

Introducción

Evelyn G. Coronel
Tesis de Maestría en Ciencias Físicas
Instituto Balseiro

(15 de junio de 2020)

I. ACERCA DE LA TESIS DE LICENCIATURA

En el trabajo de tesis de licenciatura se analizaron los efectos de las variaciones de los parámetros del clima sobre el desarrollo en la atmósfera de las lluvias atmosféricas. Se analizaron datos del arreglo de detectores espaciados 1500 m entre sí, conocido como *arreglo principal*, del Observatorio Pierre Auger en el periodo 2005-2018, extendiendo así los periodos de tiempo estudiados anteriormente en los siguientes trabajos[?],[?] y[?]. Se emuló los resultados de la corrección de la modulación del clima sobre el periodo 2005-2015 de la colaboración Pierre Auger[?], obteniéndose resultados compatibles. Se observó que posterior a la corrección, la modulación del clima se vio disminuida. Para eventos con energía mayor a 2 EeV, esta modulación es despreciable.

En el mismo trabajo, se estudió la modulación del clima mediante el valor del S_{38} sin la corrección propuesta por trabajos anteriores. Se observó que los parámetros del clima obtenidos de estos datos son compatibles con los utilizados en la reconstrucción oficial. Se realizó una corrección de los efectos atmosféricos a la energía con estos coeficientes, observándose que la modulación era despreciable para energías mayores a 2 EeV al igual que la reconstrucción oficial.

II. ACERCA DEL ARCHIVO CON TODOS LOS DISPAROS

El análisis anterior fue realizado sobre los eventos medidos por el arreglo principal utilizando el disparo estándar. Este disparo tiene una eficiencia completa para eventos de energía mayor a 2.5 EeV. Por lo que el análisis de anisotropías en el rango de energía entre 1 EeV - 2 EeV, requiere factores relacionados a la eficiencia función de la energía que se obteniendo de manera fenomenológica[?].

Para superar esta dificultad, a partir del año 2013 se implementó otros protocolos de disparo en el arreglo principal, llamados Mops y ToTs. Con esta mejora, la eficiencia completa se alcanza para una energía mayor a 1 EeV. De esta manera se aumenta la cantidad de eventos a estudiar en el rango 1 EeV - 2 EeV y no son necesarios factores relacionados a la eficiencia. La desventaja es que el disparo estándar tiene una mayor cantidad de datos ya que se adquieren datos desde el año 2004 con ese protocolo.

III. ACERCA DE LOS EVENTOS

A partir de los registros de eventos del arreglo principal con todos los disparos, se consideran solamente los eventos que cumplan las siguientes características:

1. Ángulo cenital $\theta < 60^\circ$
2. $ib = 1$ *Bad period flag*. Un valor de 1 indica un buen periodo en el cual los datos son recopilados sin inconvenientes.
3. Buena reconstrucción de la lluvia atmosférica asociada al evento
4. La cantidad de vecinos alrededor del tanque con mayor señal sea de 6 tanques.

IV. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE FOURIER PARA EL ANÁLISIS DE ANISOTROPÍA EN ASCENSIÓN RECTA

1. Variaciones relativas de los hexágonos

1. Se establecen una frecuencia a estudiar f y el rango de tiempo de análisis, por ejemplo la frecuencia solar $f_{Solar} = 365.25$ ciclos en un año entre los años 2013 y 2020.
2. Existe un registro del Observatorio de los hexágonos 6T5 que se actualiza cada 5 min. Cada dato tomado durante el rango seleccionado, se clasifica según la cantidad de horas t desde un momento de referencia t_0 . Esta referencia t_0 es el 1 de Enero del 2004 a las 00 : 00 : 00 GMT, o 21 hrs según la hora local de Malargüe.
3. Podemos asociar una coordenada angular, medida en horas, a t y f de la siguiente manera

$$h = t \times \frac{f}{f_{Solar}}$$

El factor f/f_{Solar} sirve para hacer un escaleo de las horas. Se usa como referencia la f_{Solar} dado que las horas (solares) se basan en esta frecuencia.

