

Identificación de fuentes galácticas como progenitores de neutrinos de muy altas energías.

Antonio Galván*¹, Nissim Fraija¹, Jagdish C. Joshi², Edilberto Aguilar¹, Antonio Marinelli³

2020 Meeting of the Division of Cosmic Rays of the Mexican Physical Society

*agalvan@astro.unam.mx

¹ Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

² School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing

³ Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)



El objetivo de este trabajo es describir los neutrinos de altas energías detectados por el observatorio IceCube y asociarlos a fuentes que emiten rayos gamma en el régimen GeV-TeV detectados por los satélites y los observatorios Cherenkov terrestres.



Introducción

SHARE RESEARCH ARTICLE
Evidence for High-Energy Extraterrestrial Neutrinos at the IceCube Detector

Aartsen et. al. 2013



IceCube Collaboration*
+ See all authors and affiliations

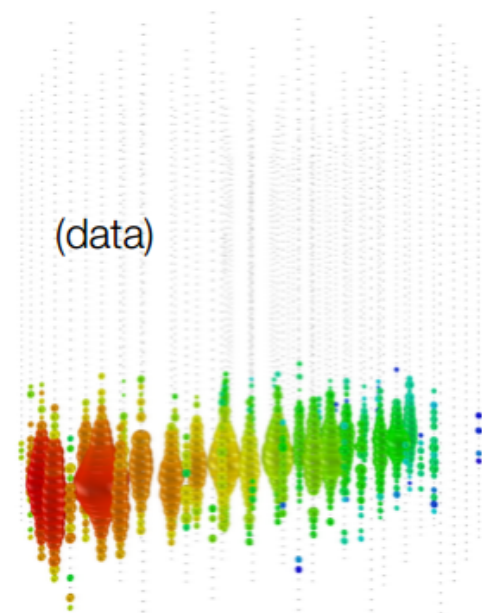
Science 22 Nov 2013:
Vol. 342, Issue 6161, 1242856
DOI: 10.1126/science.1242856

Article Figures & Data Info & Metrics eLetters PDF

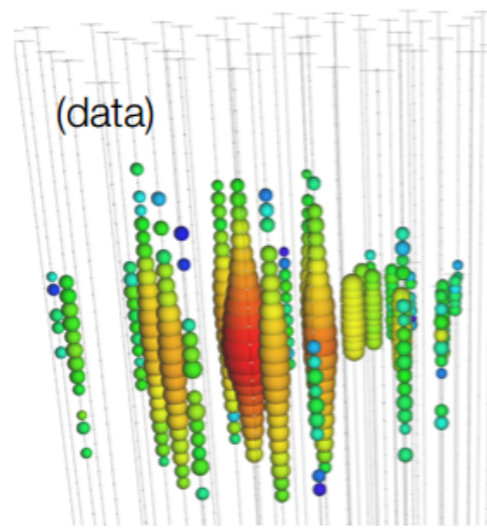
Charged-current ν_μ

Neutral-current / ν_e

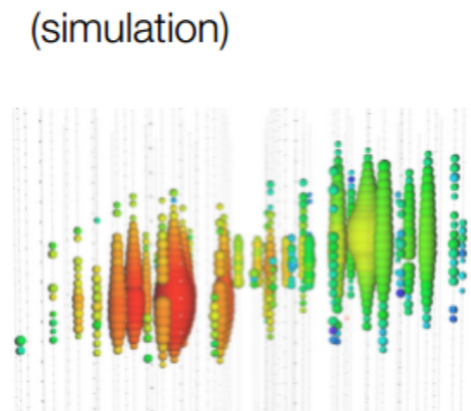
Charged-current ν_τ



Up-going track



Isolated energy deposition (cascade) with no track



“Double-bang”

Factor of ~2 energy resolution
< 1 degree angular resolution

15% deposited energy resolution
10 degree angular resolution (above 100 TeV)

(none observed yet: τ
decay length is 50 m/PeV)

Early  Late

82 neutrinos del catálogo HESE
(Aartsen et. al. 2013)

32 neutrinos del catálogo EHE
(Aartsen et. al. 2016)

23 neutrinos HESE (AMON)

11 neutrinos EHE (AMON)

24 Bronze alert (AMON)

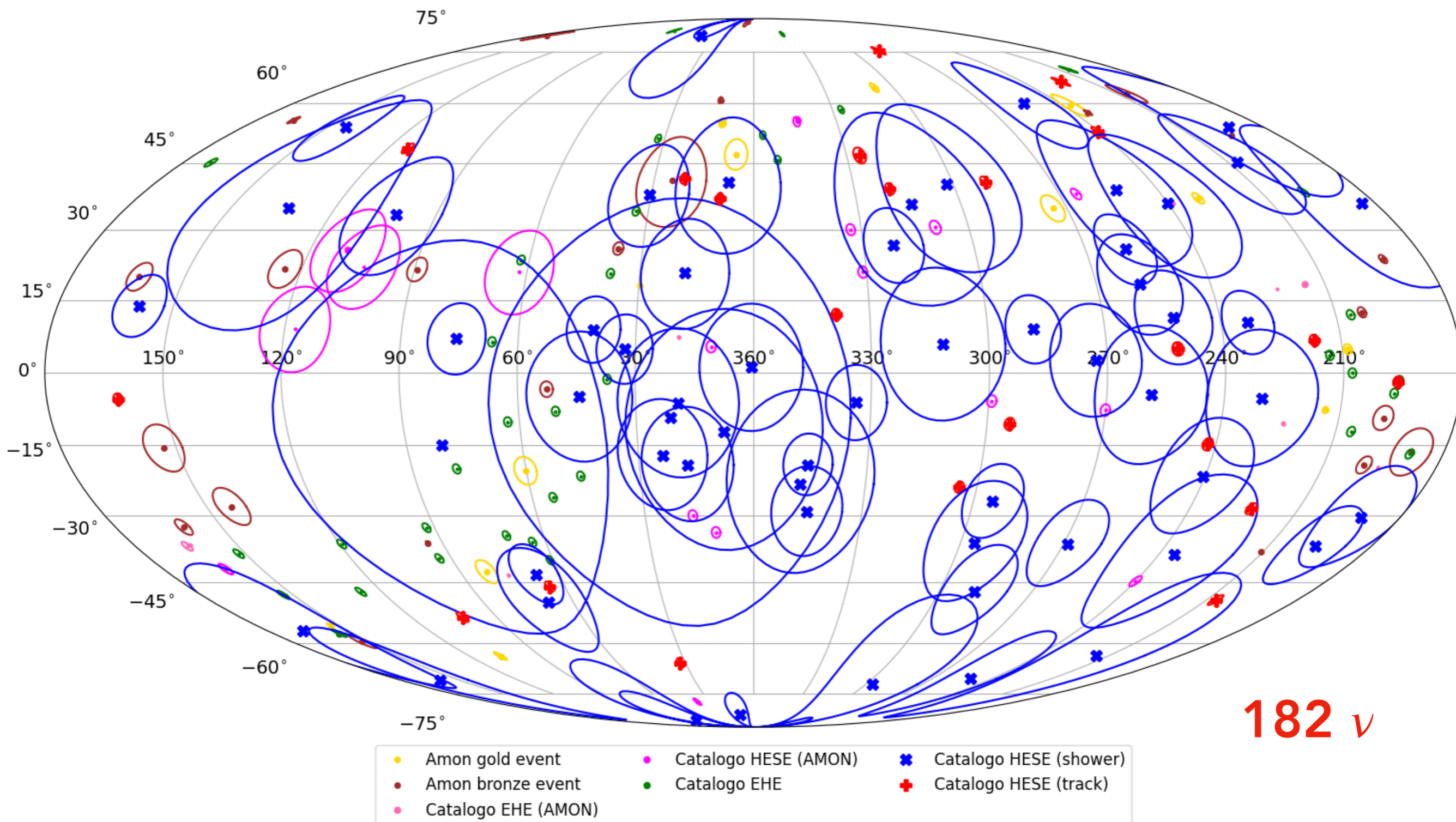
13 Gold alert (AMON)

