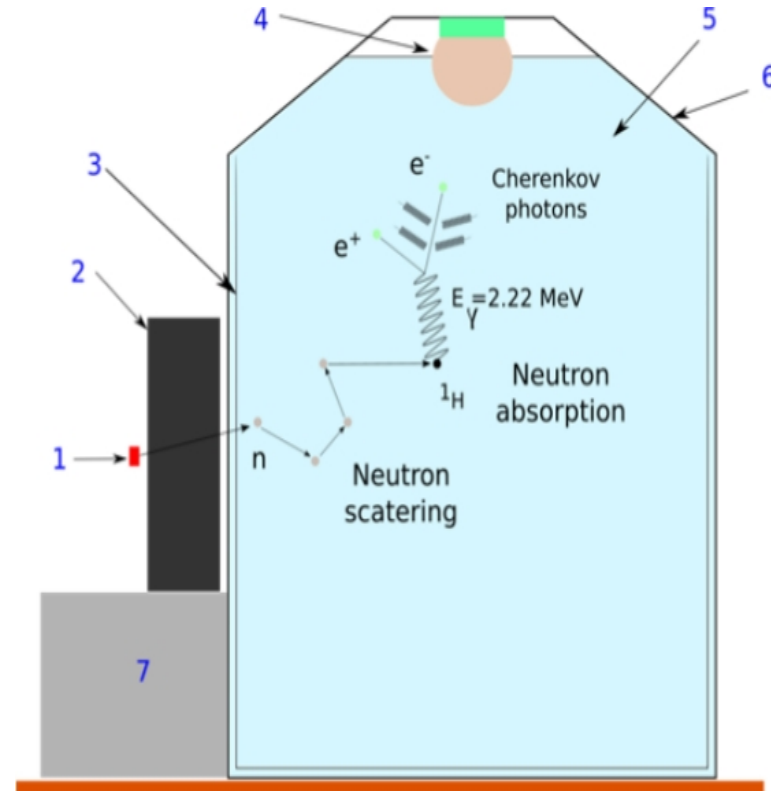
Cosmic Ray Neutron Sensing

- Neutrones de lluvias atmosféricas interactúan con el suelo → Flujo de albedo
 - Pérdida de energía por colisiones elásticas
 - Mayor pérdida por colisiones con hidrógeno
 - Más hidrógeno, menos neutrones epitérmicos

Con detectores sensible por neutrones térmicos se puede estimar la cantidad de hidrógeno presente

Detectores WCD para Neutrones

- 1) Neutrones rápidos pierden energía en colisiones elásticas
- 2) Por neutrones más lentos aumenta la sección eficaz de captura por hidrógeno: $H_1(n,\gamma)H_2$
- 3) La captura de un neutrón inicia una cascada de fotones gamma con $E_{\text{tot}} = 2.22 \text{ MeV}$
- 4) Las fotones gamma producen electrones rápidos por dispersión Compton o creación de pares
- 5) Las partículas cargadas emiten luz Cherenkov atravesando el agua



Doping con NaCl

- Ventajas
 - Mejor sección eficaz para captura de neutrones
 - Cascada de fotones gamma con energía más alta
 - Aumento del index de refracción baja el umbral para emitir luz Cherenkov
 - Aumento en densidad de particulas permite más interacciones en el mismo volumen
- Desventajas
 - La absorpción de luz optica aumenta con salinidad

Simular un WCD con sal

Framework MEIGA

- Conjunto de codigos C++ que emplea Geant4 para simulaciones de detectores
- Ya implementado: WCD.cc, SaltyWCD.cc
 - Ajusta las proporciones de H₂O y NaCl
 - Ambos detectores usan una tabla de absorción de agua pura y index de refracción $n(\lambda) = 1.33$
 - Densidad: WCD 1 g/cm³, SaltyWCD 1.1 g/cm³

Modificaciones del Código

- Agregar suelo
 - Partículas pueden interactuar con suelo seco y regresar al detector como flujo albedo
- Condiciones de bordes continuas
 - Implementación de código de Luigui
 - usar uniformidad del flujo de EAS partículas

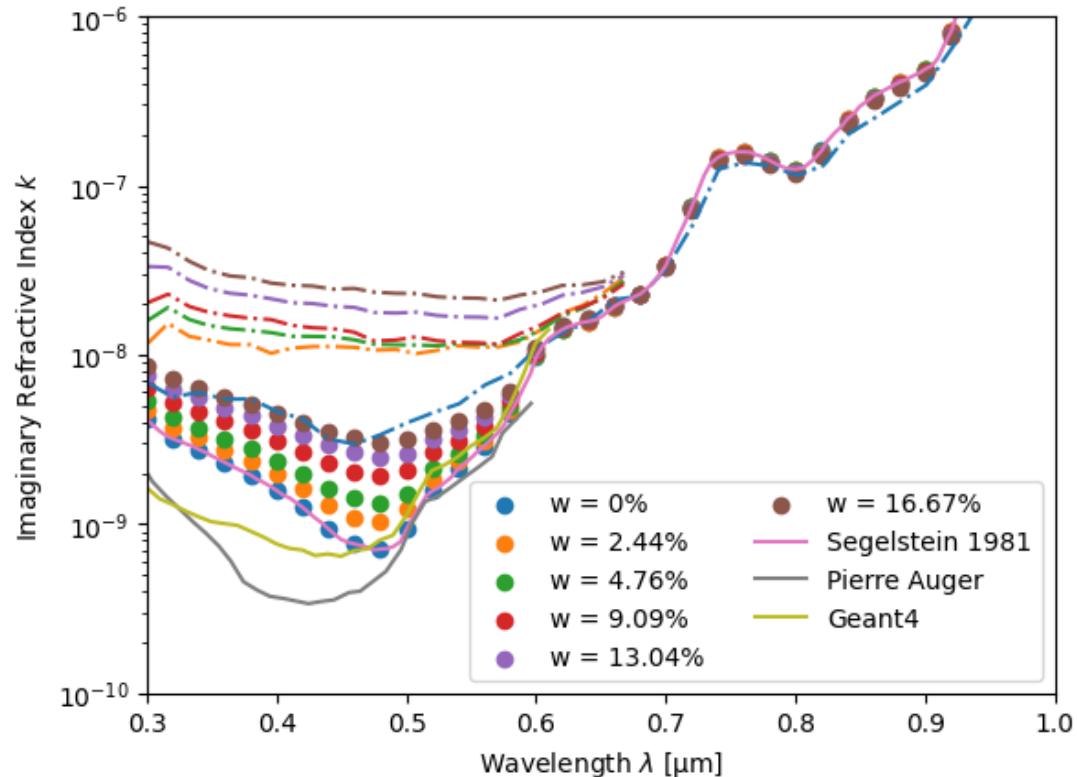
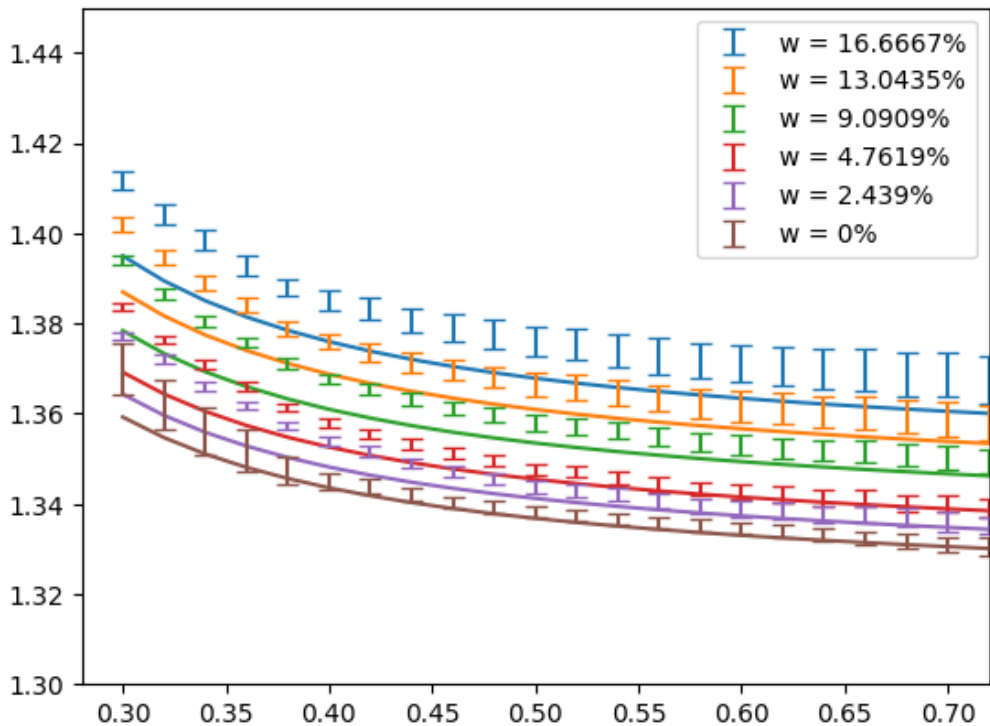
Modificaciones del Código

- Función para calcular la densidad de la solución de NaCl
 - Fit quadratico de datos experimentales
 - Deviaciones $< 0.06\%$ de los valores de referencia
- Función para calcular el index de refracción de agua pura
 - Formula de la IAPWS, deviaciones $< 5 \cdot 10^{-4}$ de experimentos

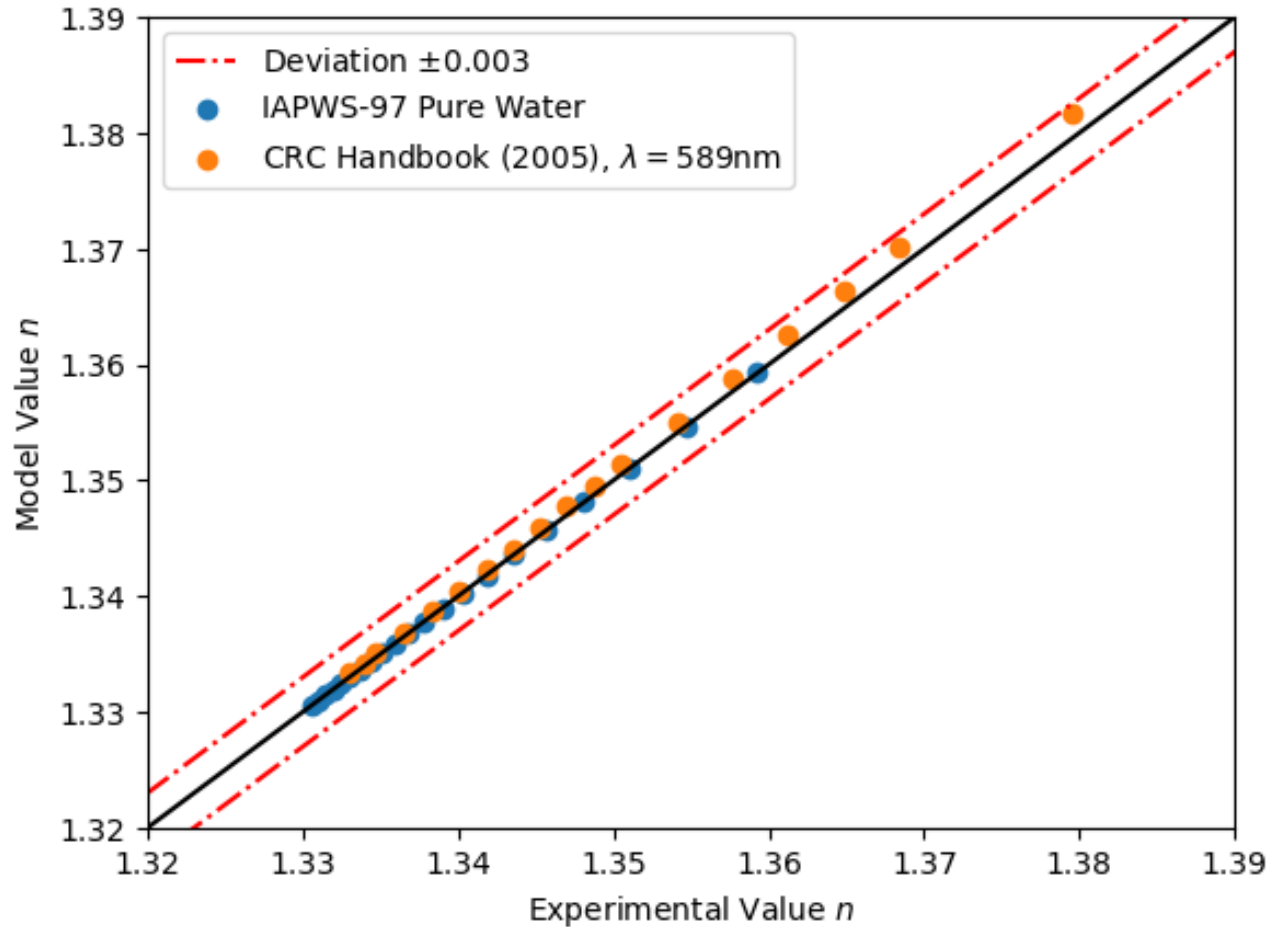
Propiedades ópticas de soluciones NaCl

- Implementación de un modelo para la refracción y absorpción de NaCl disuelto
- Aproximación de la absorpción de NaCl por un oscilador efectivo en el espectro UV
 - Modelo de 3 parametros para n y k
- Combinación lineal de la absorpción de agua pura (literatura) y de NaCl (modelo)

