

Informe de Avance

Evelyn G. Coronel
Tesis de Maestría en Ciencias Físicas
Partículas y Campos – Centro Atómico Bariloche
Instituto Balseiro

(16 de junio de 2020)

I. INTRODUCCIÓN

A. 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 [1], [2] y [3]. Se emuló los resultados de la corrección de la modulación del clima sobre el periodo 2005-2015 de la colaboración Pierre Auger [3], 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.

B. 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 [4].

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.

C. Acerca de los eventos

Para poder prescindir de los factores de corrección a los datos de los eventos, se aplican cortes a los datos para asegurar la eficiencia completa de los detectores. Por eso se implementan límites en ángulo cenital, en la cantidad de vecinos al tanque de mayor señal, además de restringirse a los datos fueron medidos en condiciones normales, es decir cuando los sistemas de comunicación del Observatorio funciona sin inconvenientes.

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.

D. 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 del 31 de Diciembre del 2003, según la hora local de Malargüe.
3. Podemos asociar una coordenada angular, medida en horas, a t y f de la siguiente manera

$$h = t \times \frac{f}{f_{Solar}} \quad (1)$$

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

$$h' = h \bmod 24 \quad (2)$$

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

$$k = \left\lceil \frac{h'}{24} \times L \right\rceil \quad (3)$$

donde $\lceil a \rceil$ representa la función techo [5]. Por ejemplo, si $L = 24$ y $h = 44.5$ hr implica que $h' = 20.5$ hr, que corresponde al segmento en la 21^a posición.

5. 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.
6. 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:

$$\langle N \rangle = \sum_{i=1}^L \frac{N_{hex,i}}{L} \quad (4)$$

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

$$\Delta N_{cell,k} = \frac{N_{cell,k}}{\langle N \rangle} \quad (5)$$

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.

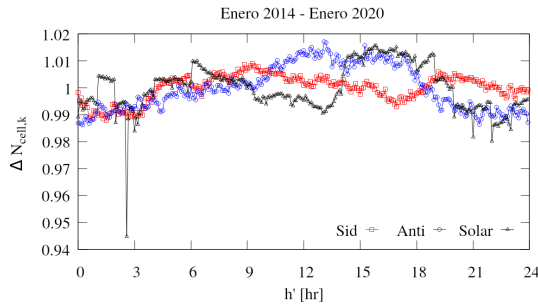


Fig. 1: Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2014-2020 para distintas frecuencias.

2. Cálculo de Rayleigh para una frecuencia dada

1. 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.
2. Con los eventos ya filtrados según el criterio de la sección IC, asigno cada evento i un valor h_i , definida en la Ec.1
3. Para asignar el peso correspondiente al evento, se asocia a un segmento k , calculado en la sección ID 1, mediante el valor de h'_i definido en la Ec. 2. Luego, el peso asignado w_i al evento i es

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

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

$$\tilde{\alpha}_i = 2\pi \frac{h}{24} + \alpha_i - \alpha_{cenit,i} \quad (6)$$

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.

5. Para calcular los coeficientes de Fourier del primer armónico a y b , se siguen los siguientes pasos:

- a) Por cada evento i se calculan los siguientes valores:

$$a'_i = w_i \cos \tilde{\alpha}_i \quad (7)$$

$$b'_i = w_i \sin \tilde{\alpha}_i \quad (8)$$

- b) 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:

$$\mathcal{N} = \sum_i^{Eventos} w_i \quad (9)$$

$$a = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} a'_i \quad (10)$$

$$b = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} b'_i \quad (11)$$

6. 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 %.

$$\tilde{r} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (12)$$

$$\phi = \arctan \frac{a}{b} \quad (13)$$

$$P(\tilde{r}) = \exp\left(-\mathcal{N} \frac{\tilde{r}^2}{4}\right) \quad (14)$$

$$r_{99} = \sqrt{\frac{-4 \log(0.01)}{\mathcal{N}}} \quad (15)$$

II. VARIACIÓN DE LOS HEXÁGONOS Y PESO DE LOS EVENTOS

Los pesos de los eventos son importantes para el cálculo de anisotropías, ya que las mismas son pequeñas y eliminar todo factor espúreo en el análisis es importante. Para una representación fiel entre los registros de los hexágonos y los pesos de los eventos, se optó por utilizar 288 segmentos ya que si consideramos para 24 hrs del día, cada segmento tiene un ancho de 5 min. Esto es conveniente ya que la actualización tanto del clima como de los hexágonos se realiza una vez cada 5 min.