Total 182 neutrinos reportados

18-Nov-2020

<https://gcn.gsfc.nasa.gov/amon.html>

Distribución espacial de ν 's

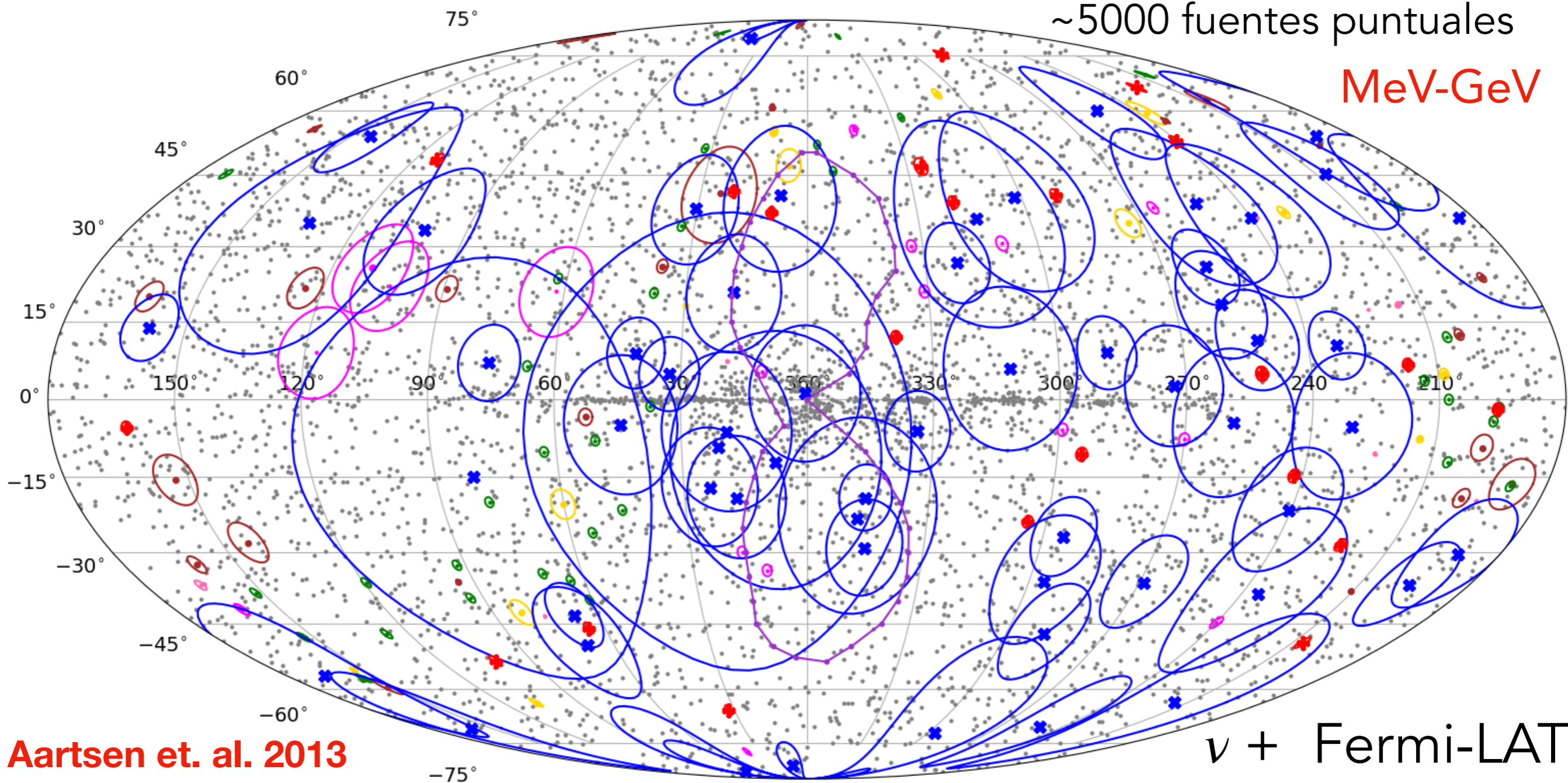


Coordenadas galácticas.

Distribución espacial de ν 's

~5000 fuentes puntuales

MeV-GeV



ν + Fermi-LAT

Aartsen et. al. 2013

- | | | |
|--|------------------------|--------------------------|
| • Fermi-LAT (4° Catalogo de Fuentes Puntuales) | • Catalogo EHE (AMON) | • Catalogo HESE (shower) |
| • Amon gold event | • Catalogo HESE (AMON) | • Catalogo HESE (track) |
| • Amon bronze event | • Catalogo EHE | • Burbujas de Fermi |

Coordenadas galácticas.

