

# East-West Method Analysis over the All Triggers Dataset

E. Coronel, S. Mollerach

February 2021

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante el método East-West con los eventos de Todos los Disparos, para distintos rangos de energía. Estos resultados se comparan con los valores obtenidos en [1] sobre los eventos del Disparo Estándar.

Los eventos son clasificados en los distintos rangos mediante la energía reportada por la Colaboración. El conjunto de eventos registrados con Todos los Disparos abarca los años 2014 y 2019, y para el Disparo Estándar se listan eventos medidos entre el 2004 y 2018. Las características de estos dos conjuntos de datos se especifican en la Tabla 1

Rango Tiempo	Todos 6 años	Inicio	1 de Enero, 2014
		Fin	1 de Enero, 2020
	Estándar 14.7 años	Inicio	1 de Enero, 2004
		Fin	1 de Agosto, 2018

Rango [EeV]		0.25 - 0.5	0.5 - 1	1 - 2
Eventos	Todos	3 967 368	3 638 226	1 081 846
	Estándar	770 316	2 388 467	1 243 103
Energía Media	Todos	0.38	0.69	1.32
	Estándar	0.43	0.70	1.28

Table 1: Características de los conjuntos de datos para distintos rangos de energía

## 1 Resultados en distintos rangos de energía

### 1.1 Resultados en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV

En la Tabla 2 se presentan los resultados para este rango de energía en las frecuencias solar y sidérea de Todos Los Disparos. Los mismos se comparan con resultados con el Disparo Estándar que fueron reportados en [1]. Los valores de  $\sigma$  de Todos los Disparos es la mitad que el valor reportado para el Disparo Estándar, esto se debe a que el primer conjunto de datos tiene registrados  $\sim 5$  veces más eventos que el segundo.

	Todos los disparos		Disparo Estándar
Frecuencia:	Solar	Sidérea	Sidérea [1]
Amplitud $r$ [%]:	$0.17^{+0.22}_{-0.07}$	$0.12^{+0.24}_{-0.03}$	$0.5^{+0.4}_{-0.2}$ [2]
$r_{99}$ [%]:	0.58		1.1[2]
$r^{UL}$ [%]:	0.67	0.64	1.4[2]
$\sigma$ [%]:	0.19		0.38[2]
Amplitud $d_{\perp}$ [%]:	-	$0.16^{+0.31}_{-0.04}$	$0.6^{+0.5}_{-0.3}$
$d_{99}$ [%]:	-	0.73	1.5 [2]
$d_{\perp}^{UL}$ [%]:	-	0.80	1.8
$\sigma_{x,y}$ [%]:	-	0.24	0.48
Probabilidad :	0.66	0.81	0.45
Fase[°]:	$221 \pm 77$	$280 \pm 90$	$225 \pm 64$
$\langle \cos \delta \rangle$	0.79		0.79 [2]
$\langle \sin \theta \rangle$	0.46		0.52 [2]

Table 2: Características para las frecuencias solar y sidérea con el método East-West en el primer armónico en rango de energía 0.25 EeV - 0.5 EeV.