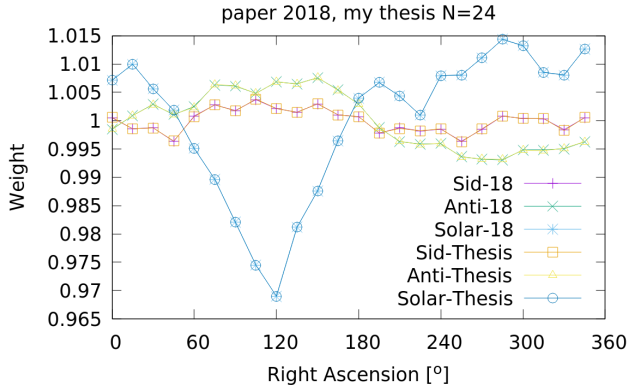


Fig. 2: Usando 24 bins para las frecuencias sidérea, anti-sidérea y solar, se compara el paper del 2018 con lo que obtengo en la tesis.

A. Acerca del algoritmo

Otra cosa que me resultó curiosa fue que usando $N = 360$, tengo problemas con la frecuencia solar, donde aparecen 0 cada 5 min, coincide con el rate de actualización del archivo de weather. Así usando este bineado, aparece ese problema, recomendaría no trabajar con bins de 1° en ascensión recta.

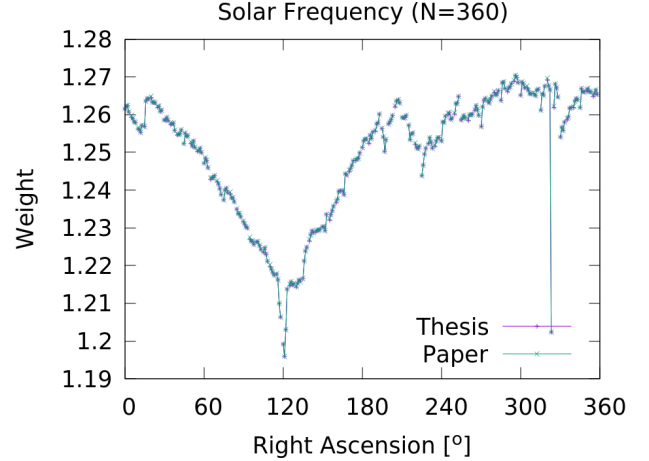


Fig. 3: Usando 360 bins, nótese que la media es distinta a la figura anterior.

1. Para $N=288$

El gráfico que me envió usted, sobre los pesos para estas frecuencias es la Fig. 4. La discusión sobre estos resultados en particular es análoga al caso para $N = 360$, con la diferencia que no tengo valores de anómalos que se ven para la frecuencia solar, Fig. 6.

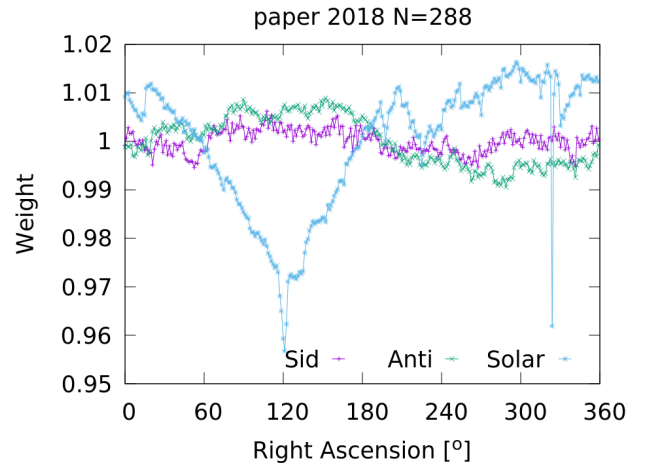


Fig. 4: Los pesos para las tres frecuencias tal como se calcula en el paper del 2018.

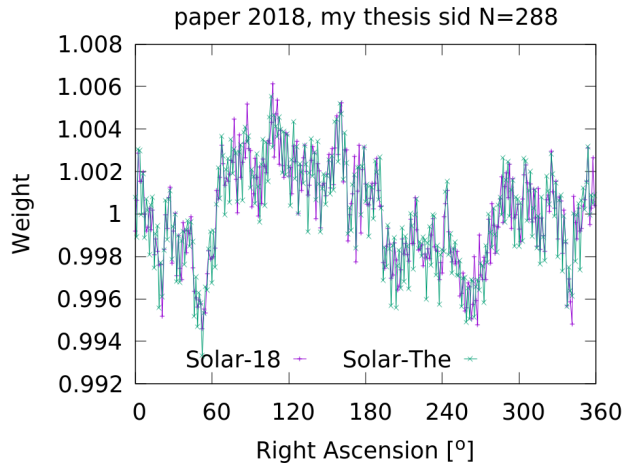


Fig. 5: Comparando los resultados del paper con mi código para la frecuencia sidérea para N=288

Ya en la Fig. 5, se ve que la media de los pesos es algo razonable comparándolo con N=360, Fig.3. Además que el error porcentual, usando como referencia los resultados del paper del 2018, es pequeña. La misma se muestra en la Fig. ??.