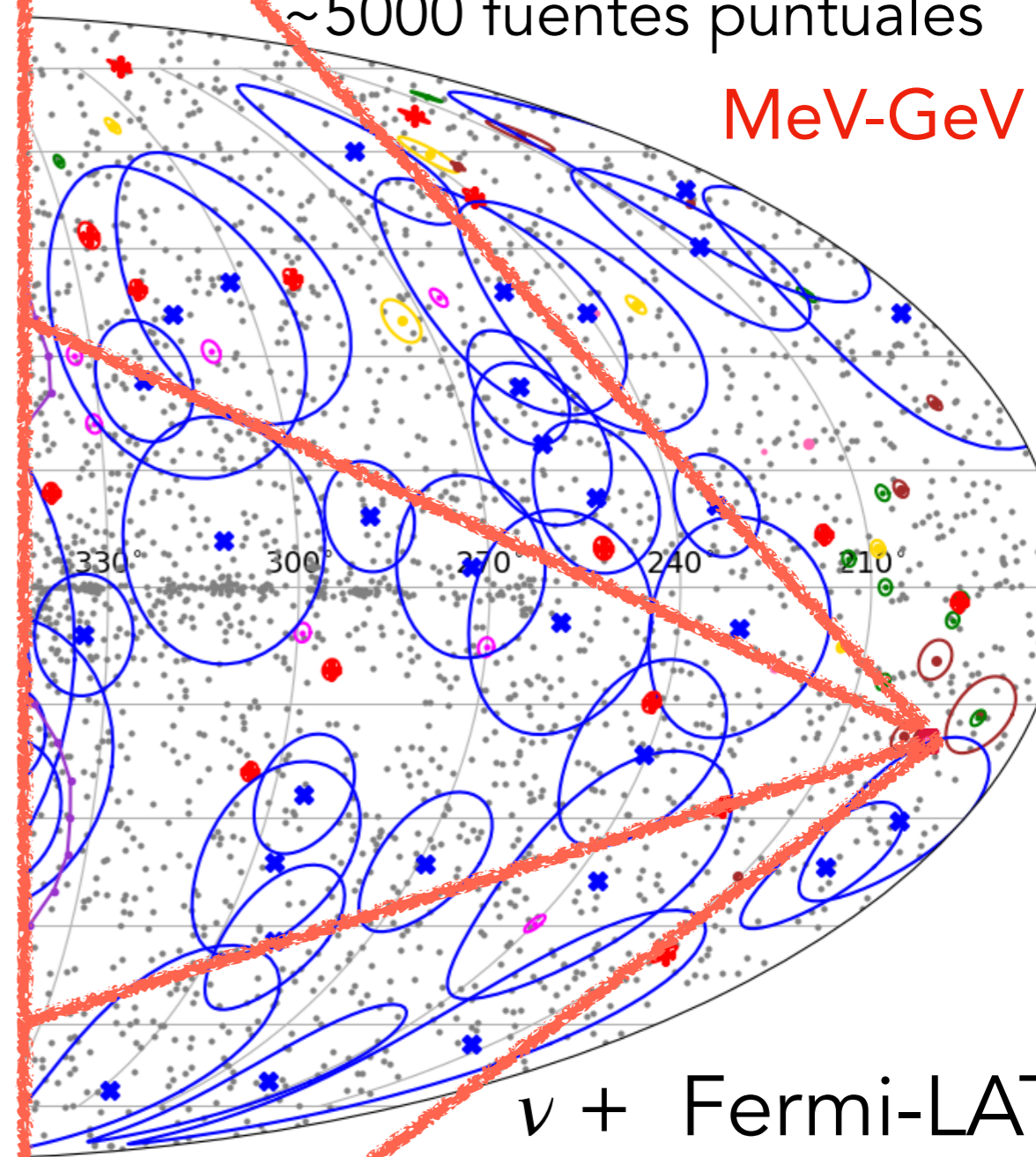


instituto de astronomía

UNAM

~5000 fuentes puntuales

MeV-GeV

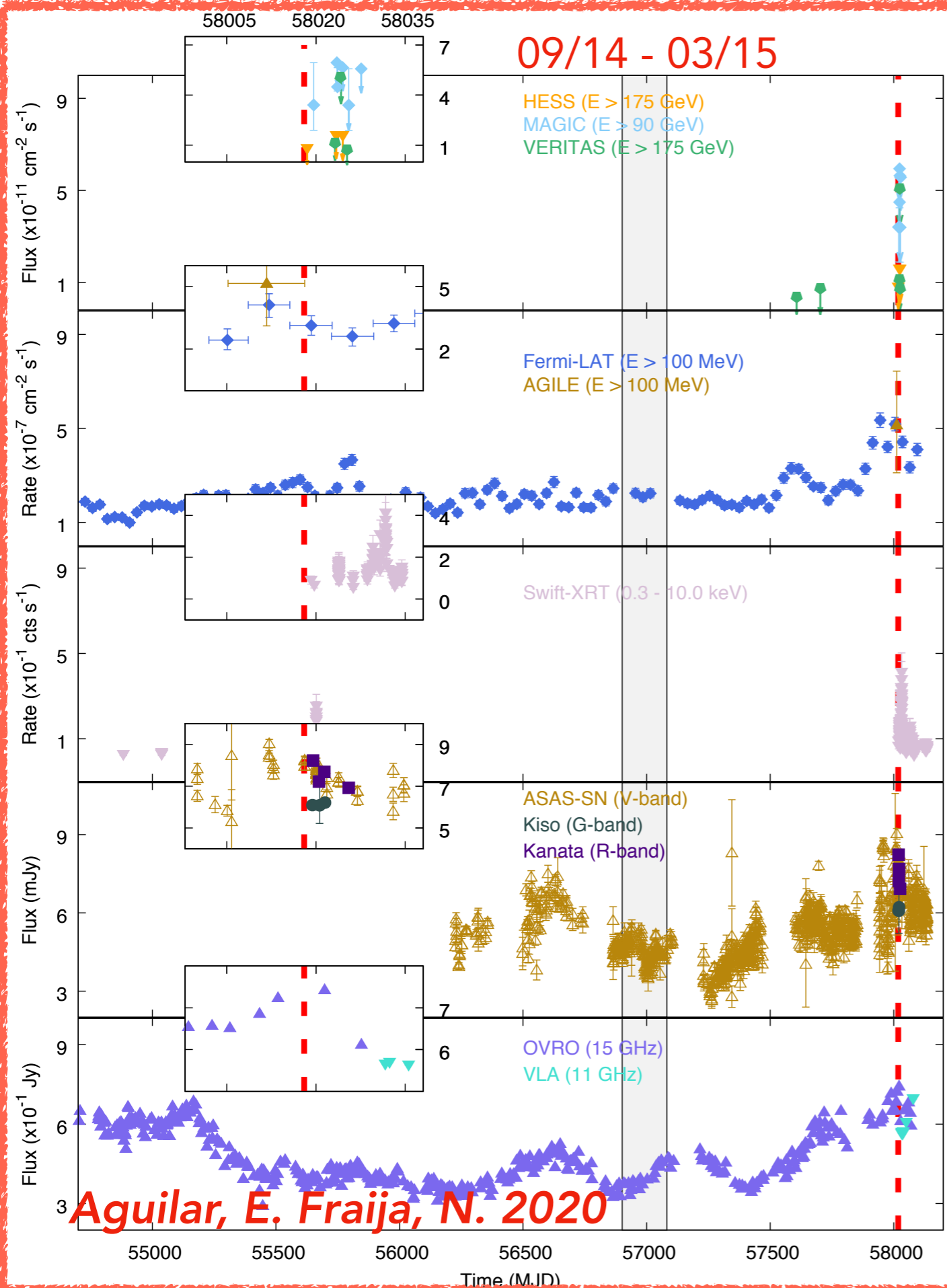


ν + Fermi-LAT

- go EHE (AMON)
- go HESE (AMON)
- go EHE
- Catalogo HESE (shower)
- Catalogo HESE (track)
- Burbujas de Fermi