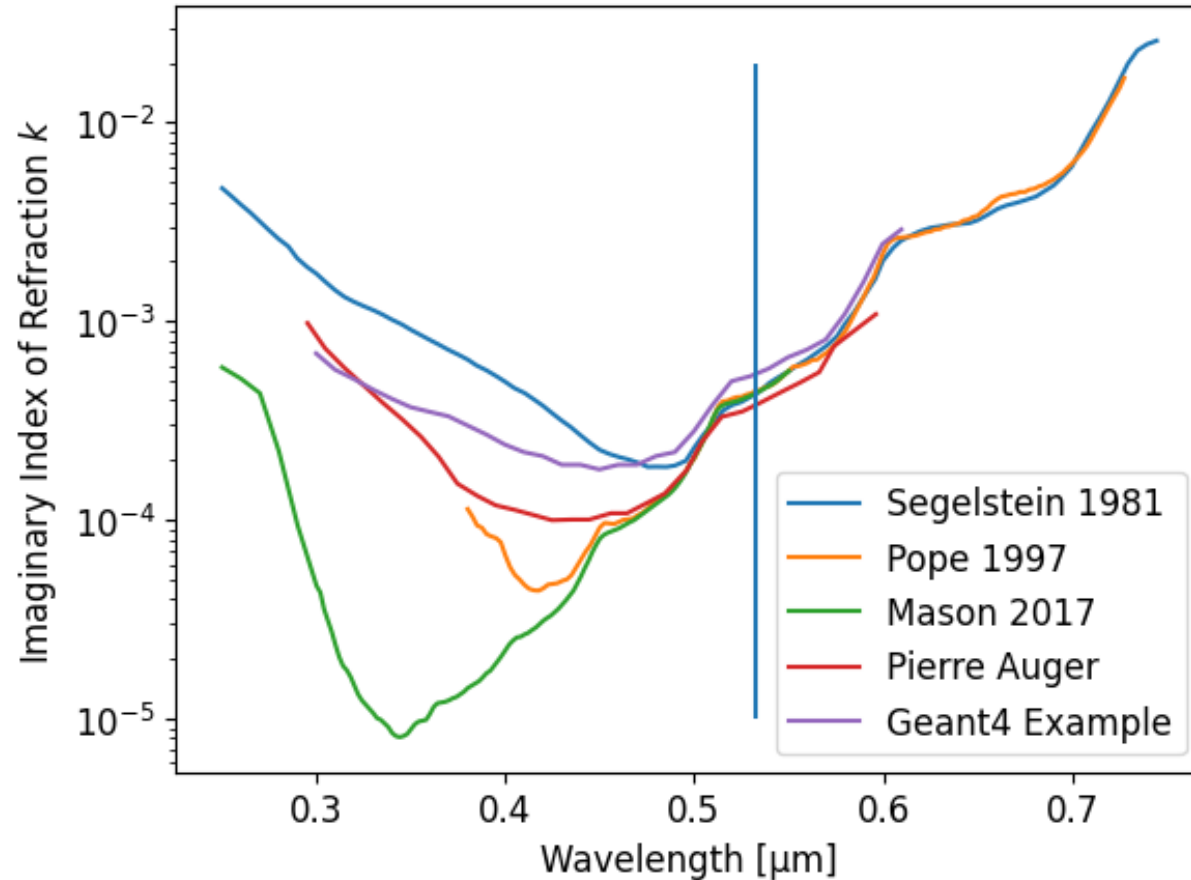
Modelo Semi-empírico



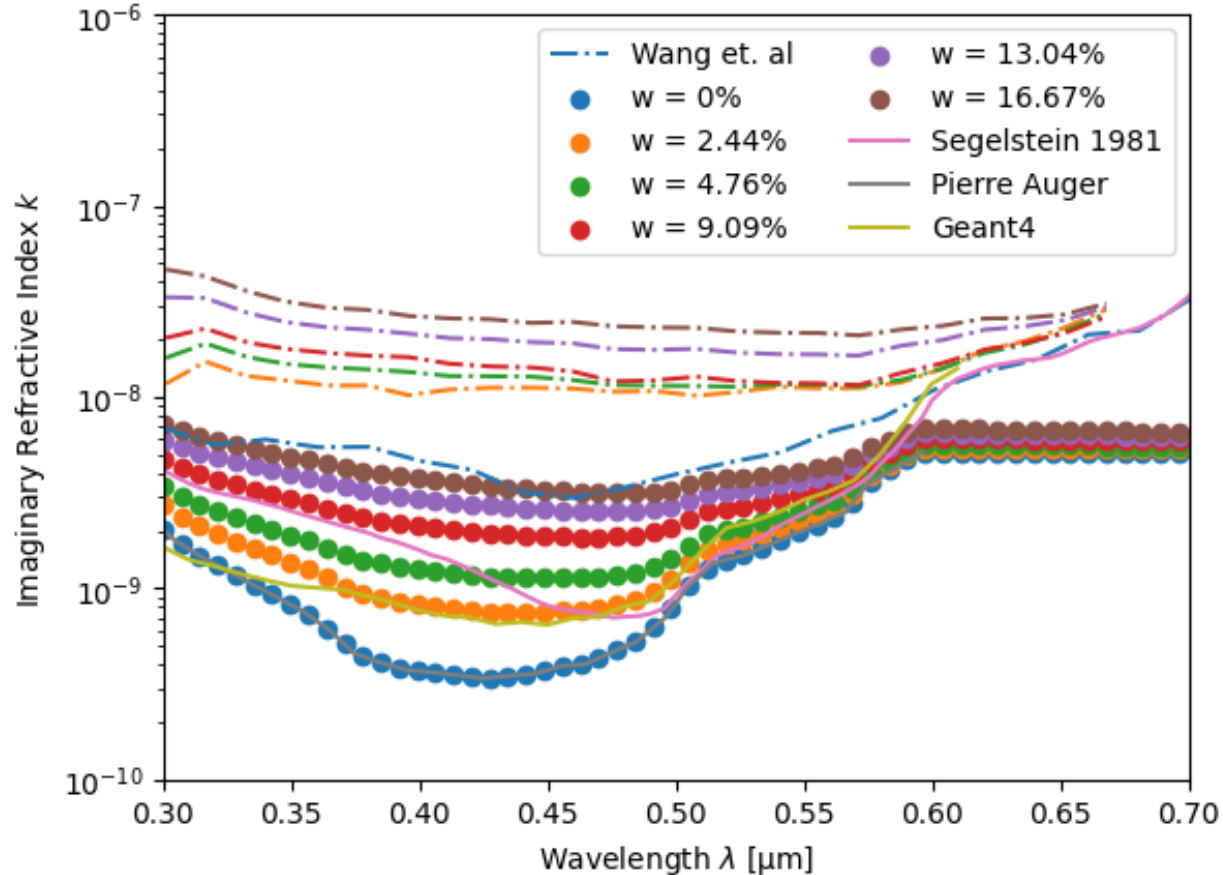
Estimación de errores



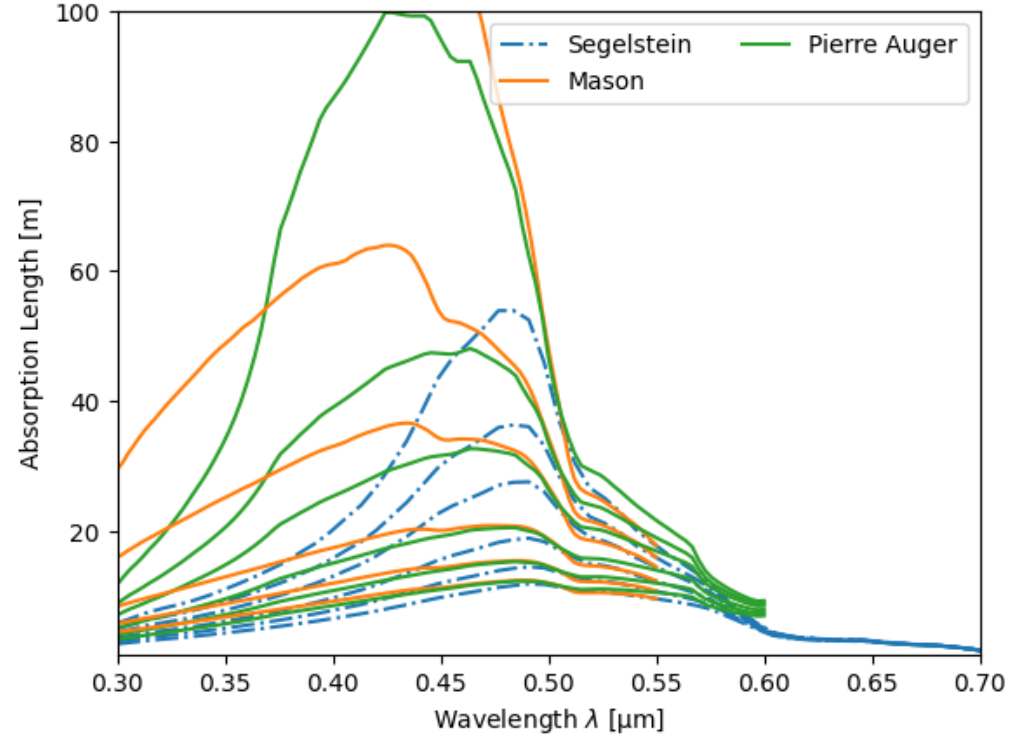
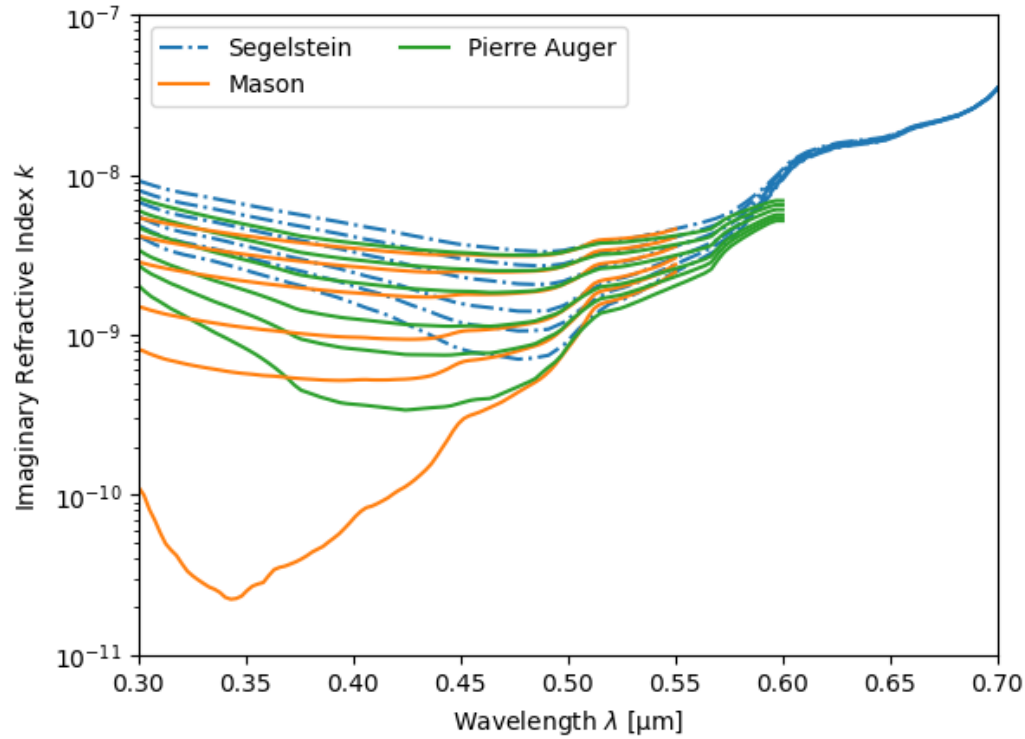
Modificación del Modelo