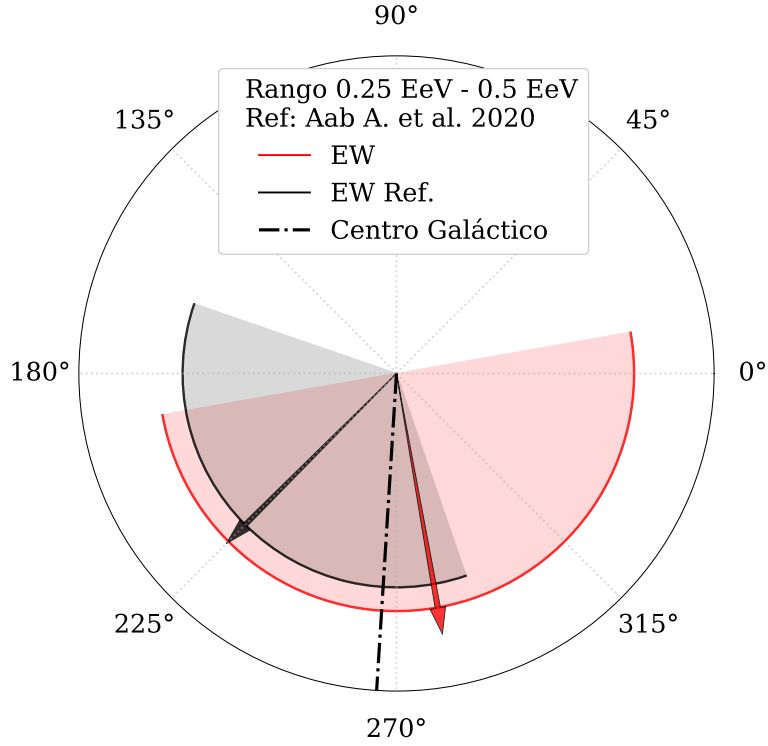


Figure 1: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en el trabajo Aab A. et al. (2020) [1] con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia sidérea en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV.

En la Fig. 1 se comparan las fases en frecuencia sidérea obtenida en este trabajo y la reportada en [1], donde la línea punteada marca la dirección del centro galáctico. En esta figura en la tabla anterior, se observa que la incertidumbre obtenida para la fase de Todos los Disparos es amplia, esto se debe a que la amplitud  $r$  es pequeña comparada con el valor de  $\sigma$ .

Realizando el barrido de frecuencias con la variable de la Ec.??, se obtiene que en este rango de energía las amplitudes se distribuyen en frecuencia como se muestra en la Fig.2. La línea horizontal indica el valor de  $r_{99}$  para cada frecuencia, además se observa que ninguna amplitud supera dicho umbral.

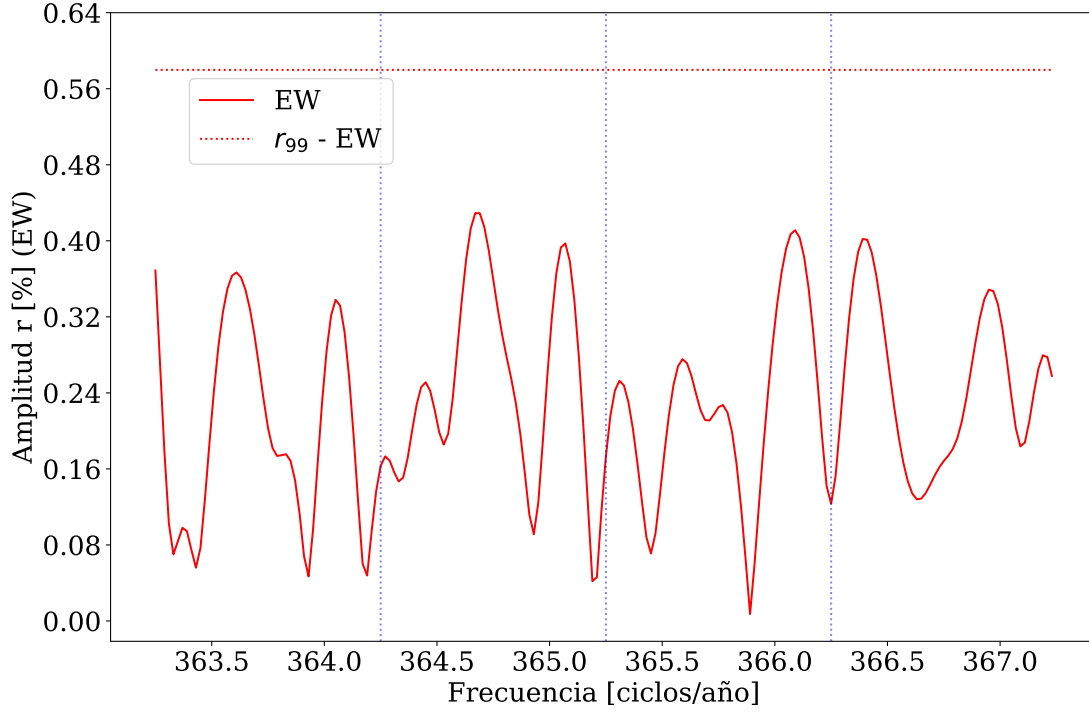


Figure 2: Barrido de frecuencias en el rango 0.25 EeV - 0.50 EeV mediante el método East-West.

## 1.2 Resultados en el rango 0.5 EeV - 1 EeV

En la Tabla 2 se presentan los resultados para el rango 0.5 EeV - 1 EeV en las frecuencias solar y sidérea de Todos Los Disparos, además se comparan con los resultados reportados en [1].

