

# Reconstrucción de la Energía en el Telescopio de Neutrinos ANTARES

J. D. Zornoza<sup>1</sup>, J. A. Aguilar<sup>1</sup>, E. Carmona<sup>1</sup>, J. J. Hernández<sup>1</sup>, J. Zúñiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFIC - Instituto de Física Corpuscular (CSIC - Universitat de València), apdo. 22085, E-46071, Valencia

## I. INTRODUCCIÓN

La colaboración ANTARES<sup>1</sup> tiene por objetivo desplegar un detector de neutrinos en el mar Mediterráneo, a 2400 m de profundidad. Este detector consiste en una red tridimensional de fotomultiplicadores que recogerán la luz Cherenkov emitida por el muon producido en la interacción de corriente cargada de los neutrinos. El principal objetivo es la detección de neutrinos de origen cósmico, pero hay dos fuentes de fondo que dificultan esta tarea. Por un lado, los muones producidos por los rayos cósmicos en la atmósfera. Es precisamente para evitar este problema por lo que se construye el detector a tal profundidad. Además, sólo se aceptan las trazas ascendentes, ya que estas no pueden ser muones atmosféricos. Sin embargo, existe otra fuente de fondo que es más difícil de eliminar. Se trata de los neutrinos producidos por los rayos cósmicos en la atmósfera. Este es un tipo de fondo irreducible. La única manera de discriminar entre estos neutrinos atmosféricos y los neutrinos de origen astrofísico es reconstruyendo su energía, puesto que las predicciones teóricas indican que el flujo de neutrinos atmosféricos de alta energía ( $E > 100$  TeV) es despreciable. Por tanto, si reconstruimos sucesos con una energía mayor podemos descartar que hayan sido producidos por rayos cósmicos. Además, la reconstrucción del espectro puede ayudar a discriminar también entre las distintas predicciones sobre el flujo de los denominados neutrinos 'prompt', es decir, los producidos en la desintegración en la atmósfera de mesones con encanto.

## II. ESTIMADOR DE LA ENERGÍA

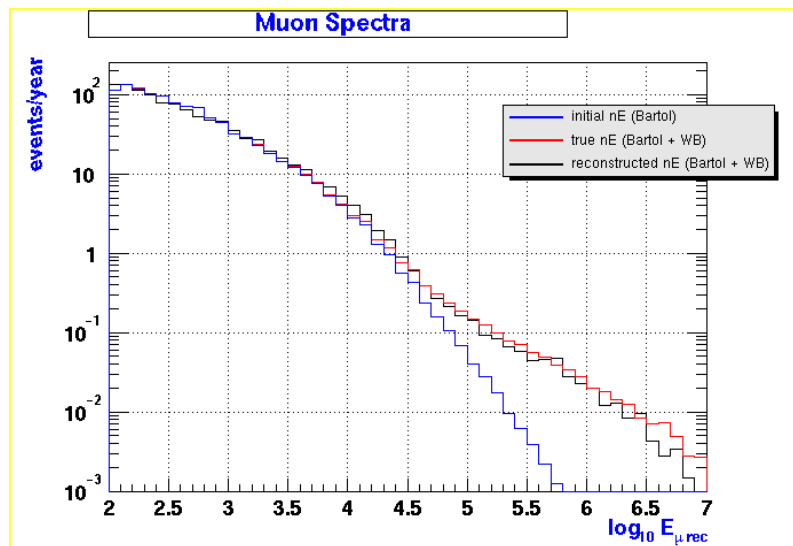
En este trabajo se presenta un método para reconstruir la energía de los muones detectados en ANTARES. Está basado en la relación entre la energía perdida por el muon y la propia energía del muon. Por debajo de la energía crítica ( $\sim 600$  GeV en el agua), la pérdida de energía está dominada por la ionización, de manera que la dependencia con la energía del muon es muy débil y es difícil la reconstrucción. Sin embargo, para  $E > E_{\text{crit}}$ , las pérdidas de origen radiativo (radiación de frenado, producción de pares, reacciones fotonucleares) dominan sobre las debidas a la ionización, y la pérdida de energía del muon crece linealmente con la energía. Asumiendo que la luz vista por los fotomultiplicadores es proporcional a la energía perdida, se puede definir un estimador que compara la luz detectada con la que se vería si el muon fuera una partícula de mínima ionización (MIP), según la siguiente ecuación:

$$x = n_{\text{hits}} \frac{\sum_i A_{\text{hit}}}{\sum_i A_{\text{MIP}}}$$

donde  $i$  recorre todos los *hits* (PMs con señal) para los que  $0.1 < A_{\text{hit}}/A_{\text{MIP}} < 100$ .

### III. DECONVOLUCIÓN ITERATIVA

Una vez definido este estimador, se reconstruye el espectro de muones mediante un método de deconvolución iterativa<sup>2</sup>. Los ingredientes iniciales del algoritmo de deconvolución son una hipótesis inicial sobre el flujo de muones  $n_0(E_j)$  y las distribuciones condicionales de probabilidad  $P(X_j|E_i)$ , que dan la probabilidad de que el valor del estimador sea  $X_j$  si la energía del muon es  $E_i$  y que son generadas por Monte Carlo. Usando el teorema de Bayes se pueden calcular las distribuciones  $P(E_i|X_j)$ , las cuales permiten, junto con los datos experimentales  $n(X_j)$ , reconstruir el espectro  $n(E_i)$ . Este espectro se compara con el inicial para determinar, según cierto criterio de convergencia, si es aceptable. Si no, se sustituye  $n_0(E_i)$  por  $n(E_i)$  y se repite la iteración hasta alcanzar la convergencia. Como se puede ver en la figura 1, tras cuatro iteraciones el espectro queda bien reconstruido.



**Figura 1** Espectro reconstruido (rojo) tras cuatro iteraciones del algoritmo de deconvolución. También se muestra el espectro verdadero (negro) y la hipótesis de partida (azul). Como espectro verdadero se ha simulado el fondo atmosférico (flujo de Bartol<sup>3</sup>) y una señal como el límite Waxman-Bahcall<sup>4</sup>. En la hipótesis de partida sólo estaba incluido el flujo de Bartol.

#### Referencias

- <sup>1</sup> Colaboración ANTARES, *A deep sea telescope for high energy neutrinos*, astro-ph/9907432, 1999.
- <sup>2</sup> G. D'Agostini, *A multidimensional unfolding method based on Bayes' theorem*, NIM A 362 (1995) 487.
- <sup>3</sup> V. Agrawal, T.K. Gaisser, P. Lipari and Stanev, *Atmospheric neutrino flux above 1 GeV*, Phys. Rev. D53 (1996) 1314.
- <sup>4</sup> E. Waxman and J.B. Bahcall, *High energy neutrinos from astrophysical sources: an upper bound*, Phys. Rev. D59 (1999) 023003.