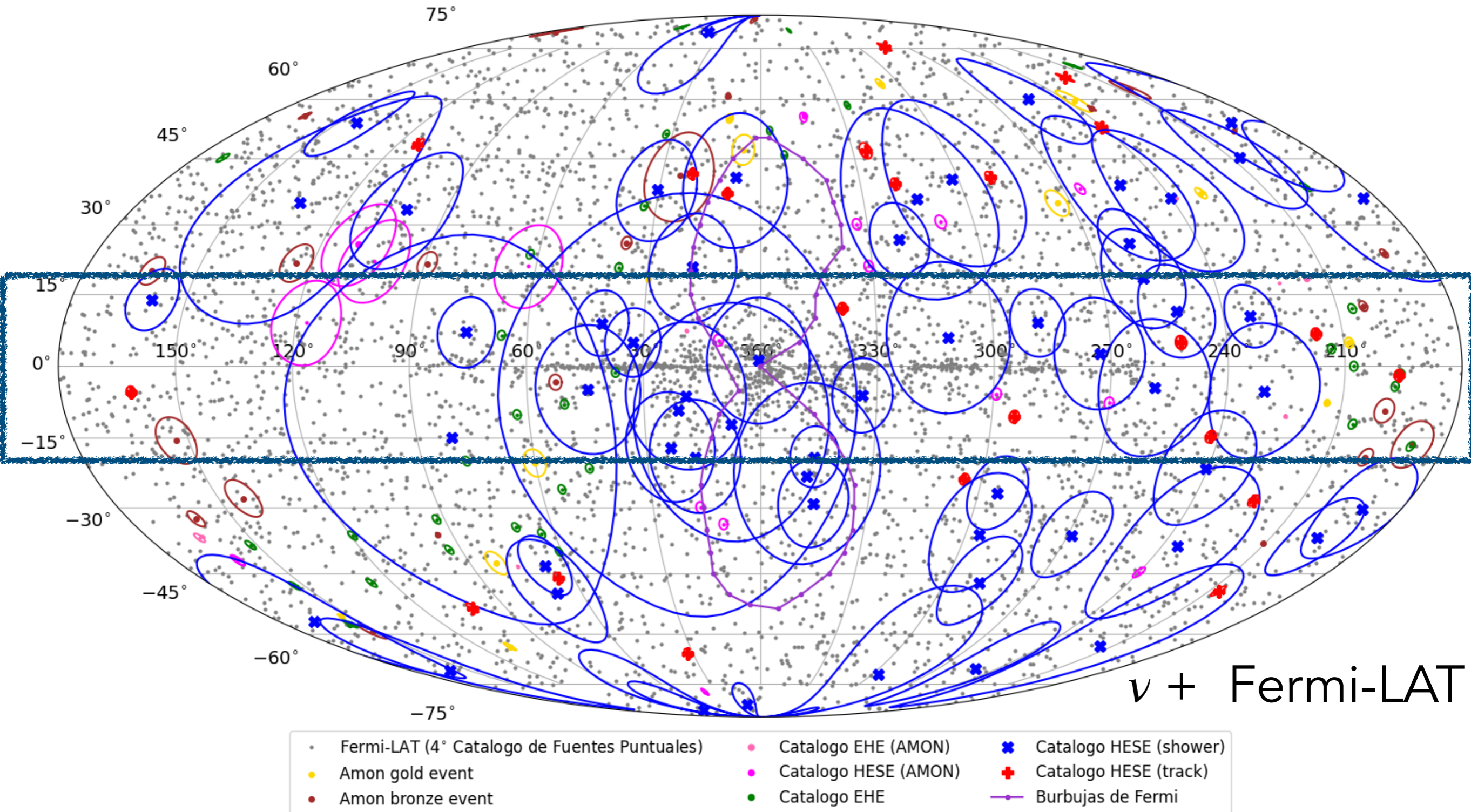
IC 170922A + TXS 0506+056

09/14 - 03/15



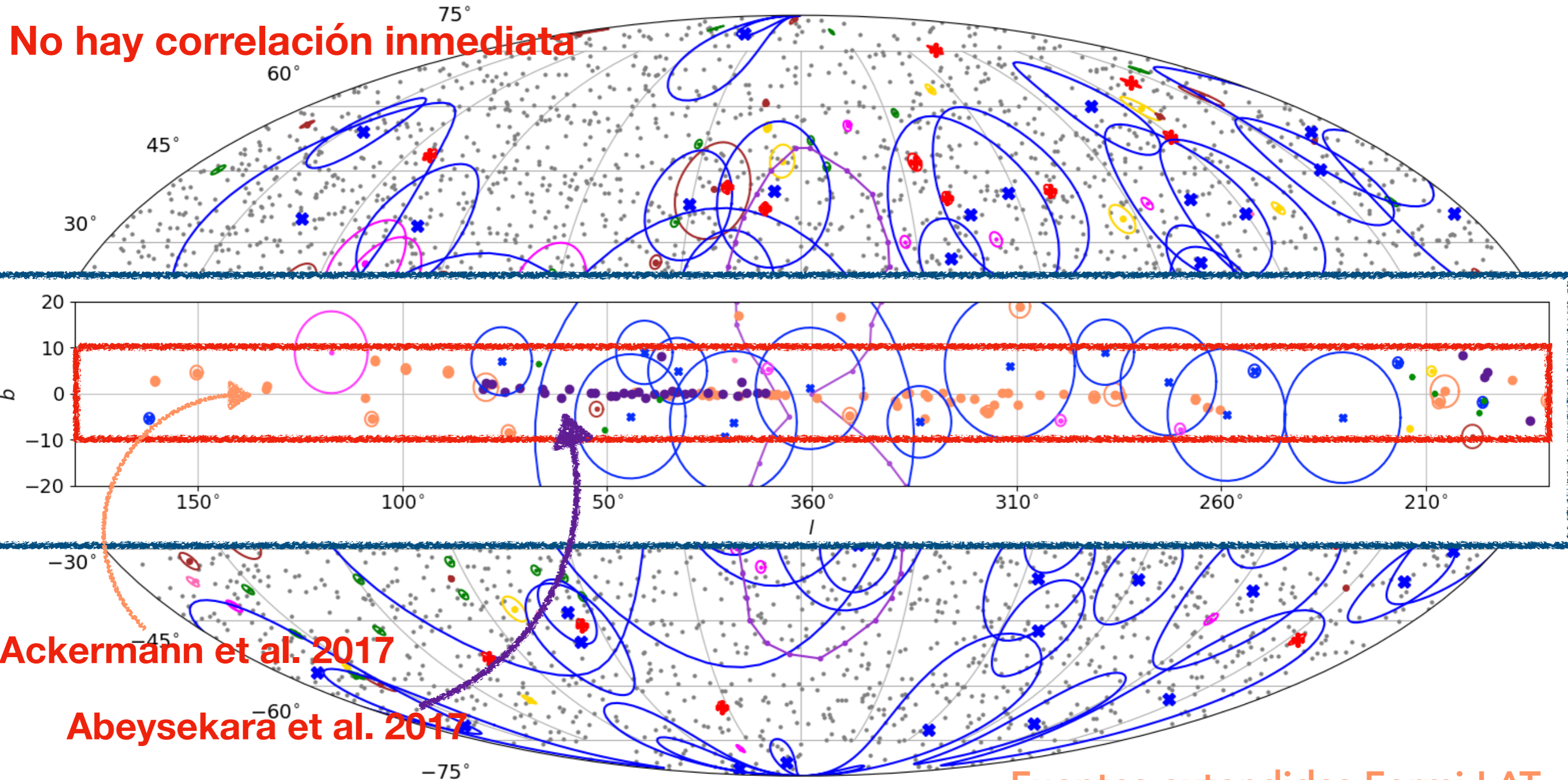
Aguilar, E. Fraija, N. 2020

Distribución espacial de ν 's



Coordenadas galácticas.

En el vecindario



No hay correlación inmediata

Ackermann et al. 2017

Abeysekara et al. 2017

Fuentes extendidas Fermi-LAT