Modificación del Modelo



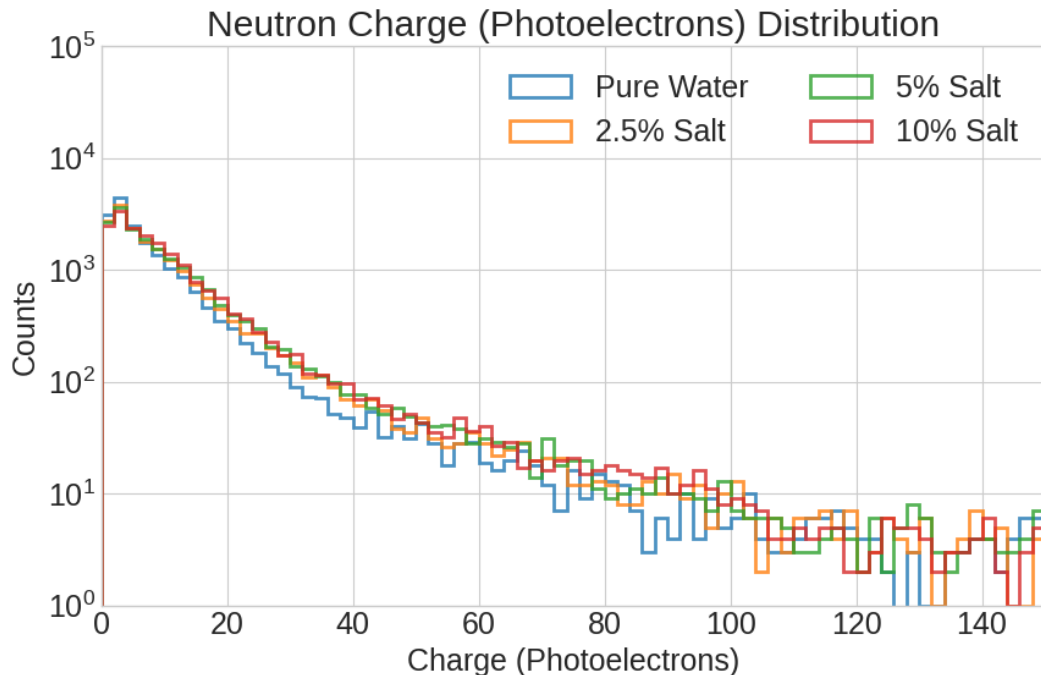
Modificación del Modelo



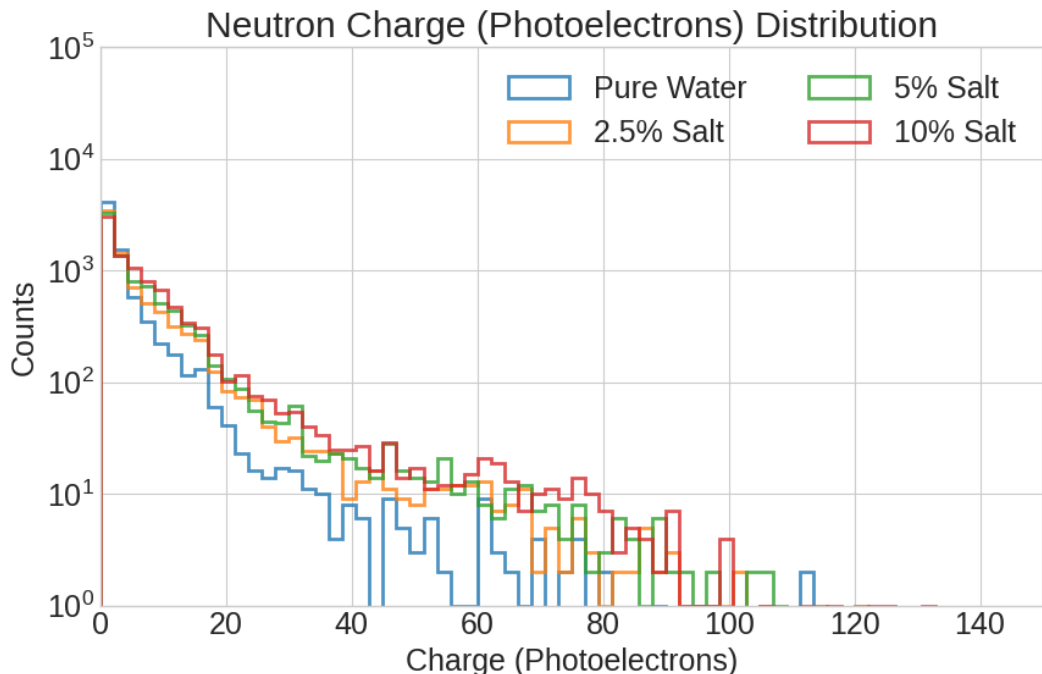
Resultados de Simulaciones

Inyección vertical de Neutrones

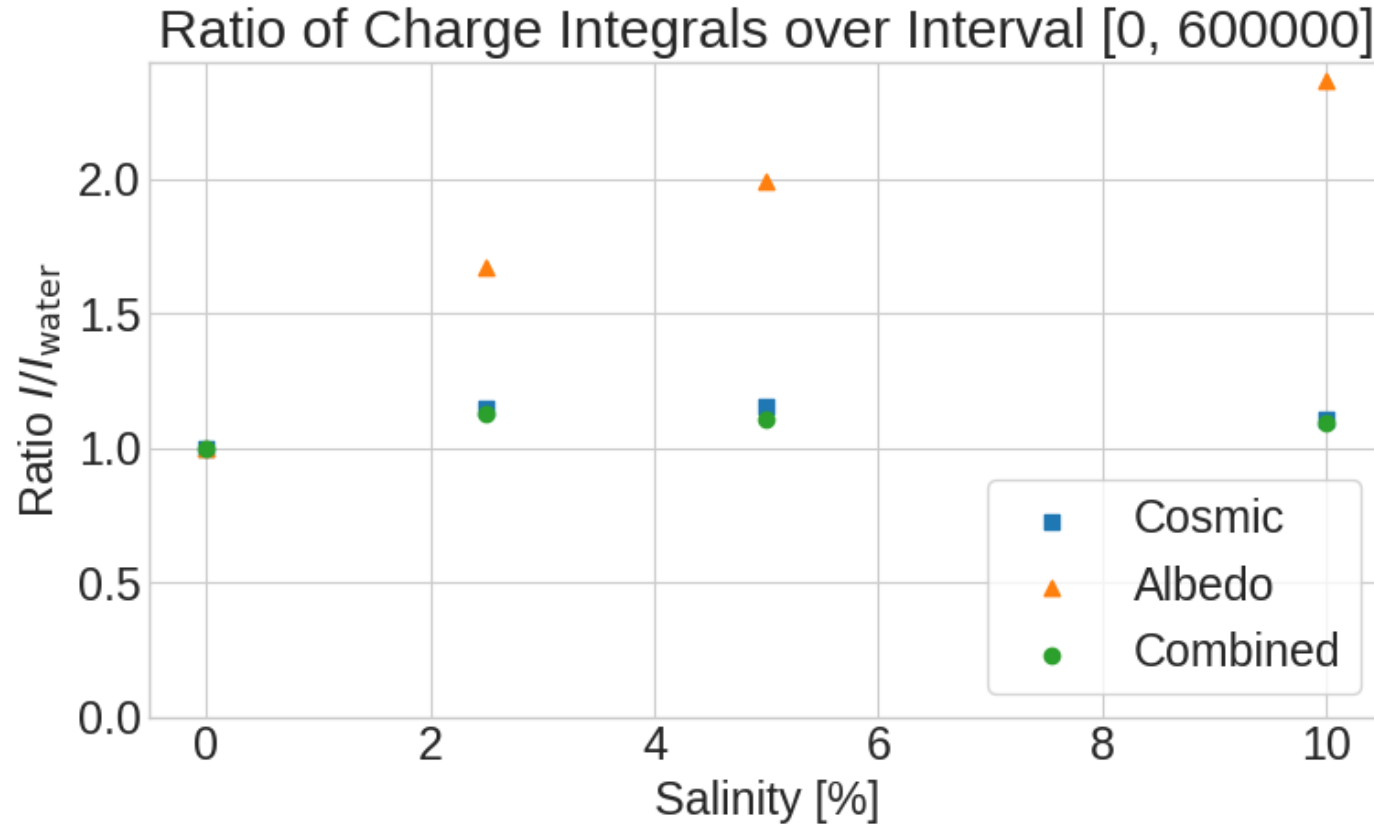
Espectro EAS (500s)



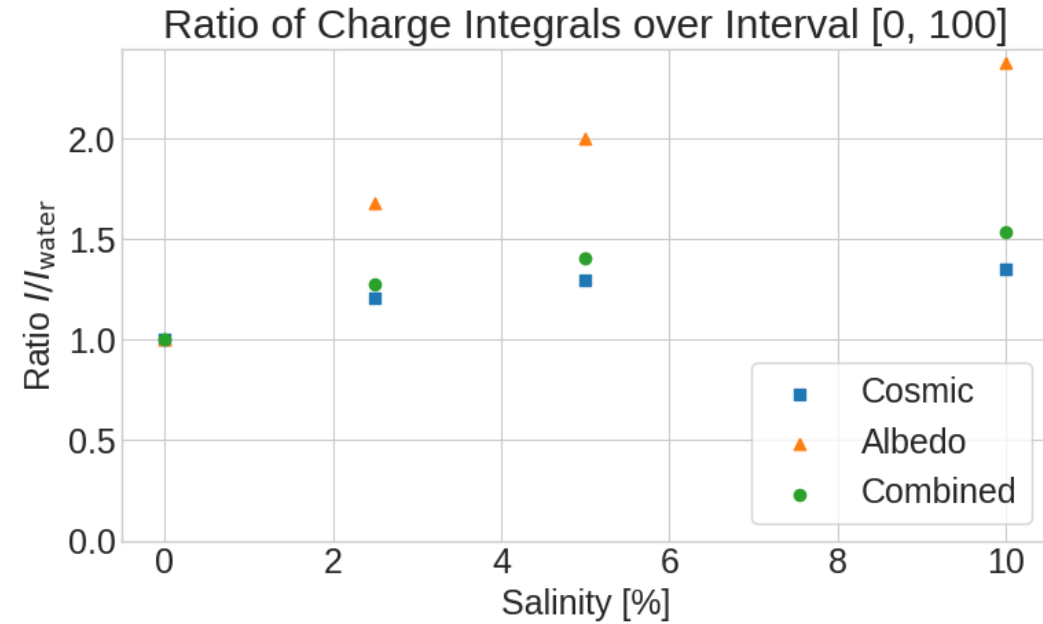
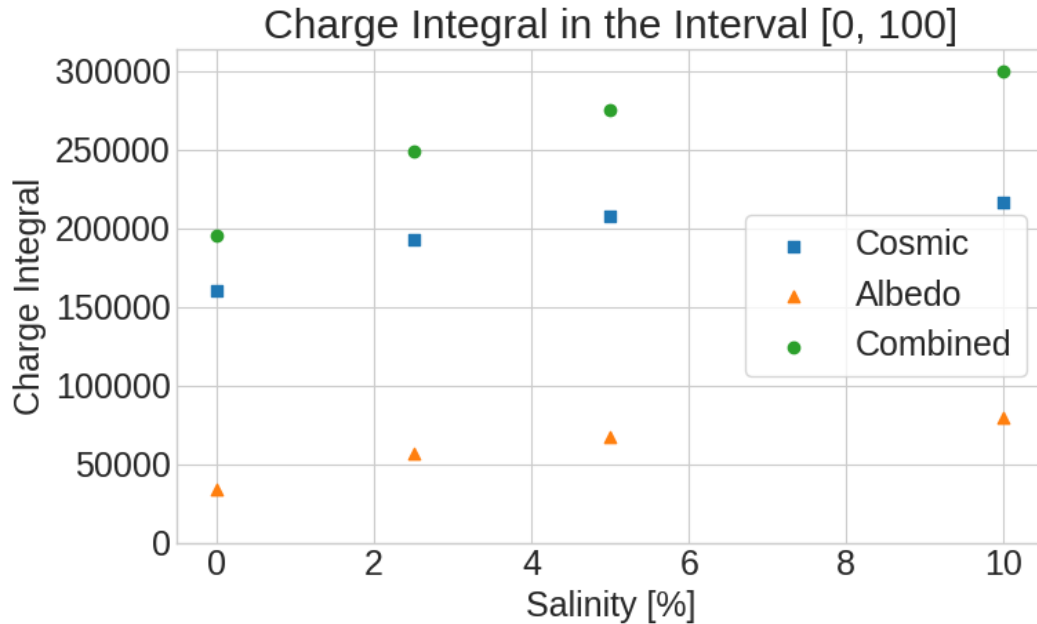
Espectro Albedo (500s)