El barrido de frecuencias con la variable de la Ec.?? para este rango de energía se observa en la Fig.3. La línea horizontal indica el valor de  $r_{99}$  para cada frecuencia, además se observa que ninguna frecuencia supera dicho umbral.

En la Fig. 4 se comparan las direcciones en las que apuntan la fase en frecuencia sidérea obtenida en este trabajo con la obtenida en [1]. En esta figura se observa que resultados similares entre sí en valor e incertidumbre, y apuntan a una dirección cercana al centro galáctico.

	Todos los disparos		Disparo Estándar
Frecuencia:	Solar	Sidérea	Sidérea [1]
Amplitud $r$ [%]:	$0.43^{+0.21}_{-0.14}$	$0.44^{+0.21}_{-0.14}$	$0.38^{+0.20}_{-0.14}$ [2]
$r_{99}$ [%]:	0.56		0.64 [2]
$r^{UL}$ [%]:	0.89	0.90	0.90 [2]
$\sigma$ [%]:	0.18		0.21 [2]
Amplitud $d_{\perp}$ [%]:	-	$0.56^{+0.27}_{-0.18}$	$0.5^{+0.3}_{-0.2}$
$d_{99}$ [%]:	-	0.71	0.8 [2]
$d_{\perp}^{UL}$ [%]:	-	1.1	1.1
$\sigma_{x,y}$ [%]:	-	0.23	0.21
Probabilidad :	0.065	0.055	0.20
Fase[°]:	$205 \pm 34$	$258 \pm 34$	$261 \pm 43$
$\langle \cos \delta \rangle$	0.79		0.79 [2]
$\langle \sin \theta \rangle$	0.50		0.54 [2]

Table 3: Características para las frecuencias solar v sidérea con el método East-West en el primer

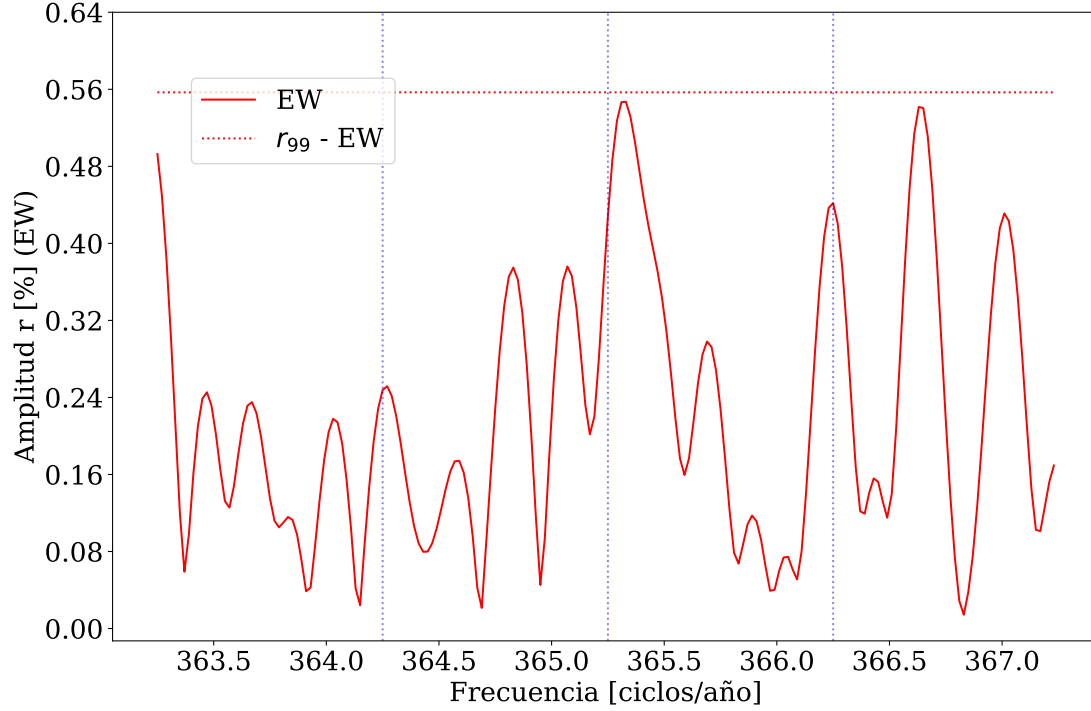


Figure 3: Barrido de frecuencias en el rango 0.5 EeV - 1.0 EeV mediante el método East-West.