2HWC HAWC

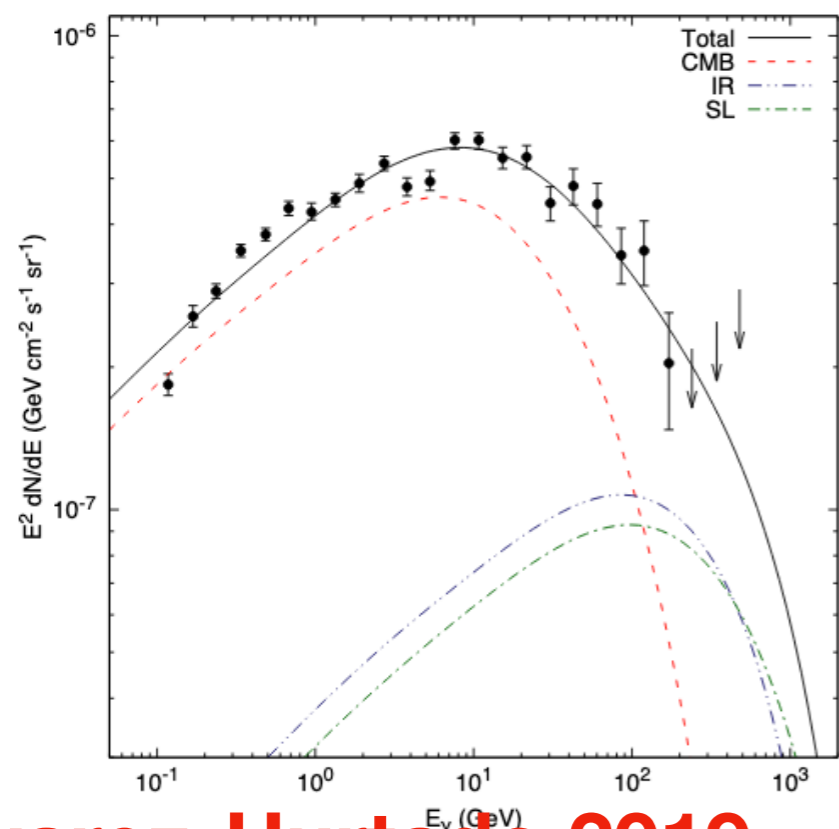
Aceleradores de protones

(PeVatron)

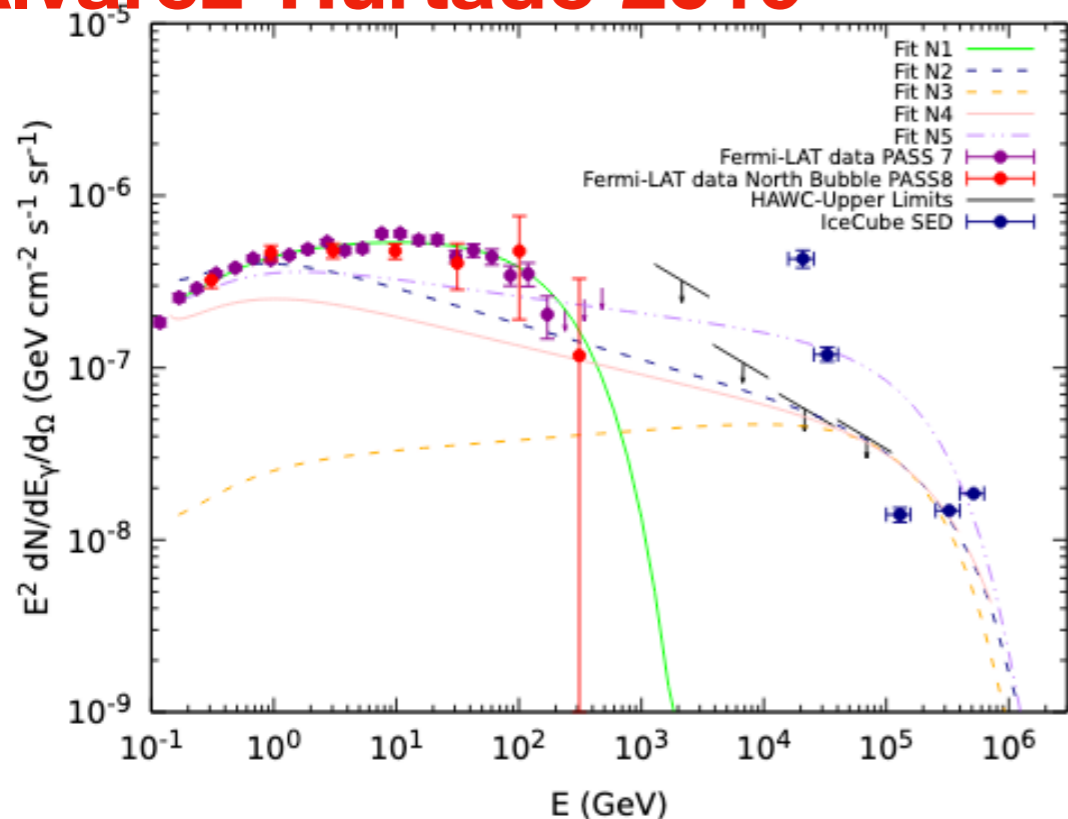
- *No hay preferencia por alguna dirección del disco.
- *Además de las burbujas de fermi en toda su extensión.
- *Contribución de las burbujas de fermi a latitudes $< |10^\circ|$