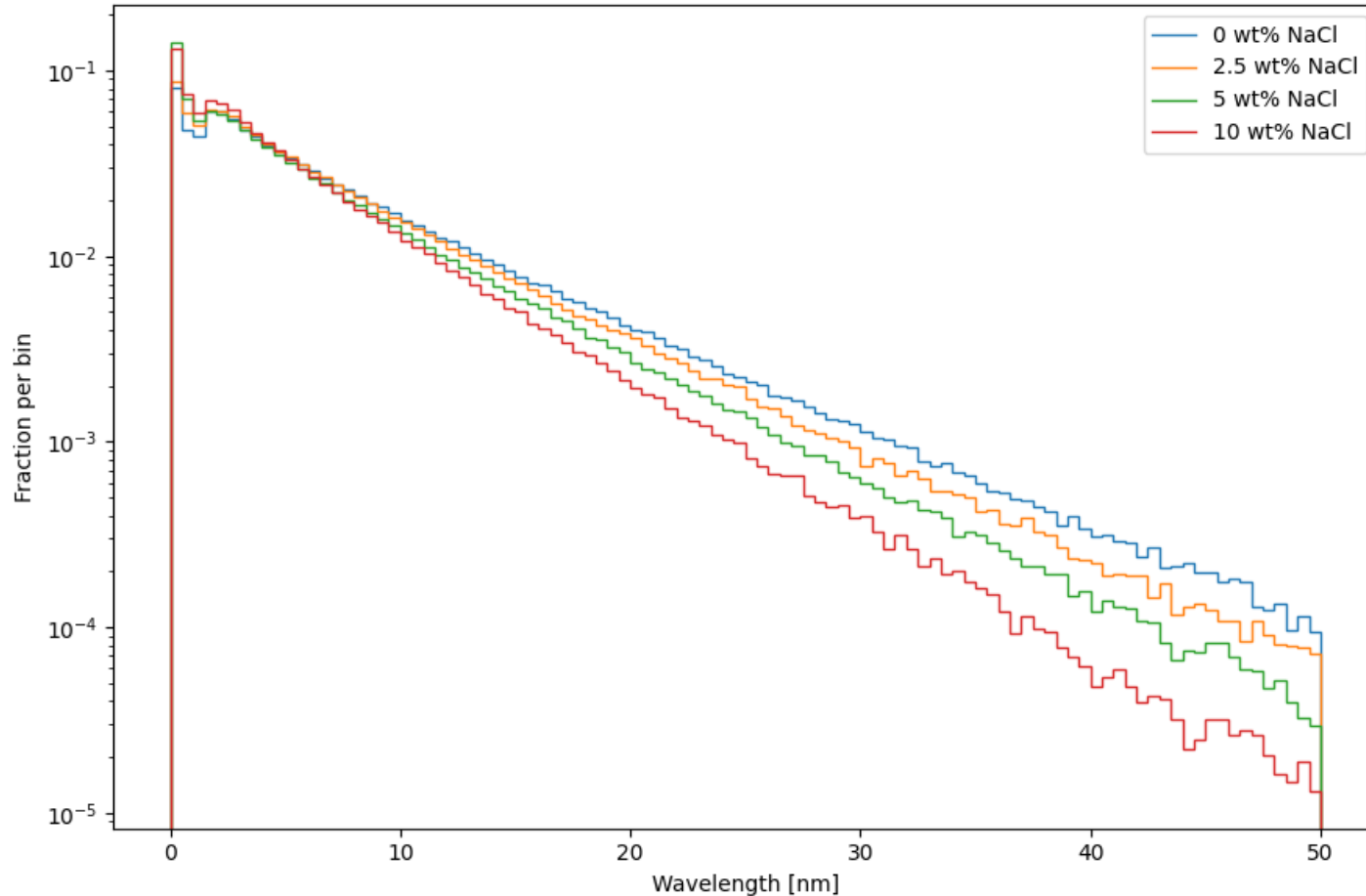
Inyección vertical de Neutrones



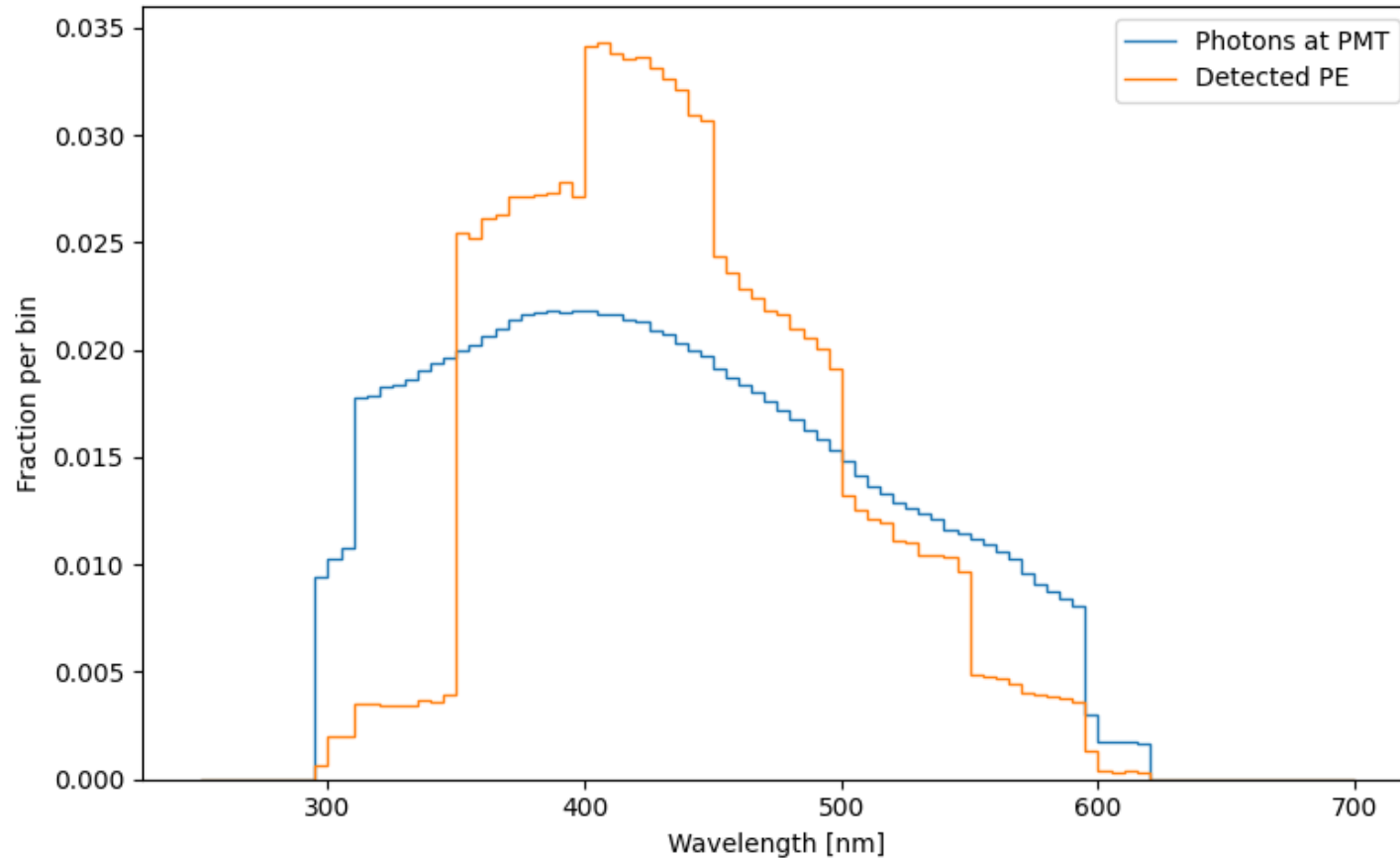
Inyección vertical de Neutrones



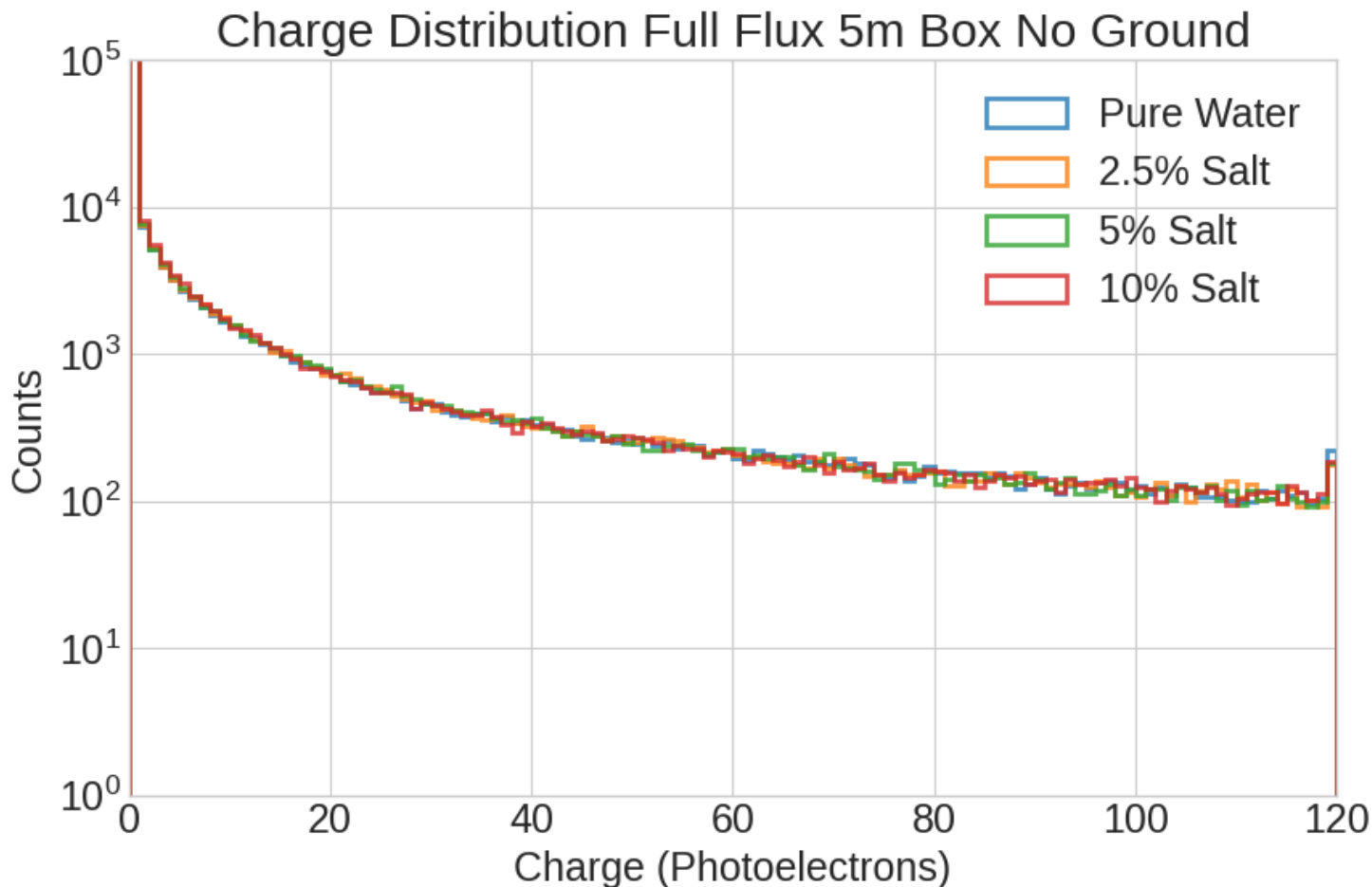
Análisis Óptica



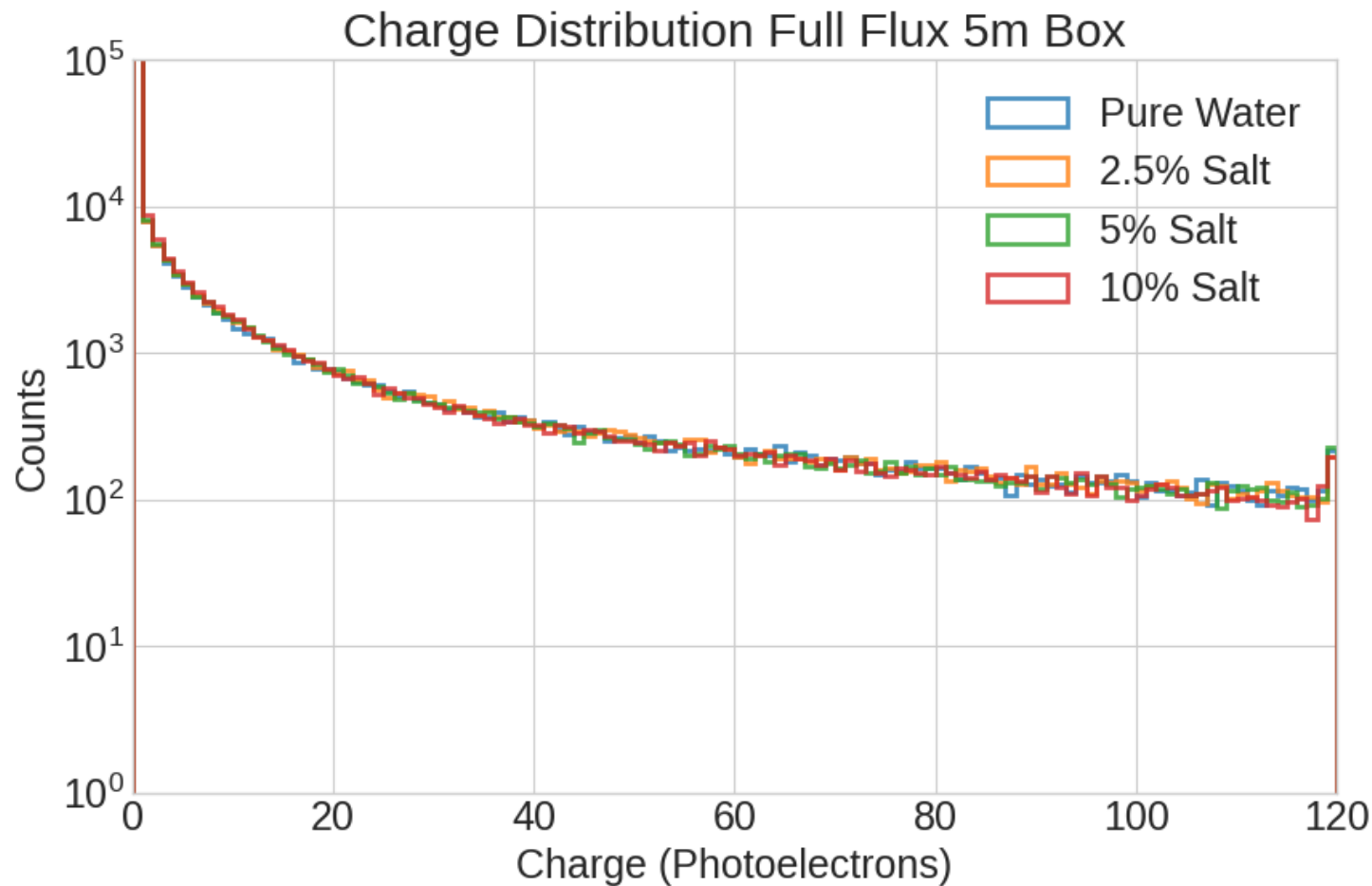
Análisis Óptica



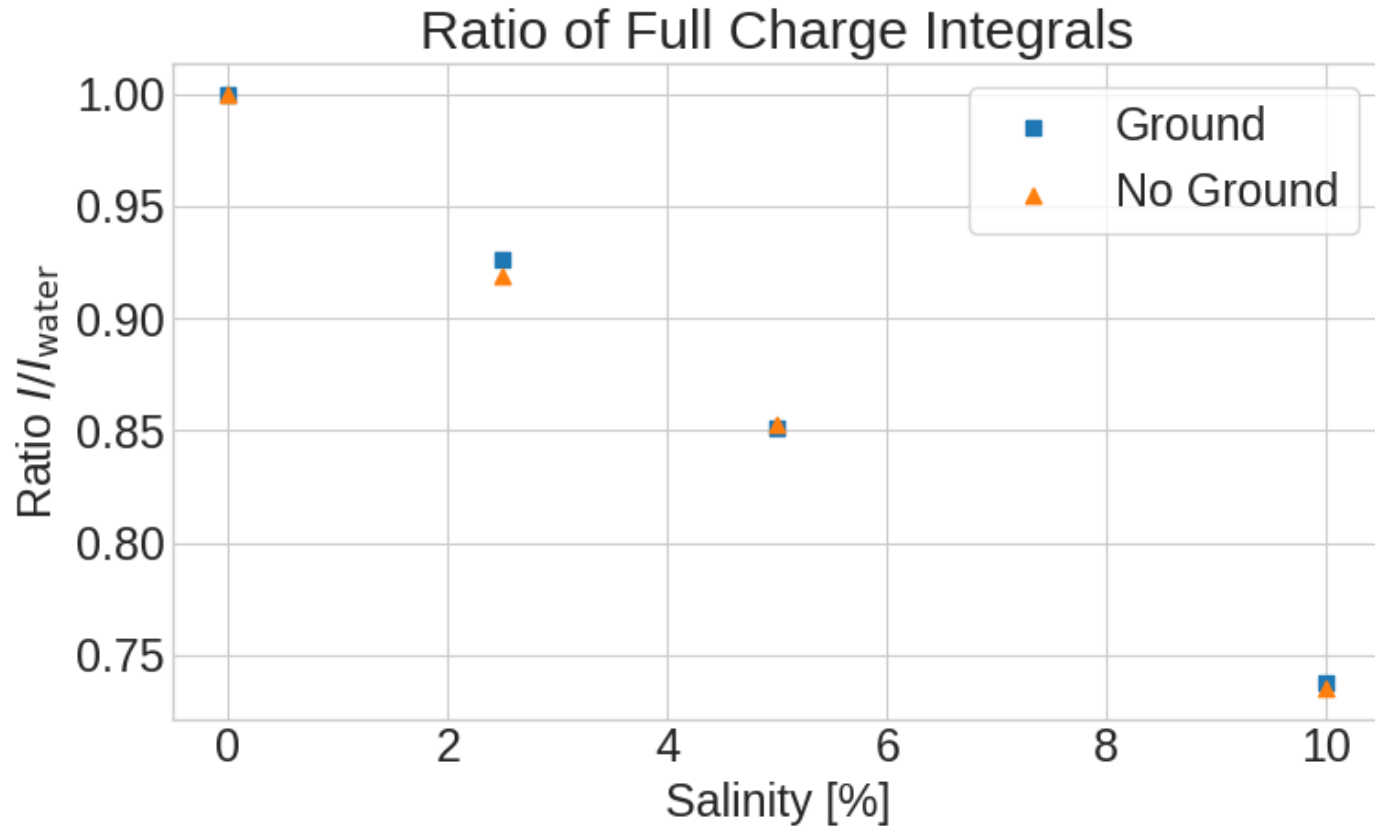
Inyección del espectro total



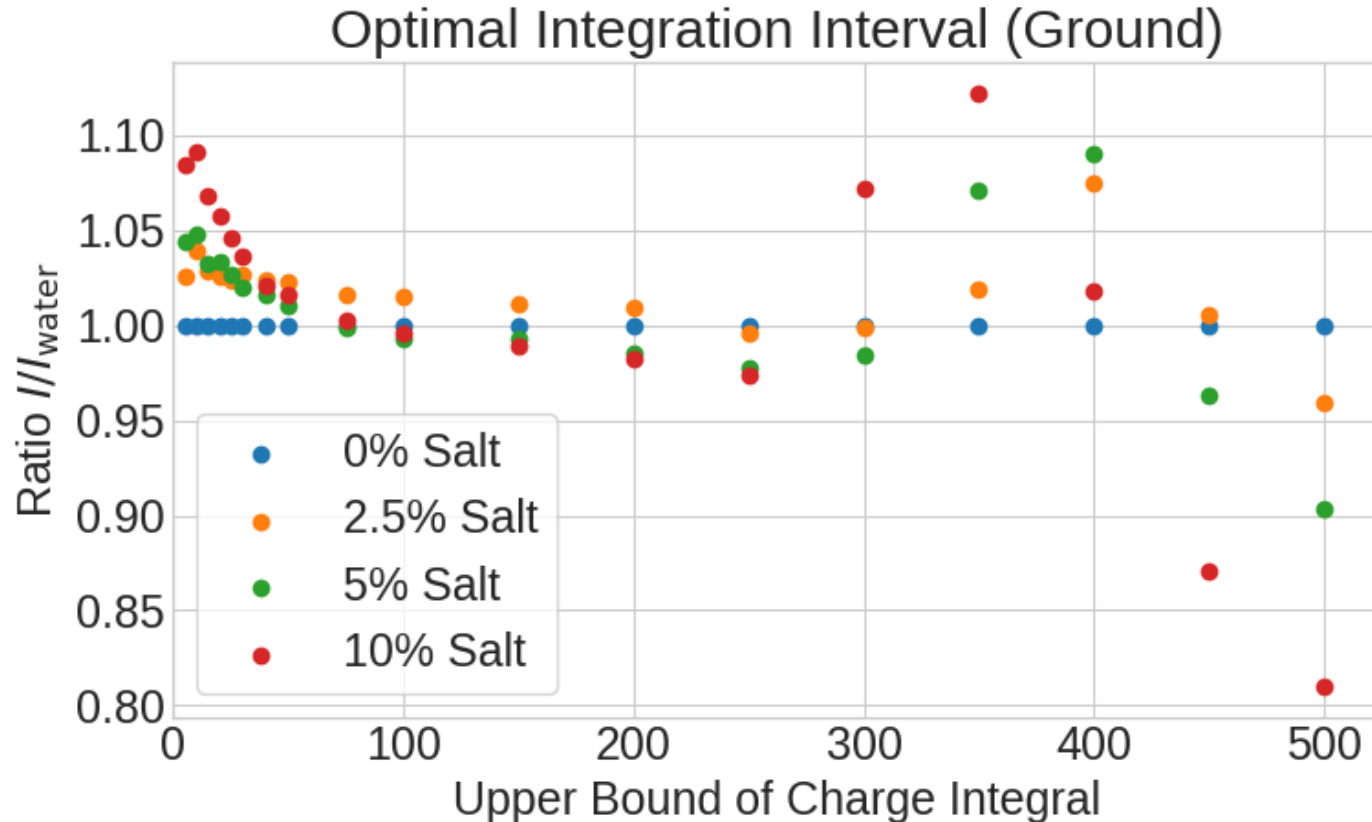
Inyección del espectro total



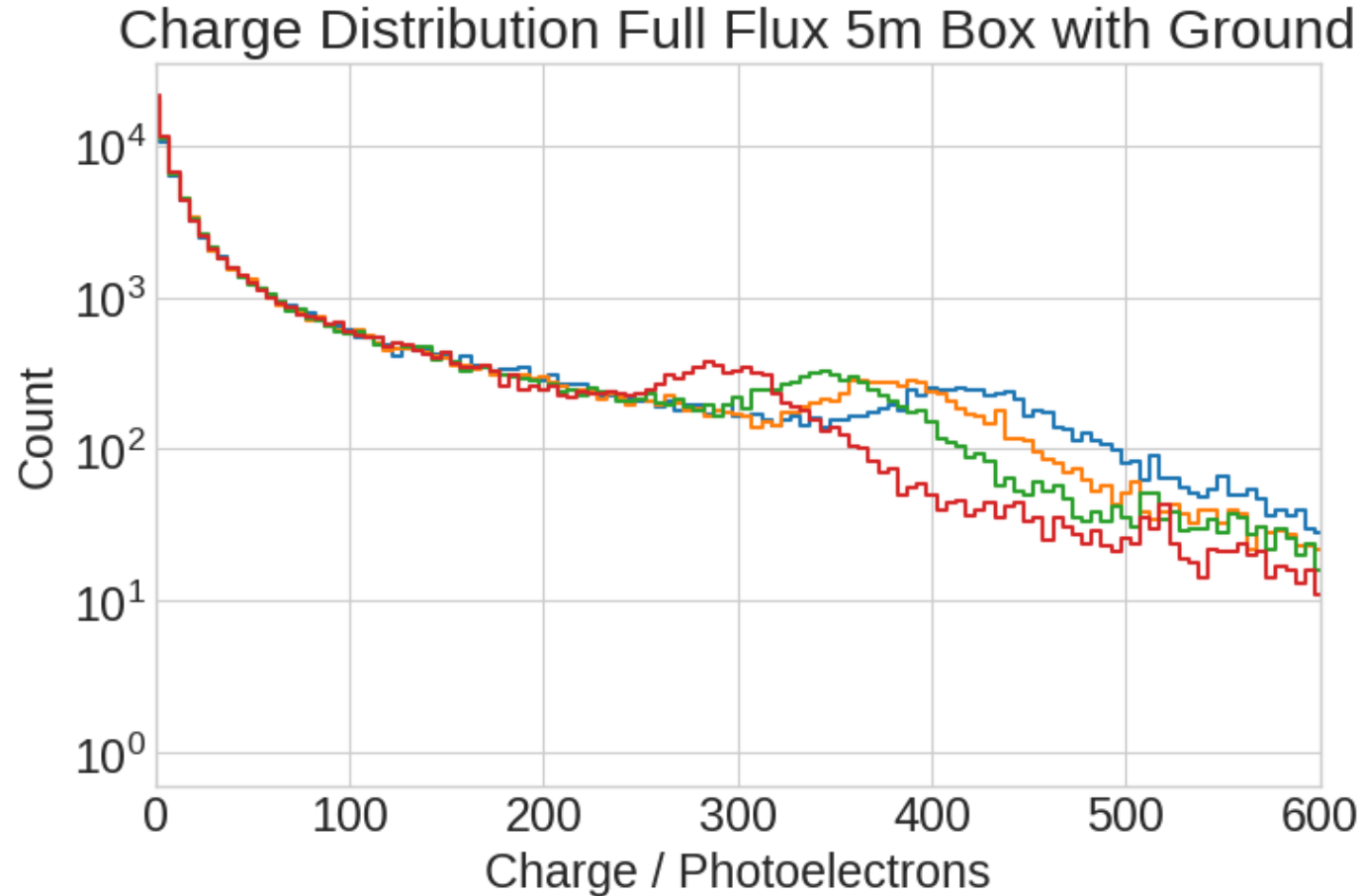
Carga Integrada



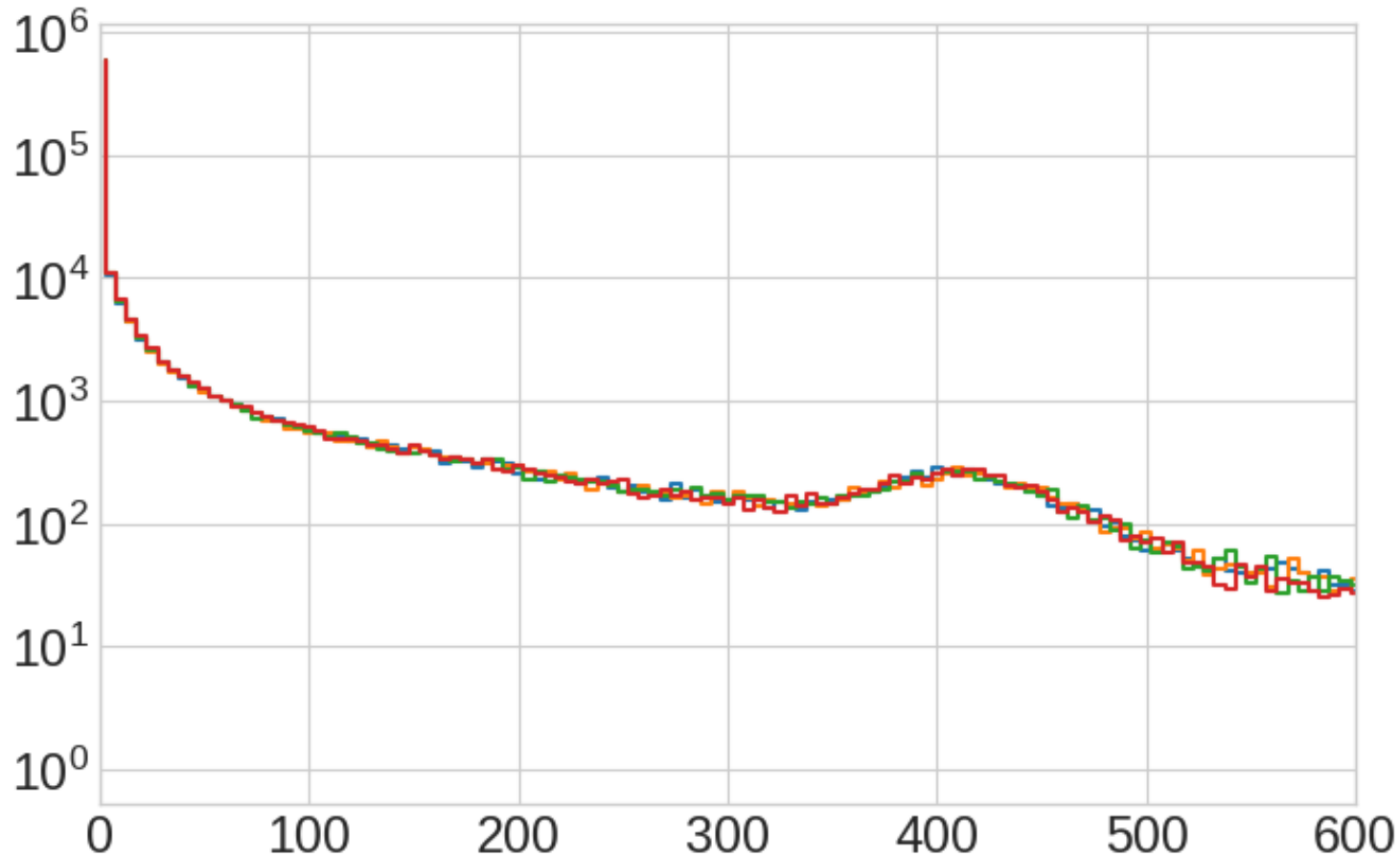
Carga integrada