### 1.3 Resultados en el rango 1 EeV - 2 EeV

En las Tablas 4 se comparan los resultados de este trabajo para la frecuencia solar. Las amplitudes están por debajo de  $r_{99}$  y son compatibles entre sí.

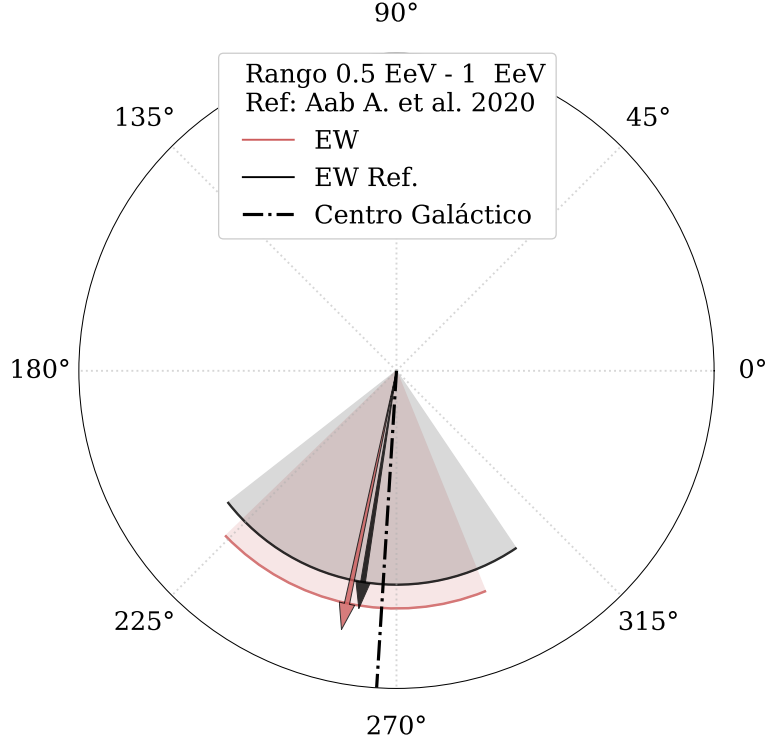


Figure 4: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en el trabajo Aab A. et al. (2020) [1] con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia sidérea en el rango 0.5 EeV - 1.0 EeV.

	Todos los disparos	
	Rayleigh	East - West
Frecuencia:	Solar	
Amplitud $r$ [%]:	$0.24^{+0.16}_{-0.09}$	$0.28^{+0.35}_{-0.11}$
$r_{99}$ [%]:	0.41	0.91
$r_{UL}$ [%]:	0.58	1.1
$\sigma$ :	0.14	0.30
Probabilidad:	0.22	0.65
Fase:	$260 \pm 48$	$279 \pm 76$

Table 4: Características para la frecuencia solar con los métodos de Rayleigh e East-West en el primer armónico en el rango 1 EeV - 2 EeV.

En la Tabla 5 se comparan los resultados de este trabajo y los obtenidos en el trabajo [1] para la frecuencia sidérea. Para Todos los Disparos se comparan los métodos de Rayleigh y East-West, en el primer método se obtiene que la probabilidad que la amplitud obtenida se deba al ruido es de 6.3% mientras que en segundo método 26%. Esta diferencia entre probabilidades no puede deberse a la cantidad de eventos, porque es el mismo conjunto de datos. En la Fig.5 se observan en una figura en coordenadas polares mostrando las fases del trabajo [1] y este trabajo para la frecuencia sidérea.

El barrido de frecuencias con la variable de la Ec.?? para este rango de energía se observa en la Fig.6. La línea horizontal indica el valor de  $r_{99}$  para cada frecuencia y se observa que ninguna frecuencia supera dicho umbral. En la frecuencia solar no se observa ningún pico, esto se debe a que el método East - West es robusto con respecto a las modulación del clima. Se observa un pico en sidérea pero el mismo no es significativo con respecto al  $r_{99}$ .