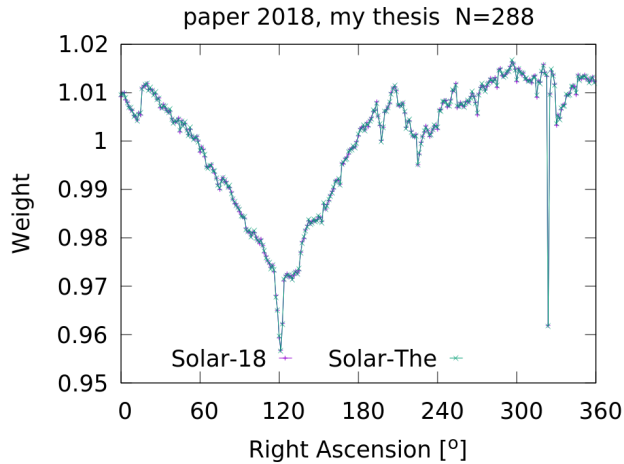


Fig. 6: Pesos para la frecuencia solar.

Para la frecuencia anti-sidérea no hay mucha diferencia a los obtenido para el caso de N=360. Los pesos se muestran en la Fig. 7 y el error con respecto al valor del paper se muestra en la Fig. 8.

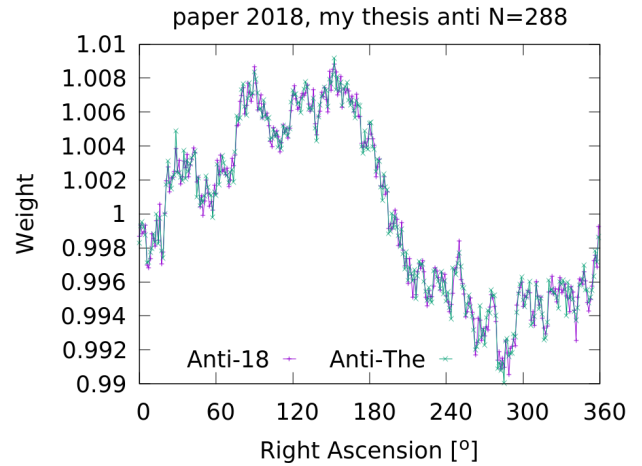


Fig. 7: Pesos para la frecuencia anti-sidérea

III. DIPOLO EN EL BIN 1 EEV - 2 EEV

A. Características del conjunto de datos

Además de los filtros aplicados mencionados en la sección IC, se aplican filtros adicionales sobre la energía y el rango de tiempo. Para estudiar los eventos en esta sección, consideramos los eventos entre 1 EeV y 2 EeV de energía y que ocurrieron entre las 12 : 00 : 00 GMT del 1 de enero de 2004 y las 12 : 00 : 00 GMT del 1 de enero de 2020. Se optó por elegir ese rango de tiempo, dado que el registro de eventos más reciente al que se tuvo para hacer este trabajo termina el 1 de Enero del 2020 a las 8 : 59 : 43 GMT, además de para estudiar una cantidad entera de años, se optó por considerar los eventos desde el 1 de Enero del 2013 a las 12 : 00 : 00 GMT.

Un resumen de todos los filtros aplicados se encuentra a continuación

1. Son eventos obtenidos mediante todos los disparos.
2. Energía entre [1 EeV , 2 EeV)
3. Rango de tiempo:
 - Inicial:1388577600 (Thursday, 1 January 2014 12:00:00 GMT)
 - Final: 1577880000 (Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT)
4. Ángulo cenital $\theta < 60^\circ$
5. 6T5
6. $ib = 1$ Bad period flag. Un valor de 1 indica un buen periodo

Aplicando estos filtros, se tienen 1 081 844 eventos para estudiar en este rango de energía.