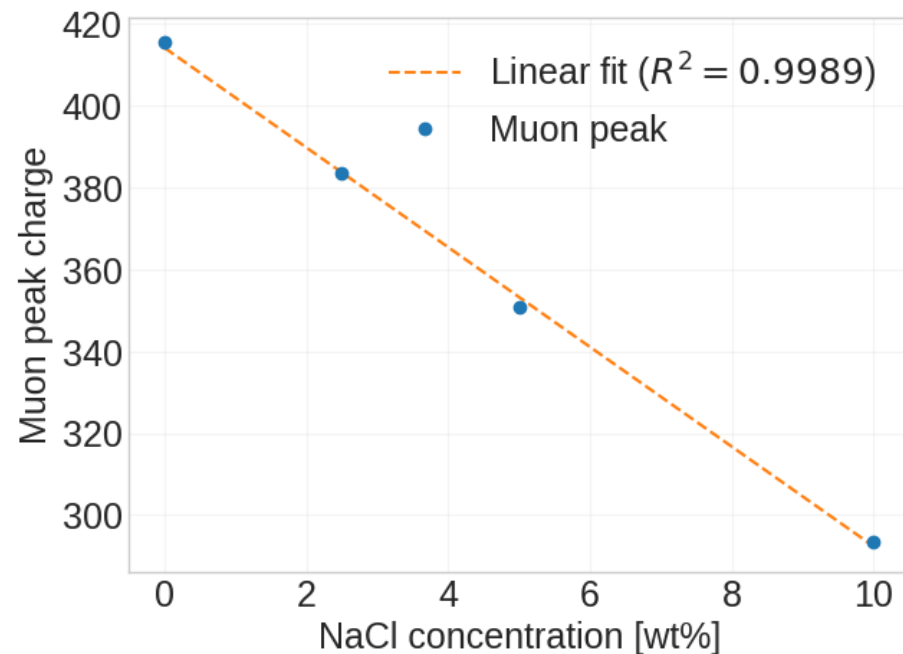
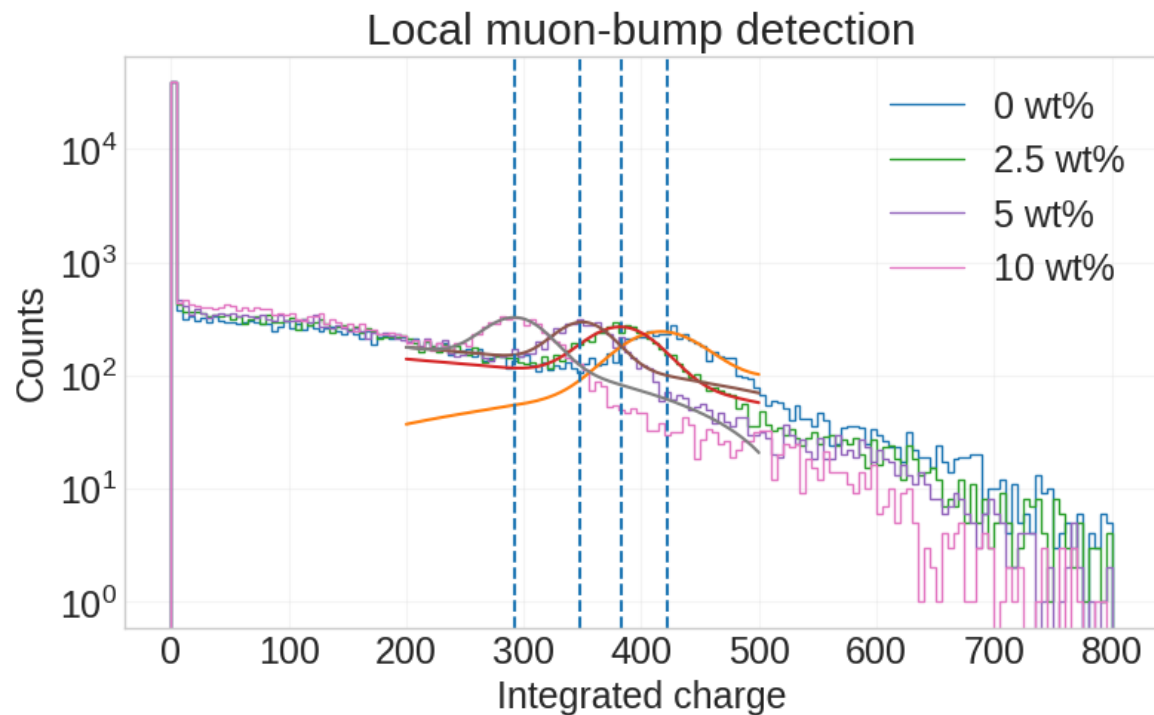
Absorpción óptica y los muones



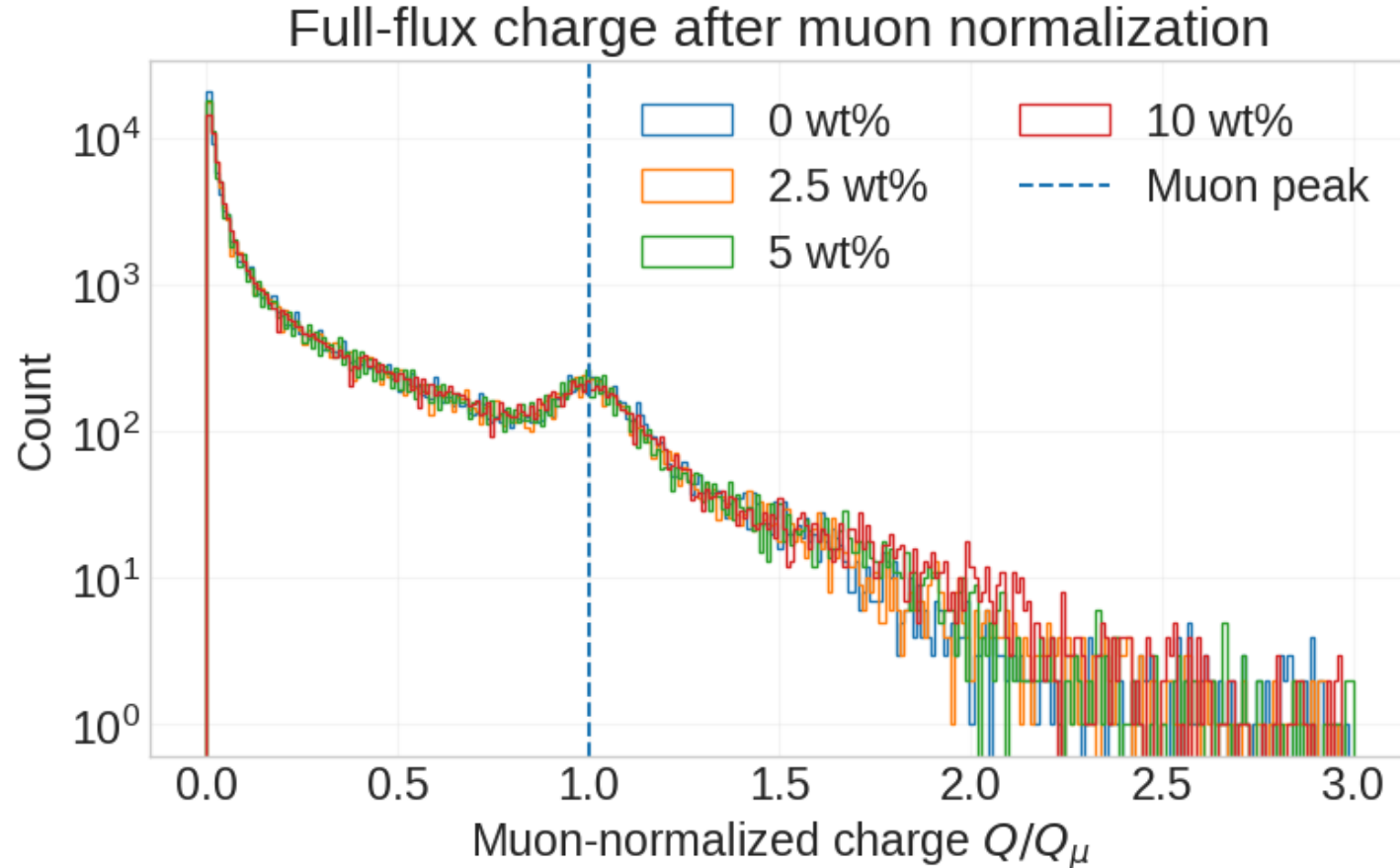
Absorpción óptica y los muones



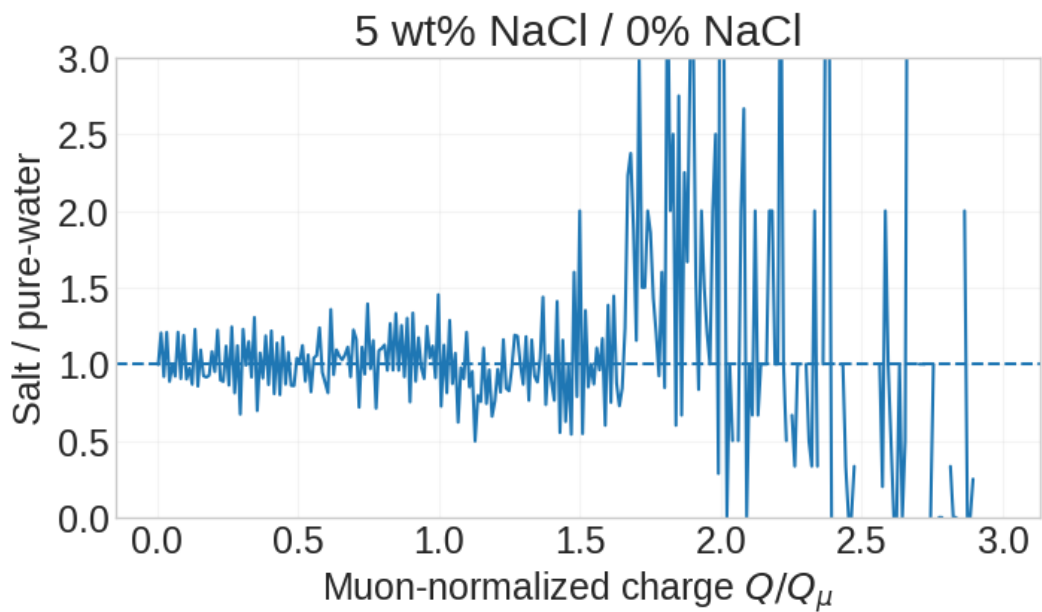
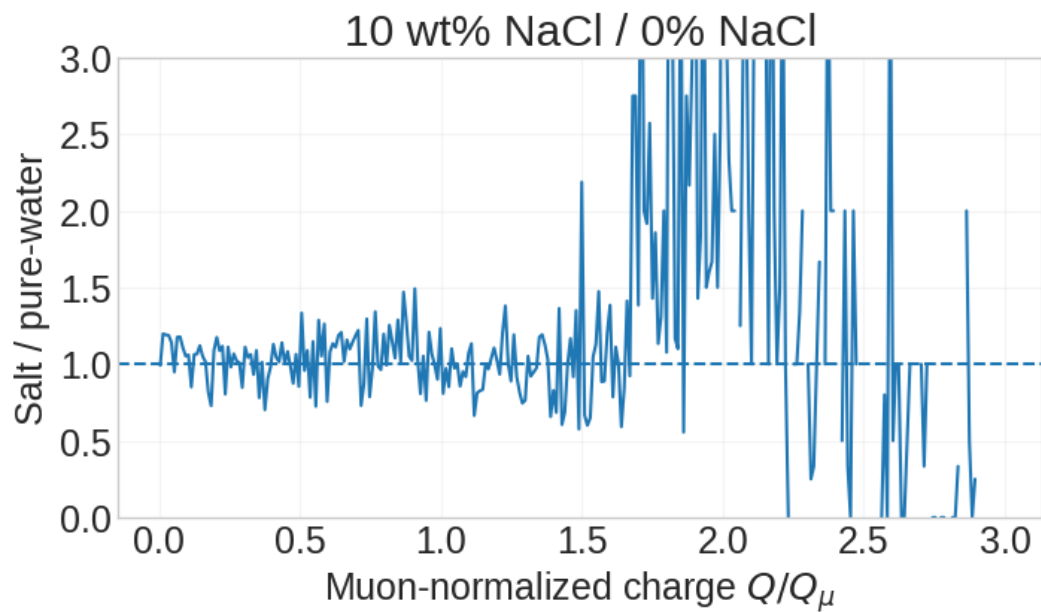
Absorpción óptica y los muones



Calibración con señal muónico



Extraer información de neutrones



Resumen intermedio

- Procesos físicos
 - NaCl ayuda detectar neutrones de albedo
 - Amplificación de la region con menos carga
 - Diminuición de señales con altas cargas
- Problema principal