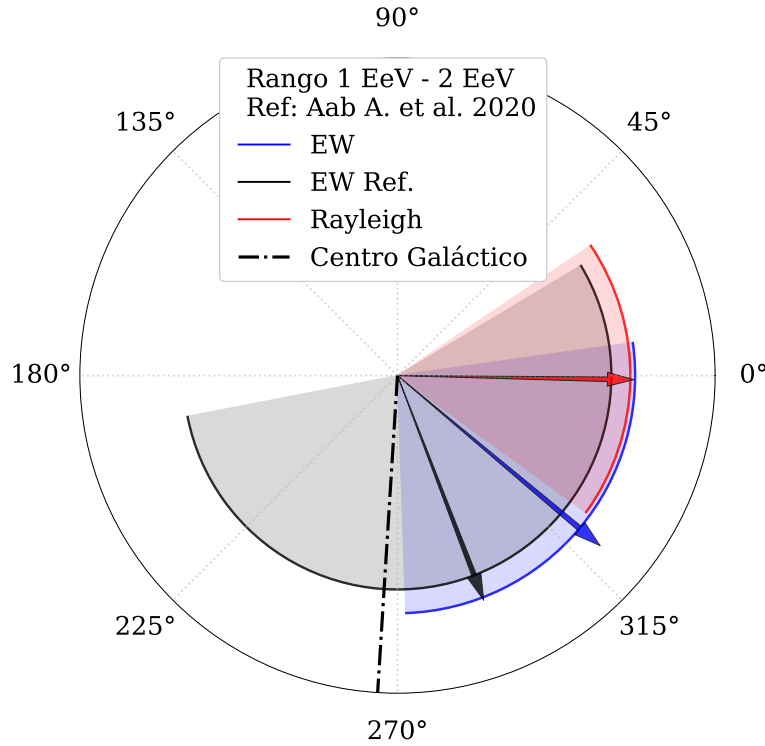


Figure 5: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en el trabajo Aab A. et al. (2020) [1] con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia sidérea en el rango 1.0 EeV - 2.0 EeV

	Todos los Disparos		Disparo Estándar
	Rayleigh	East - West	East - West[1]
Frecuencia:	Sidérea		Sidérea
Amplitud $r$ [%]:	$0.32^{+0.16}_{-0.10}$	$0.5^{+0.3}_{-0.2}$	$0.14^{+0.37}_{-0.02}$ [2]
$r_{99}$ [%]:	0.41	0.91	0.84 [2]
$r^{UL}$ [%]:	0.66	1.3	0.89 [2]
$\sigma$ [%]:	0.14	0.30	0.28 [2]
Amplitud $d_{\perp}$ [%]:	$0.41^{+0.20}_{-0.13}$	$0.6^{+0.4}_{-0.3}$	$0.18^{+0.47}_{-0.02}$
$d_{99}$ [%]:	0.53	1.1	1.1 [2]
$d_{\perp}^{UL}$ [%]:	0.84	1.6	1.1
$\sigma_{x,y}$ [%]:	0.17	0.38	0.35
Probabilidad:	0.063	0.26	0.87
Fase[°]:	$357 \pm 35$	$320 \pm 48$	$291 \pm 100$
$\langle \cos \delta \rangle$	0.78	0.78	0.78
$\langle \sin \theta \rangle$	0.55	0.55	0.57

Table 5: Características para la frecuencia sidérea con los métodos de Rayleigh e East-West en el primer armónico en el rango 1 EeV - 2 EeV.