B. Pesos de los eventos

Considerando los algoritmos en las secciones ID 1 y ID 2

Aca quiero explicar porque es el óptimo 288.. Aca quiero mostrar lo que es con 8 EeV

Para solucionar el desfase entre los pesos que obtengo mediante la hora local y la ascensión recta, lo que hice fue poner adrede un valor de desfase cuando calculo el valor h , le agregue 2 hr.

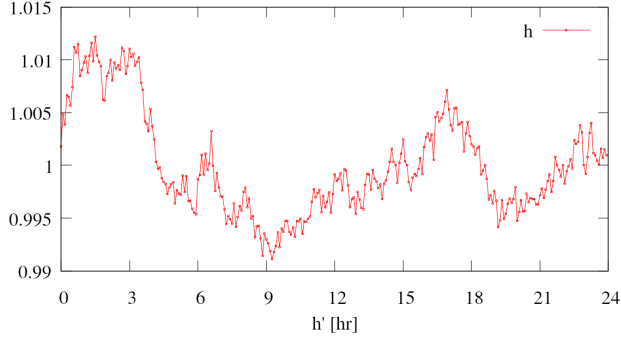


Fig. 8: Usando el valor h para calcular los pesos.

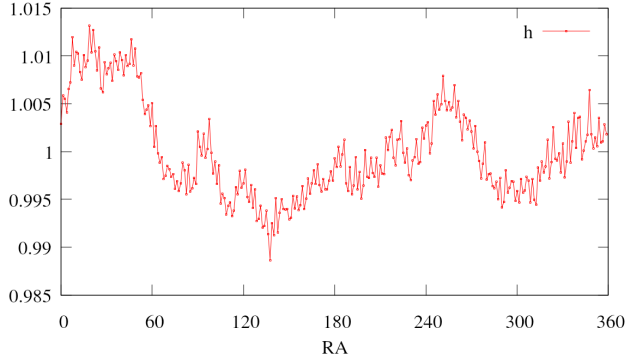


Fig. 9: Usando la ascensión recta para calcular los pesos.

1. Bineado de eventos (va a ir al final)

Clasificando a los eventos mencionados en la sección IV A según el valor de la ascensión recta

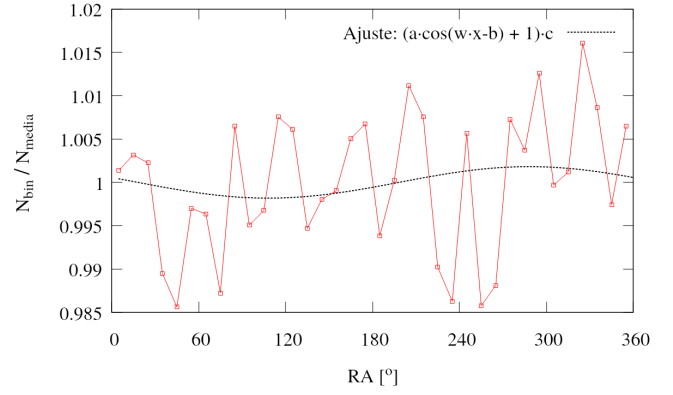


Fig. 10

Si realizamos un ajuste de una función del tipo $f(x) = c \cdot (1 + a \cdot \cos(\omega x - \phi))$, se obtiene los siguientes valores

Fase $\phi : 288(60)^\circ$

Amplitud $a : 0.002(2)$ [6]

C. Grafico de la anisotropia

Lo de agregar un desfase adrede al valor de h se puede hacer porque ya que para definir el valor del peso del evento, solo tiene que se debe ser consistente los valores de h . Lo que no estoy teniendo en cuenta al hacer esta afirmación es que es cuando calculo la coordenada angular sobre la que hago el analisis en frecuencia

$$\tilde{\alpha}_i = 2\pi \frac{h}{24} + \alpha_i - \alpha_{cenit,i}, \quad (16)$$

tiene en cuenta el valor de h . Probe en cambiar este desfase de 2 hr a otros valores arbitrarios para ver que pasaba. Lo que obtuve fue que la amplitud r en el analisis de anisotropia se mantiene igual, pero la fase cambia. Los valores que muestro a continuación son dejando el desfase de h como 2 hr.