 - Señal del albedo invisible en espectro total

Reevaluar la Inyección de Partículas

- Hasta ahora: Inyección en 1m² círculo
- Problema en simulación con suelo:
 - Neutrones capturados en el tanque nunca interactúan con el suelo
 - Partículas generadas en el suelo distribuidas sobre toda la área
- Simulaciones favorecen señal cósmica, pérdida del flujo lateral

Reevaluar la Inyección de Partículas

- Solución: Inyección sobre toda la área
- Redistribución del flujo:

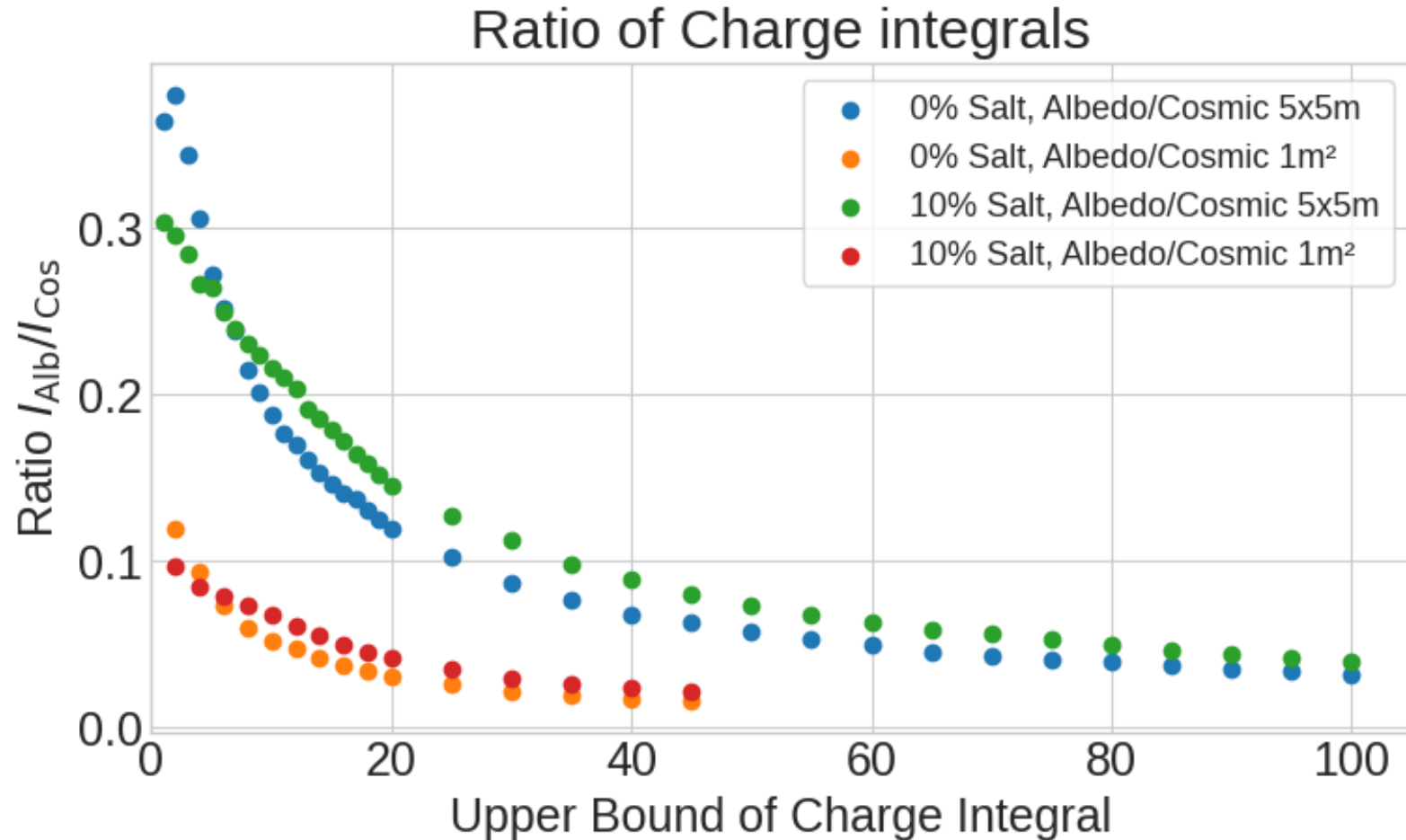
$$\Phi(500s, 1m^2) \rightarrow \Phi(20s, 25m^2)$$