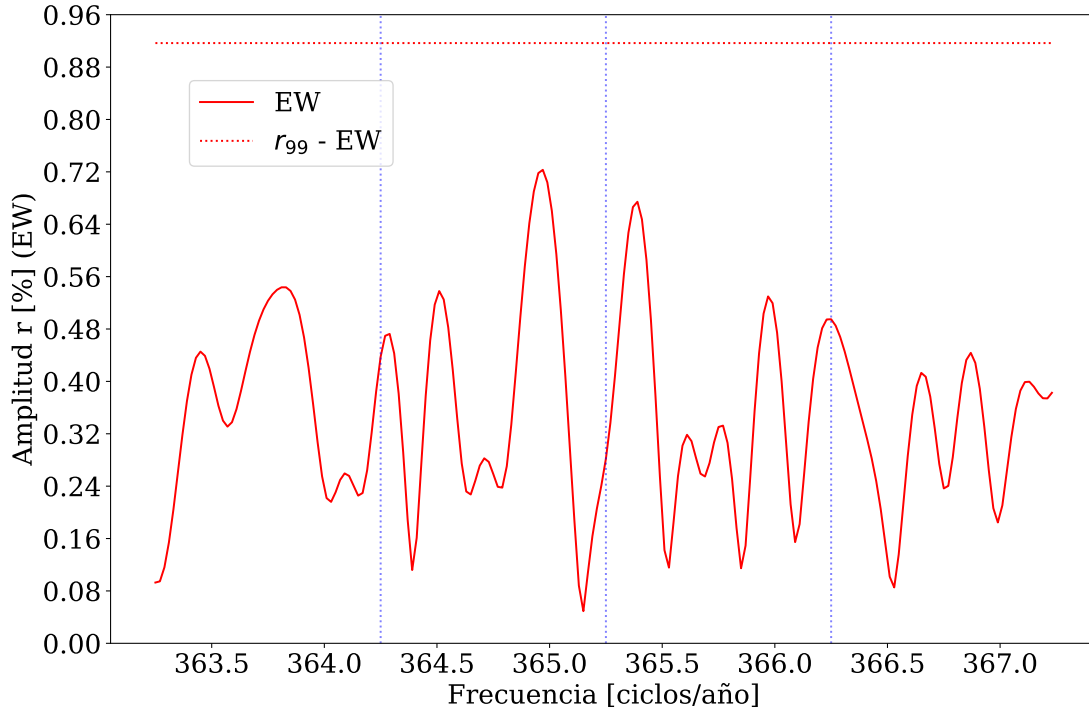


Figure 6: Barrido de frecuencias en el rango 1 EeV - 2 EeV mediante el método East-West.



## 2 Análisis de los resultados

El barrido de frecuencias para el conjunto de datos de Todos los Disparos contiene datos de 6 años. Este rango de tiempo permite tener una resolución de  $\sim 1/6$  ciclos/año [?]. Los picos obtenidos en los barridos presentados en las Figs.2, 3 y 6 están distanciados en promedio  $1/5$  ciclos/año entre sí por lo que están dentro de la resolución posible del análisis.

Una forma para poder comparar los resultados de  $d_{\perp}$  calculados de distintos conjuntos de datos entre sí, es dividir estos valores con sus respectivos  $\sigma_{x,y}$ . De esta manera, podemos comparar cuan apartados están con respecto  $\sigma_{x,y}$ . De esta manera se obtiene la Fig.7, donde podemos decir que en los rangos entre 0.5 EeV - 1.0 EeV y 1.0 EeV - 2.0 EeV, la amplitud obtenida en este trabajo utilizando los eventos de Todos los Disparos es más significativa que los resultados obtenidos por el trabajo [1] con el Disparo Estándar. Estos resultados difieren de trabajo [1] por  $\sim 1\sigma_{x,y}$  y  $\sim 2\sigma_{x,y}$  respectivamente. Para comparar los resultados en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV, tenemos que tener en cuenta que el Disparo Estándar tiene una sensibilidad menor que el Todos los Disparos. Esto se ve claramente en la Tabla 1, donde el primero tiene 7 veces menos eventos para analizar que el segundo. Por lo tanto, la discrepancia entre este trabajo y los resultados presentados en [1] puede deberse a la diferencia de eventos a estudiar causada por la sensibilidad del disparo.