Mecanismos radiativos

Fermi bubbles
(burbuja norte)



Álvarez-Hurtado 2019 VS



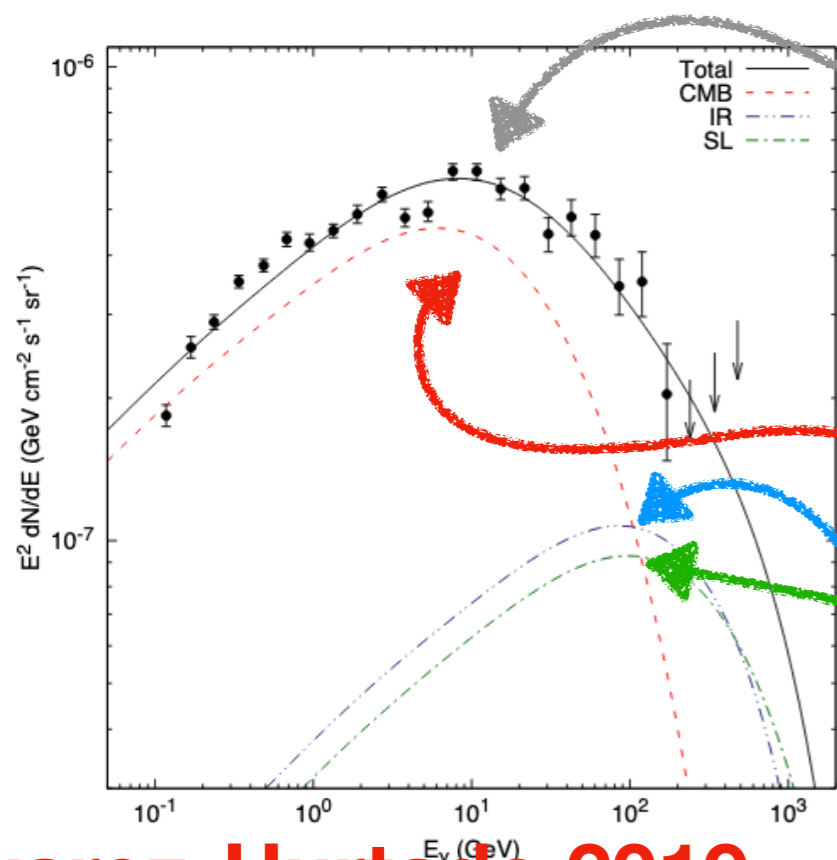
Mecanismo radiativo

Emisión de origen leptónico
(Compton Inverso)

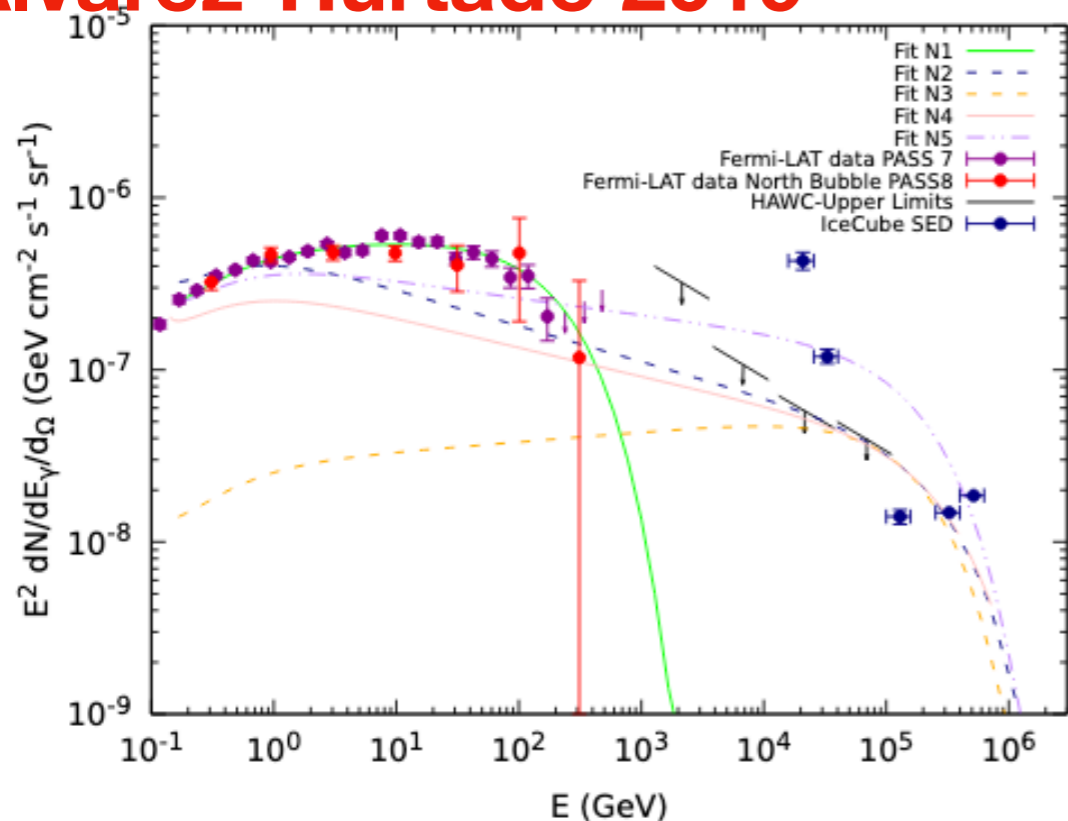
**Fermi bubbles
(burbuja norte)**

Fotones de bajas energías interactúan con electrones muy energéticos.