- Ventaja: Mejor representación del Flujo lateral
- Desventaja: Estadística más baja

Comparación de Inyecciones

- Representación del flujo lateral
 - Componente Cósmico:
 - $N_{1m^2} = 84122 \rightarrow N_{25m^2} = 16194$: factor $\sim 1/5$
 - $t_{1m^2} = 500s \rightarrow t_{25m^2} = 20s$: factor 25
 - Taza aumenta por un factor ~ 4.8
 - Componente Albedo:
 - Taza aumenta por un factor ~ 16.2

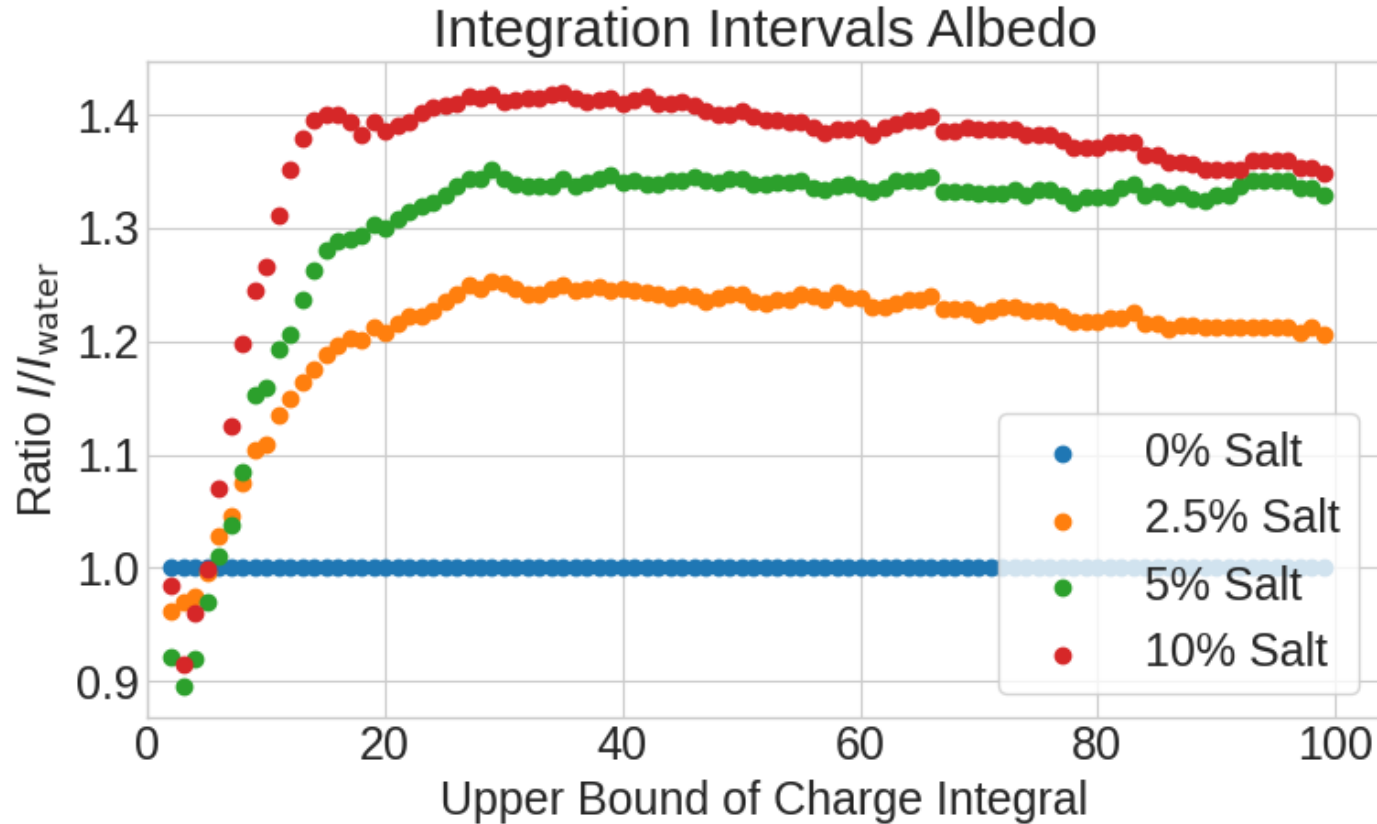
Comparación de Inyecciones



Simulación de Control

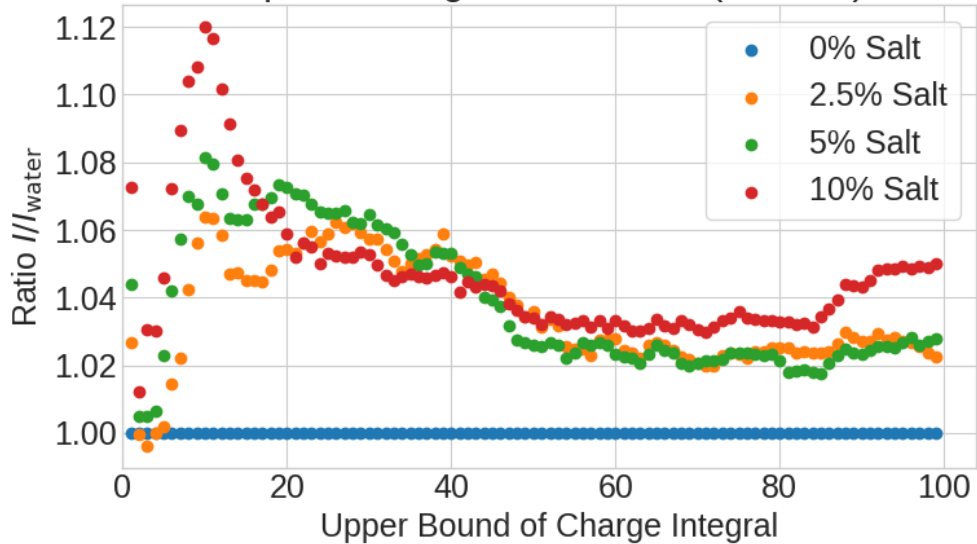
- Aumentar la área de inyección a 10x10m
 - $\Phi(500s, 1m^2) \rightarrow \Phi(5s, 100m^2)$
- Taza cosmica: $809.7 \text{ s}^{-1} \rightarrow 806.6 \text{ s}^{-1}$
- Taza albedo: $90.5 \text{ s}^{-1} \rightarrow 100.8 \text{ s}^{-1}$
 - Aumenta de $\sim 11\%$
 - Fluctuación de estadística Poisson $\sim 1/\sqrt{500} = 4.5\%$

Espectro Albedo

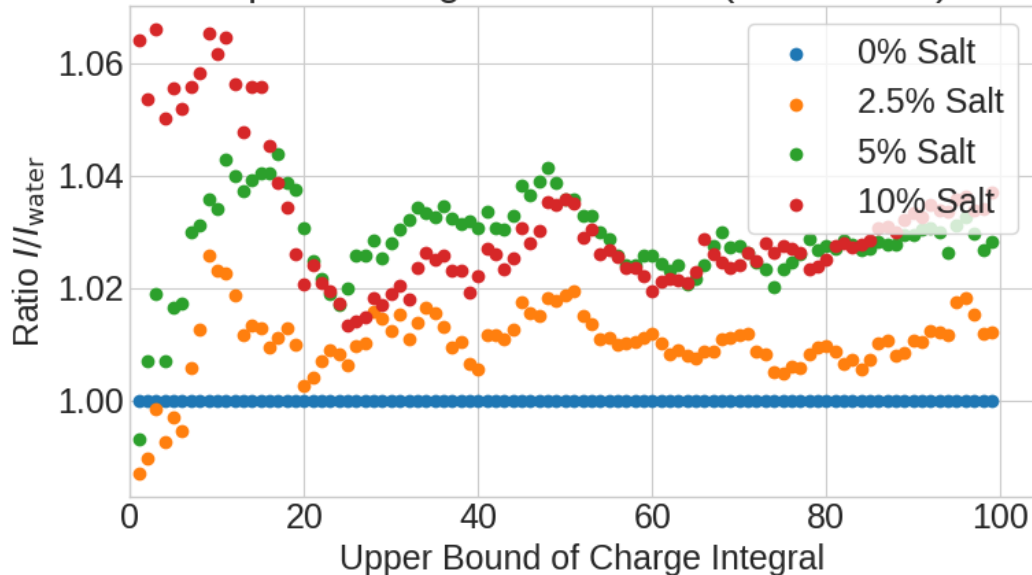


Espectro completo

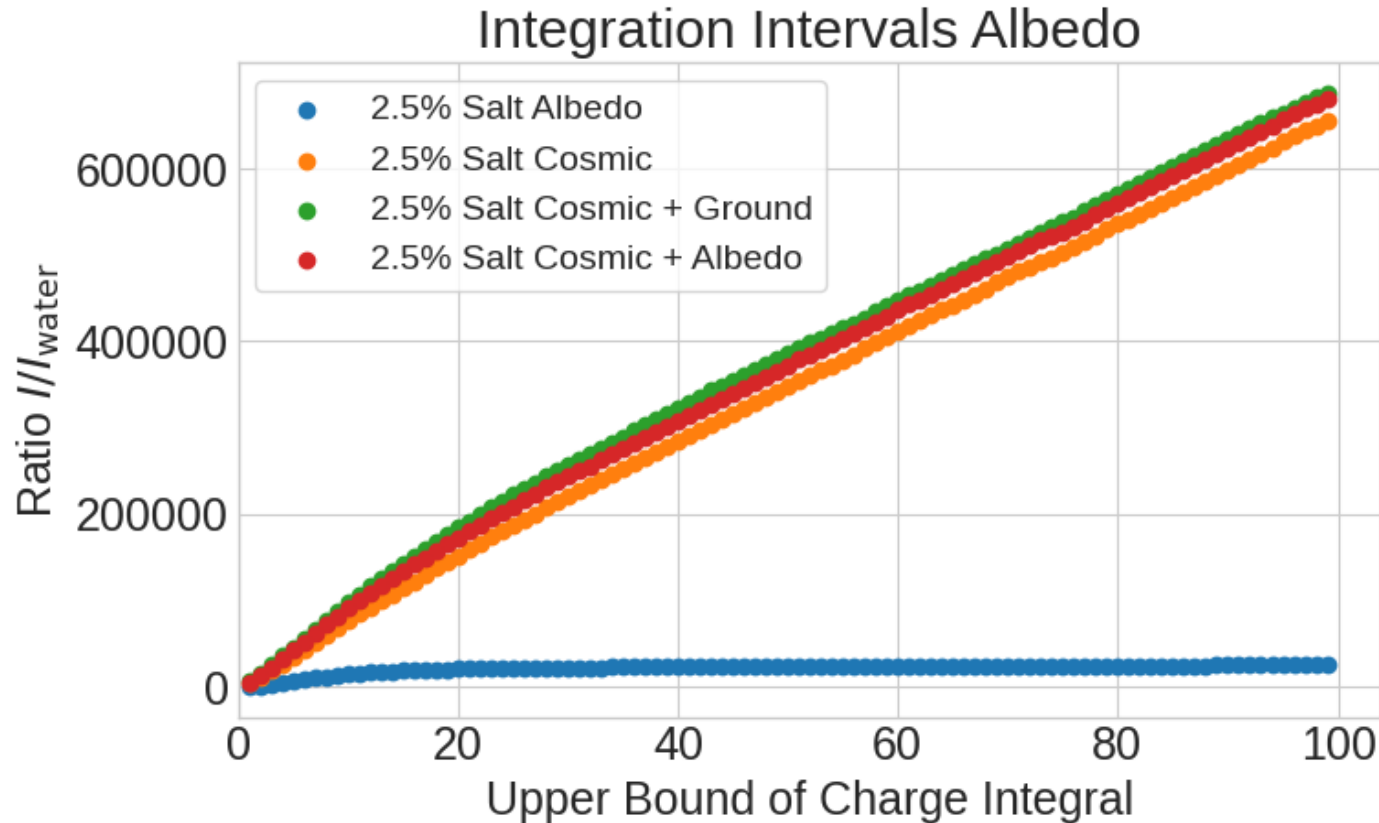
Optimal Integration Interval (Ground)



Optimal Integration Interval (No Ground)



Incertidumbres que quedan



Humedad del Suelo

- Complicaciones ver la influencia de NaCl en señal completo
- Pero: Con la correcta elección de área de inyección, flujo albedo mejor representado
 - Enfoque en cambio del espectro en presencia de Humedad

Implementación de Humedad

- Modelo anterior



Suelo Seco, compacto
 $\rho = \rho_{\text{grano}} = 2.7 \text{ g/cm}^3$

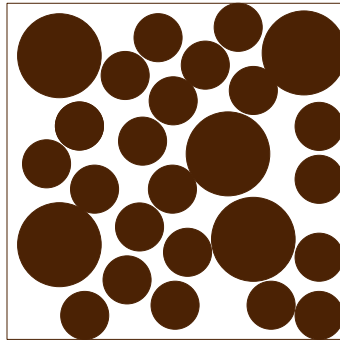


Suelo humedo, humedad **volumetrica** θ_V
Agua reemplaza suelo, densidad baja
 $\rho = \rho_{\text{grano}}(1-\theta_V) + \theta_V \rho_{\text{agua}} < 2.7 \text{ g/cm}^3$