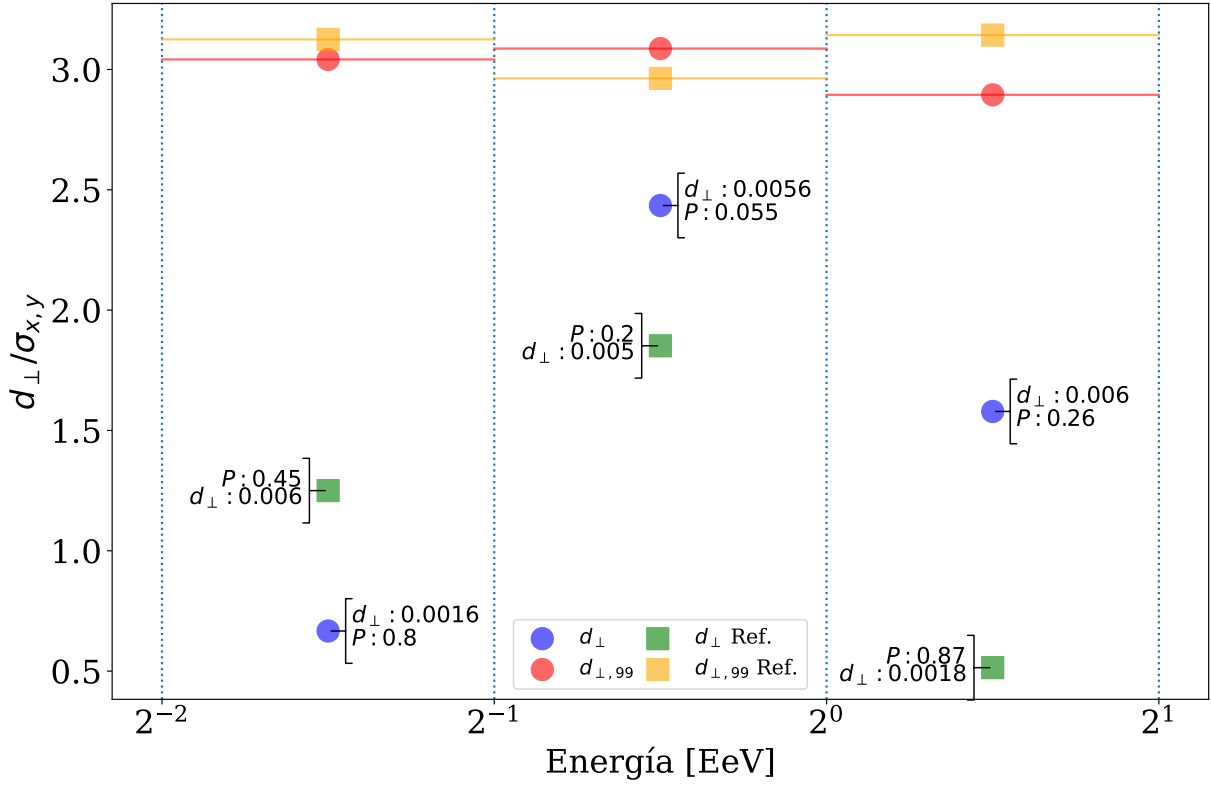


Figure 7: Variaciones de la amplitud  $d_{\perp}$  con respecto a  $\sigma_{x,y}$  comparados con  $d_{\perp,99}$  para distintos rangos de energía. Estos valores son obtenidos con el método East-West.

Considerando los valores de  $\sigma_{x,y}$  y  $d_{\perp}$  obtenidos para cada rango de energía y con los métodos Rayleigh y East-West, es posible comparar las direcciones, valores e incertidumbres en la Fig.8. Las líneas punteadas están centradas en los valores reportados en cada rango de energía por el trabajo [1], obtenido con el Disparo Estándar. El radio de cada círculo punteado igual al  $\sigma_{x,y}$  de cada rango de energía. Los círculos sombreados indican el rango de incertidumbre a  $1\sigma_{x,y}$  de los valores obtenidos en este trabajo utilizando Todos los Disparos. Cada flecha dentro de estos círculos sombreados indica a dirección y valor de  $d_{\perp}$ . El punto asociado al método Rayleigh corregido con la modulación del clima de Todos los Disparos en el rango 1-2 EeV se denota con *Ray,mod*.

En los rangos de energía 0.25 EeV - 0.5 EeV y 0.5 EeV - 1.0 EeV, los valores obtenidos con Todos los Disparos y el Disparo Estándar son compatibles entre sí dentro de la incertidumbre, además de contener la dirección al centro galáctico dentro de sus incertidumbres. Esto es interesante de resaltar ya que es esos rangos de energía, se espera que los rayos cósmicos sean

galácticos.

En el rango 1.0 EeV - 2.0 EeV, se comparan resultados para el método de Rayleigh (*Ray*) y el método East-West (*EW*) obtenidos con Todos los Disparos, y el valor obtenido por la Colaboración en el trabajo [1] mediante el método Rayleigh con el Disparo Estándar. Todos estos resultados son compatibles entre sí dentro de  $1\sigma_{x,y}$  de incertidumbre.