1. Tabla comparando:

	Solar	Siderea
Fase ϕ	30(7)	356(5)
Amplitud a	0.0047(6)	0.0038(6)

Tabla I: tabla

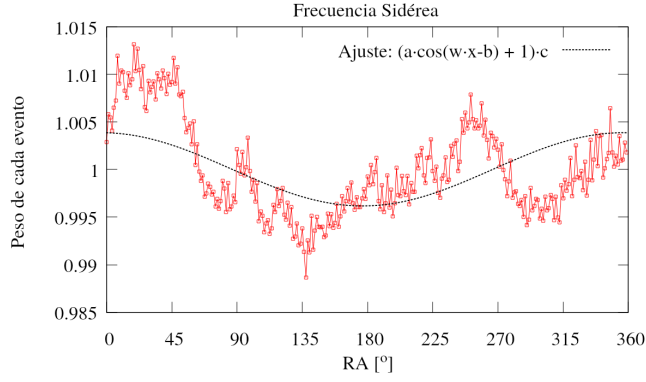


Fig. 11: El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de h para clasificar.

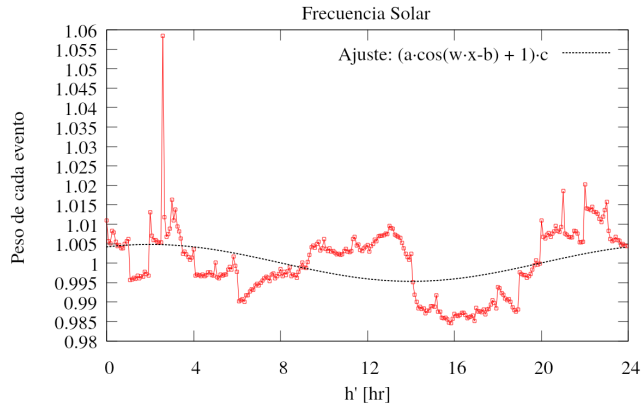


Fig. 12: El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de la ascensión recta para clasificar.

2. Análisis de anisotropías en ascensión recta

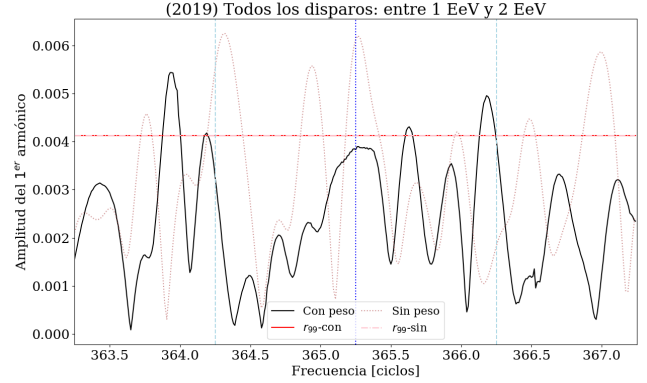


Fig. 13: Anisotropía en función de la frecuencia, se comparan los análisis sin los pesos y con los pesos de los hexágonos

	Solar (sin peso)	Sidérea (sin peso)
Fase ϕ	224.681	335.104
Amplitud r	0.00706339	0.00404635

Tabla II: Tabla

	Solar (con peso)	Sidérea (con peso)
Fase ϕ	286.567	335.104
Amplitud r	0.00383264	0.00404635

Tabla III: Tabla

- [1] J. Abraham, P. Abreu, M. Aglietta, C. Aguirre, E. Ahn, D. Allard, I. Allekotte, J. Allen, P. Allison, J. Alvarez-Muniz, *et al.*, *Astroparticle Physics* **32**, 89 (2009).
- [2] P. Abreu, M. Aglietta, M. Ahlers, E. Ahn, I. F. d. M. Albuquerque, D. Allard, I. Allekotte, J. Allen, P. Allison, A. Almela, *et al.*, *Astroparticle Physics* **35**, 591 (2012).
- [3] A. Aab, P. Abreu, M. Aglietta, I. Al Samarai, I. Albuquerque, I. Allekotte, A. Almela, J. A. Castillo, J. Alvarez-Muniz, G. Anastasi, *et al.*, *Journal of Instrumentation* **12**, P02006 (2017).
- [4] O. Taborda, “Estudios de anisotropías a grandes escalas angulares de los rayos cósmicos de alta energía detectados

- por el observatorio Pierre Auger,” (2017).
- [5] La función techo da como resultado el número entero más próximo por exceso.
- [6] El archivo que bajo de <http://ipnwww.in2p3.fr/~augers/AugerProtected/herald.php>.
- [7] 1372680308.
- [8] 1388577600.
- [9] 1577880000.
- [10] Valor de S38 sin la corrección del clima del paper del 2017.
- [11] Las correcciones se calcularon para el archivo del disparo estándar.
- [12] Sí, el error es del 100 % para el ajuste.