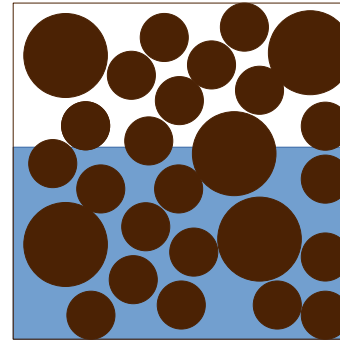
- Corrección importante: Geant4 necesita fracción de **masa**
humedad gravimetrica $\neq$ humedad volumetrica

Implementación de Humedad

- Revision del Modelo



Suelo Seco, suelto
 $\rho_{\text{grano}} = 2.7 \text{ g/cm}^3$
 $\rho = 1.45 \text{ g/cm}^3$



Suelo humedo, humedad **volumetrica** θ_V
Agua reemplaza aire, densidad aumenta
 $\rho = \rho_{\text{grano}} + \theta_V \rho_{\text{agua}} > 1.45 \text{ g/cm}^3$

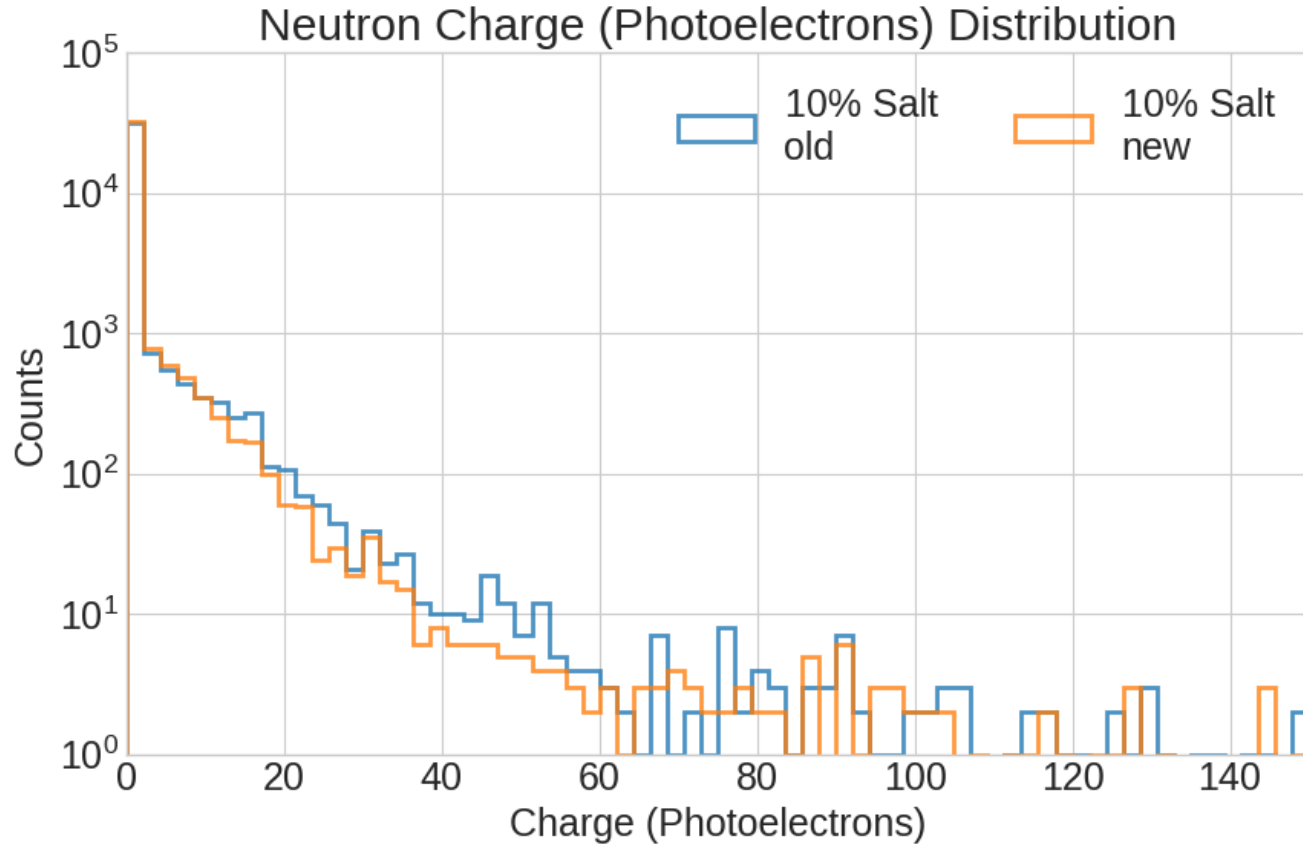
- Para pasar composicion a Geant4, convertir en fracción de masa: $w = \theta_V \cdot \rho_{\text{agua}} / \rho_{\text{humedo}}$

Proximos pasos

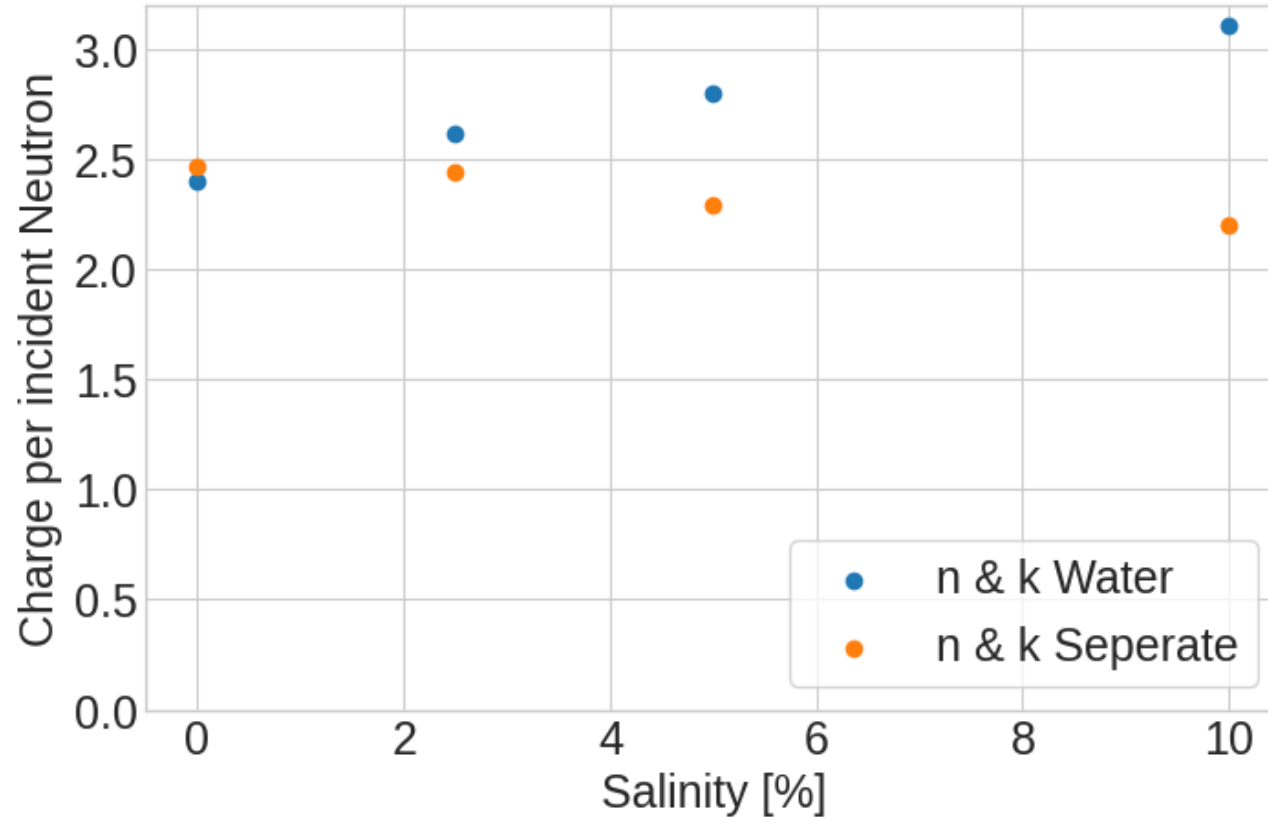
- Simulaciones con el nuevo modelo de humedad
- Si falla la análisis
 - Empezar análisis de los pulsos
 - Particulas tienen diferentes signaturas
 - Ideas para bloquear particulas cosmicas
- A la vez: realización experimental
- Opcional: Simulaciones con diferentes modelos de Absorpción (ya implementados)

Gracias por su atención

Análisis Electrónica



Análisis Electrónica



Modelo Semi-empírico

- Partes reales y imaginarios del index de refracción no son independientes:
 - Relaciones de Kramers-Kronig

$$n(\nu) = 1 + \frac{2}{\pi} \mathcal{P} \int_0^{\infty} \frac{\nu' k(\nu')}{\nu'^2 - \nu^2} d\nu',$$

$$k(\nu) = -\frac{2\nu}{\pi} \mathcal{P} \int_0^{\infty} \frac{n(\nu') - 1}{\nu'^2 - \nu^2} d\nu',$$

Modelo Semi-empírico

- Absorción es una combinación lineal

$$k(\nu) = \phi_s k^{(s)}(\nu) + \phi_w k^{(w)}(\nu)$$

- Absorción en un medio depende de **resonancias** moleculares
 - Modelo de sal disuelto como series de osciladores

$$k^{(s)}(\nu) = \sum_{j=1}^J \frac{B_j}{\pi} \left(\frac{\Gamma_j/2}{(\nu_{0,j} - \nu)^2 + (\Gamma_j/2)^2} - \frac{\Gamma_j/2}{(\nu_{0,j} + \nu)^2 + (\Gamma_j/2)^2} \right).$$

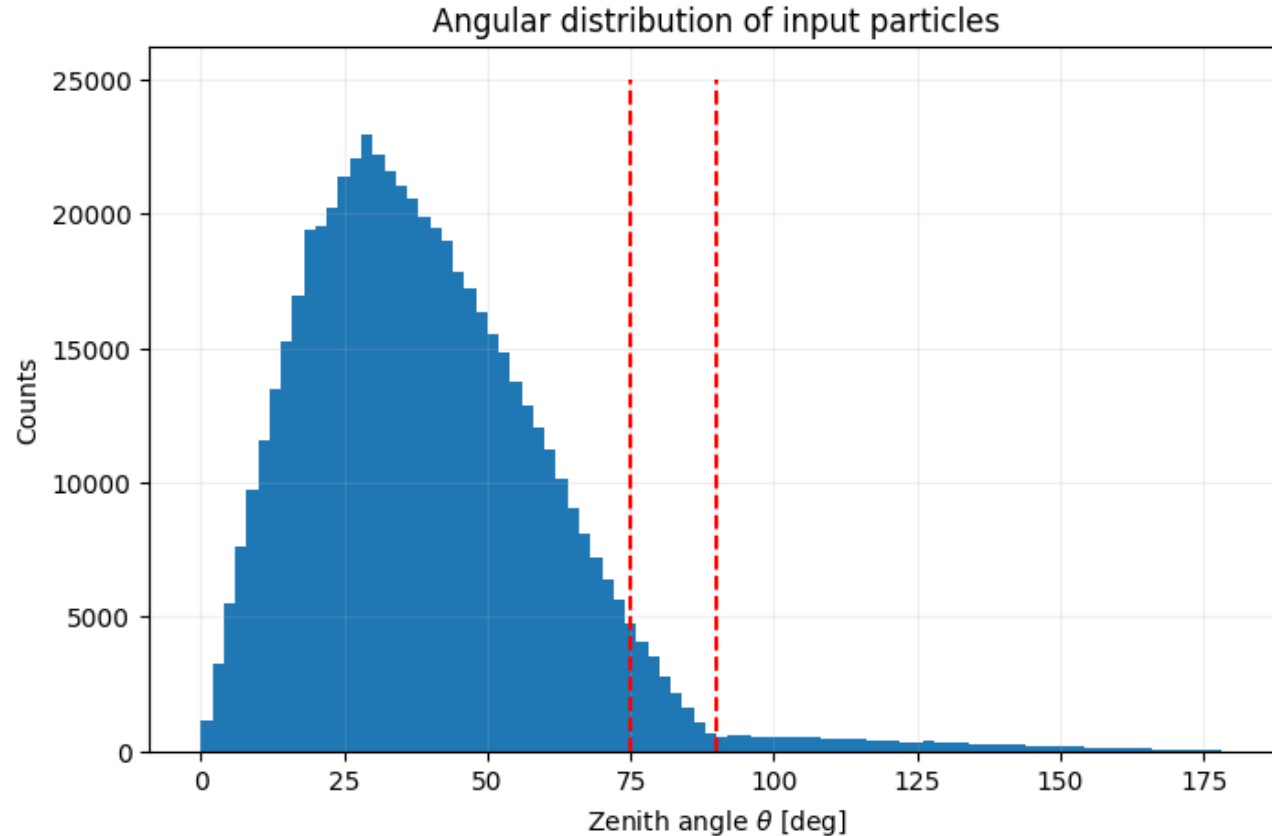
Modelo Semi-empírico

- Solución de NaCl absorbe debilmente en el espectro visible
 - Aproximación de un solo oscilador

$$n(\nu) = 1 + \phi_s \frac{2}{\pi} \frac{\tilde{B}\tilde{\nu}_0}{\tilde{\nu}_0^2 - \nu^2} + \phi_w(n^{(w)}(\nu) - 1),$$

$$k(\nu) = \phi_s \frac{2\nu}{\pi} \frac{\tilde{B}\tilde{\nu}_0\tilde{\Gamma}}{(\tilde{\nu}_0^2 - \nu^2)^2} + \phi_w k^{(w)}(\nu),$$

Distribucion Angular Flujo Cosmico



Distribucion Angular Flujo Albedo