- Radiación de fondo de microondas
- Luz de estrellas
- Fotones en infrarrojo



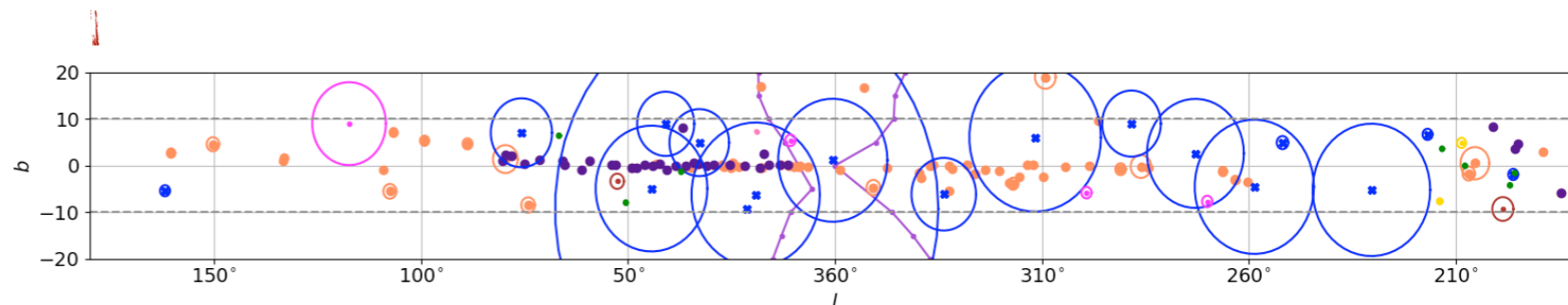
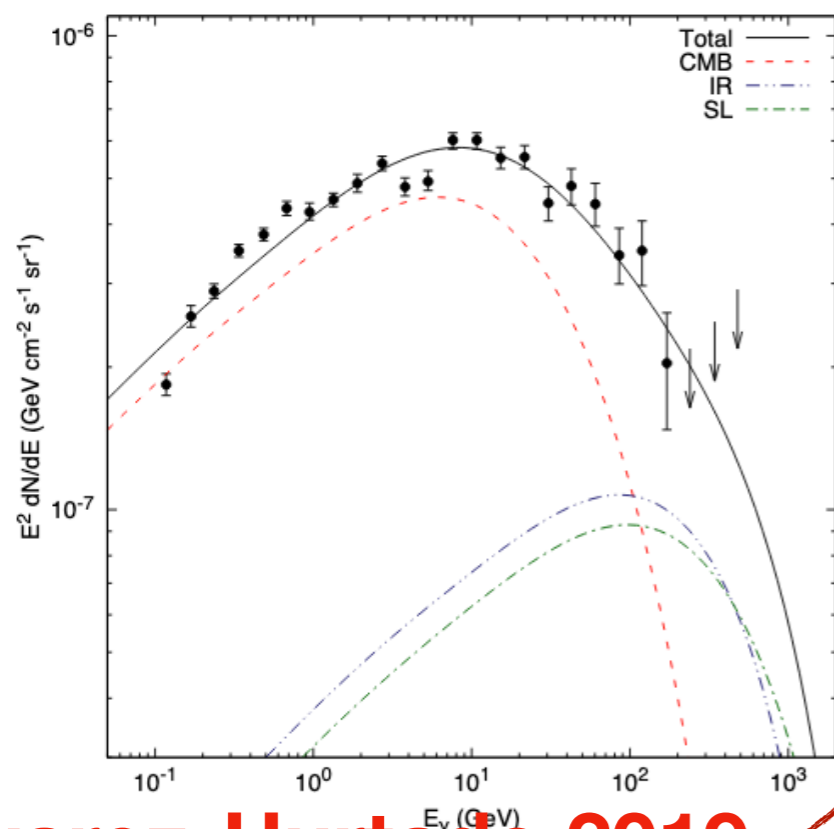
Álvarez-Hurtado 2019



Mecanismo radiativo

¿Componente extra a altas energías?
Abeysekara et al. (2017)

Fermi bubbles
(burbuja norte)



Estimación de flujo de neutrinos en esa dirección del cielo.

Razzaque, S. (2013)

$$E^2 \Phi_\nu = \frac{1}{4\pi} \frac{n_\nu E_\nu}{\sum_{i=e,\mu,\tau} A_{eff,i} t_{obs}}$$

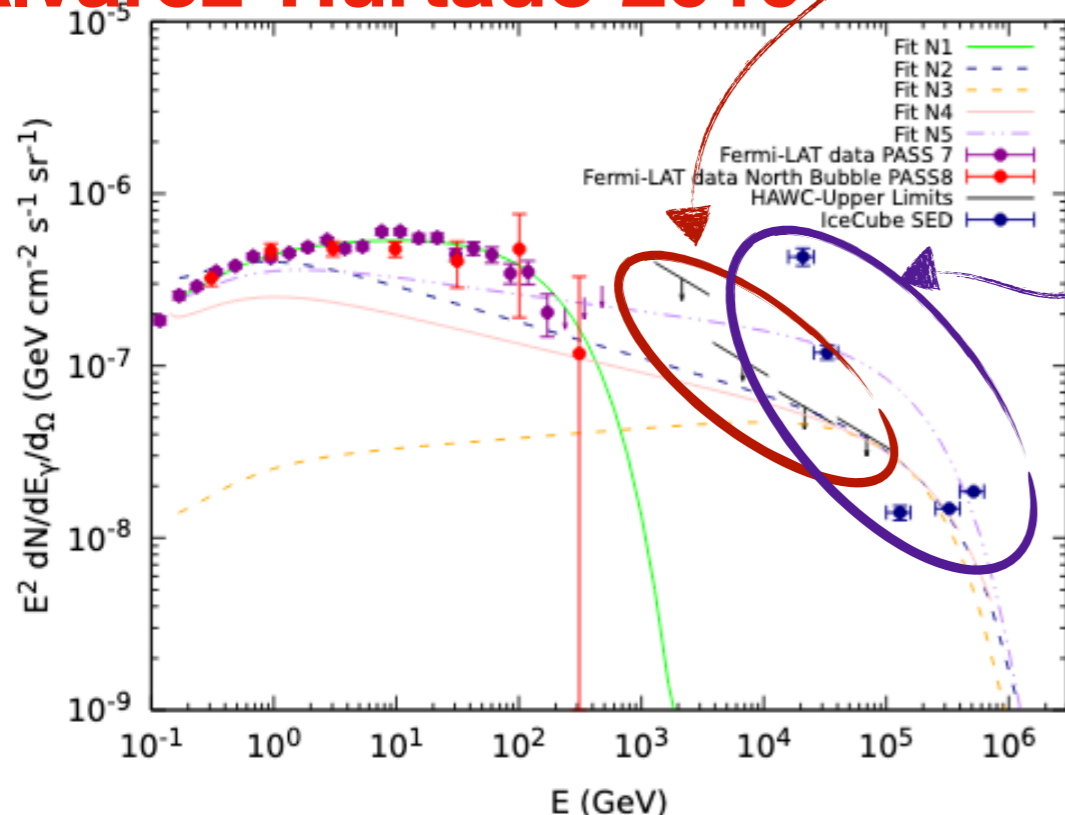
Componente de origen hadrónico.

Protones acelerados interactúan con protones de bajas energías.