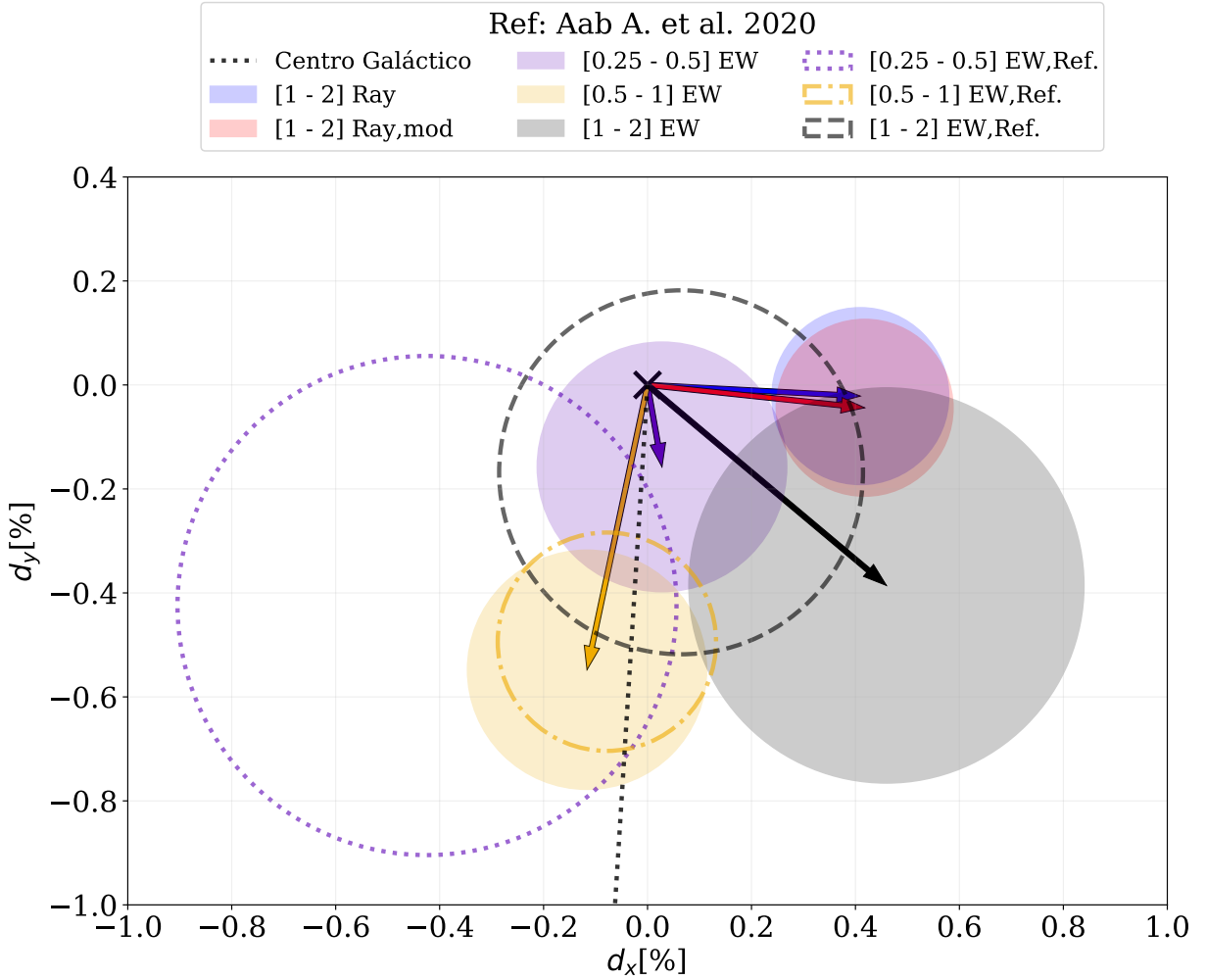


Figure 8: Amplitudes with uncertainty, pointing in the direction of the phase. The dotted circles show the values of the work Aab A. et al. (2020) [1] with their respective uncertainties and the dotted line in black marks the direction of the Galactic center.

## References

- [1] Aab A. et al., Cosmic-Ray Anisotropies in Right Ascension Measured by the Pierre Auger Observatory. *The Astrophysical Journal*, **891** (2), 142, 2020. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab7236>.
- [2] Code used in [1].