4. Para simplificar el cálculo del peso de los hexágonos, se divide las 24 horas en L segmentos de $24/L$ hrs

cada uno. Para clasificar un dato se toma el valor h y se calcula

$$h' = h \bmod 24 \quad (1)$$

donde la función \bmod representa la función módulo. Luego con el valor de h' se asigna al dato con el segmento k correspondiente.

$$k = \left\lceil \frac{h'}{24} \times L \right\rceil \quad (2)$$

donde $\lceil a \rceil$ representa la función techo. Por ejemplo, si $L = 24$ y $h = 44.5$ hr implica que $h' = 14.5$ hr, que corresponde al segmento en la 15ª posición.

- Una vez clasificado todos los datos del registro de hexágonos, se calcula la suma $N_{hex,j}$ de los registros de hexágonos que cayeron un segmento j dado.
- Para definir la variación relativa de hexágonos $\Delta N_{cell,k}$ de un segmento k en particular, se necesita la media de hexágonos por segmento:

$$\langle N \rangle = \sum_{i=1}^L \frac{N_{hex,i}}{L} \quad (3)$$

Una vez obtenido este valor, podemos calcular $\Delta N_{cell,k}$, como

$$\Delta N_{cell,k} = \frac{N_{cell,k}}{\langle N \rangle} \quad (4)$$

En la Fig.1 se observa valores obtenidos de $\Delta N_{cell,k}$ en función de h' para las frecuencias sidérea, solar y antisidérea para $L = 288$ segmentos.

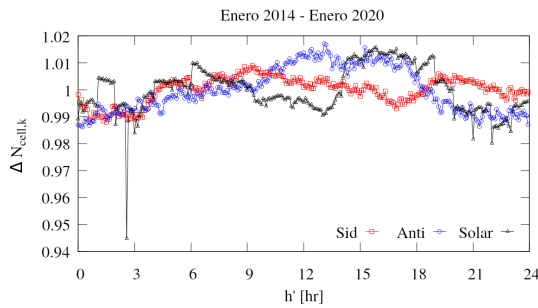


Fig. 1: Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2005-2020 para distintas frecuencias.

2. Cálculo de Rayleigh para una frecuencia dada

- Fijando un rango de tiempo y un rango de energía en el cual se desea estudiar la anisotropía, se establece una frecuencia en particular f a analizar.

- Con los eventos ya filtrados según el criterio de la sección III, asigno cada evento i un valor h_i , definida en la Ec.3

- Para asignar el peso correspondiente al evento, se asocia a un segmento k , calculado en la sección IV 1, mediante el valor de h'_i definido en la Ec. 1. Luego, el peso asignado w_i al evento i es

$$w_i = (\Delta N_{cell,k})^{-1}$$

- Para el análisis en frecuencias, a partir del valor de h_i se asigna un ángulo $\tilde{\alpha}_i$ como:

$$\tilde{\alpha}_i = 2\pi \frac{h}{24} + \alpha_i - \alpha_{cenit,i} \quad (5)$$

donde α_i representa la ascensión recta del evento y $\alpha_{cenit,i}$ la ascensión recta en el cenit del observatorio en el momento del evento. A partir de este ángulo $\tilde{\alpha}_i$ se realiza en análisis en frecuencias.

- Para calcular los coeficientes de Fourier del primer armónico a y b , se siguen los siguiente pasos:

- Por cada evento i se calculan los siguientes valores:

$$a'_i = w_i \cos \tilde{\alpha}_i \quad b'_i = w_i \sin \tilde{\alpha}_i \quad (6)$$

- Una vez que se obtuvieron los valores de a'_i y b'_i para todos los eventos en el rango de tiempo estudiado, se calculan los coeficientes mediante:

$$\mathcal{N} = \sum_i^{Eventos} w_i \quad (7)$$

$$a = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} a'_i \quad (8)$$

$$b = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} b'_i \quad (9)$$

- Con los coeficientes es posible calcular la amplitud de la frecuencia estudiada \tilde{r} y la fase ϕ . Otros parámetros calculados para el análisis son la probabilidad $P(\tilde{r})$ de que la amplitud obtenida sea producto de una variación de ruido, y el valor de amplitud r_{99} para que dicha probabilidad sea del 1 %.

$$\tilde{r} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \phi = \arctan \frac{a}{b} \quad (10)$$

$$P(\tilde{r}) = \exp(-\mathcal{N} \frac{\tilde{r}^2}{4}) \quad r_{99} = \sqrt{\frac{-4 \log(0.01)}{\mathcal{N}}} \quad (11)$$