- ▶ Fotones de altas energía producto de π^0
- ▶ Flujo de neutrinos

Kelner et. al. 2006

Álvarez-Hurtado 2019



Escenario hadrónico

Kelner et. al. 2006

Sí nuestra fuente puede crear

$E_p \approx 1$ PeV, entonces, $E_\gamma \approx 80$ TeV

$$p + p$$

$$\frac{2}{3} \Phi_\gamma \approx \Phi_\nu \quad E_\pi \approx 0.17 E_p$$

$$X + \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$$

$$\gamma + \gamma$$

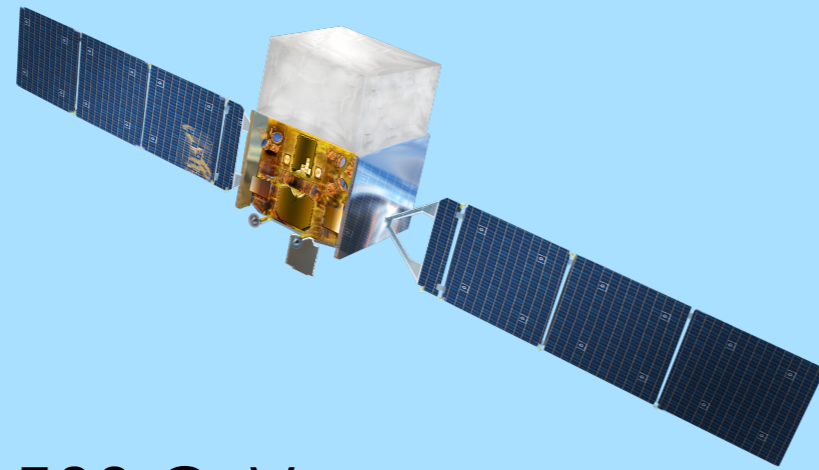
$$\mu^- + \nu_\mu^-$$

$$e^- + \nu_e^- + \nu_\mu^-$$

En este escenario podemos esperar un flujo de neutrinos asociado a un flujo de rayos gamma

Detectores de rayos gamma

<https://glast.sites.stanford.edu/>



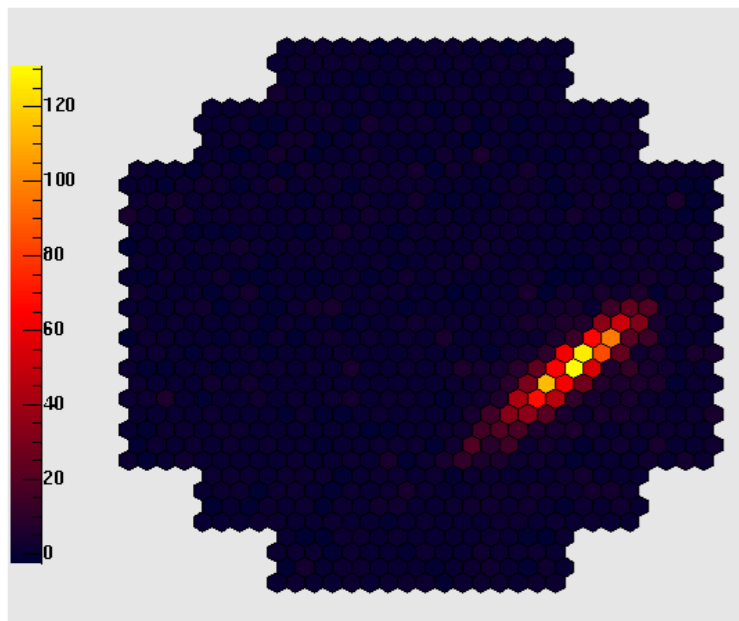
Fermi-LAT

- 200 MeV - 500 GeV
- 20% del cielo de manera instantánea
- 4π sr en 3 hrs
- +10 años de operaciones
- 5066 fuentes puntuales
- 75 fuentes extendidas

Gran apertura

Detectores de rayos gamma

<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/about/telescopes/>



MAGIC



Telescopios Cherenkov Atmosféricos

<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/about/telescopes/>



HESS

- 100 GeV ~ 30 TeV
- Buena resolución
- Dependencia de un buen clima y noches claras.
- Una nueva generación de telescopios está en desarrollo con la construcción de CTA

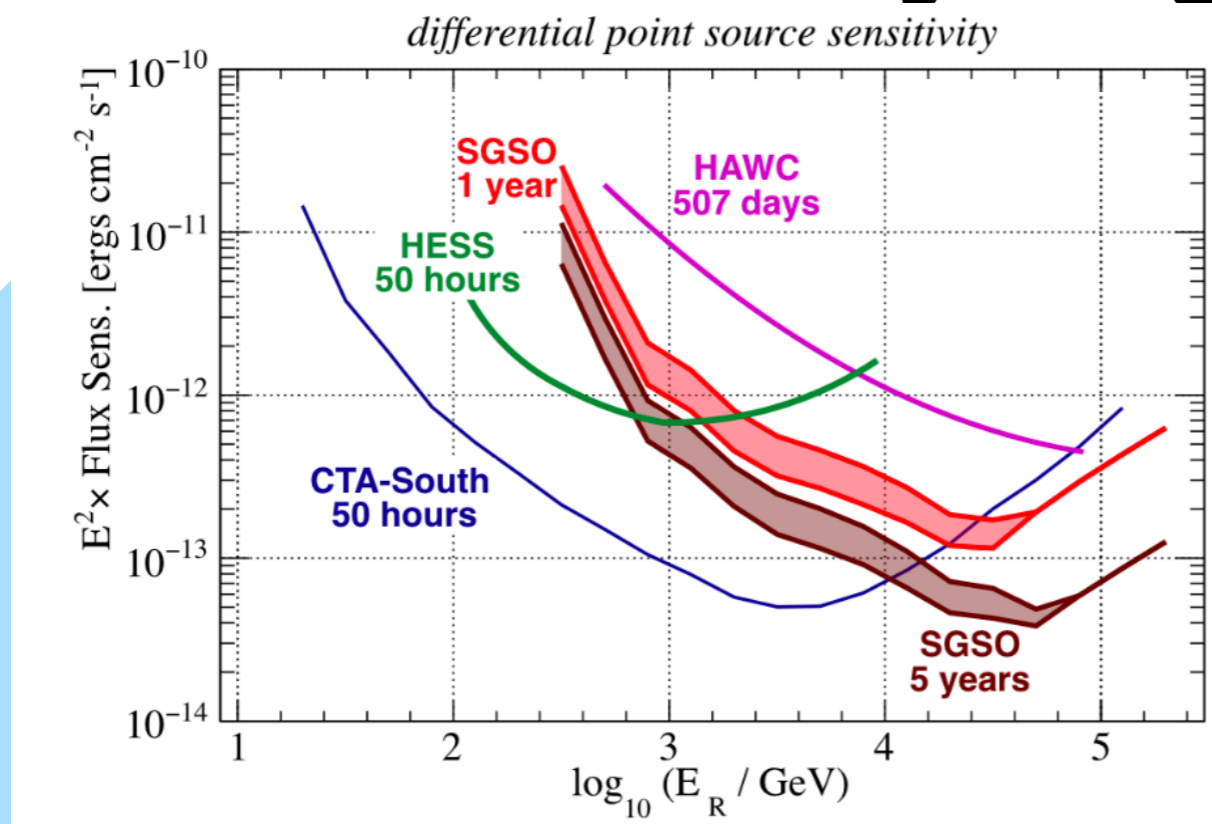
CTA

<https://www.eso.org/public/images/ann14030a/>

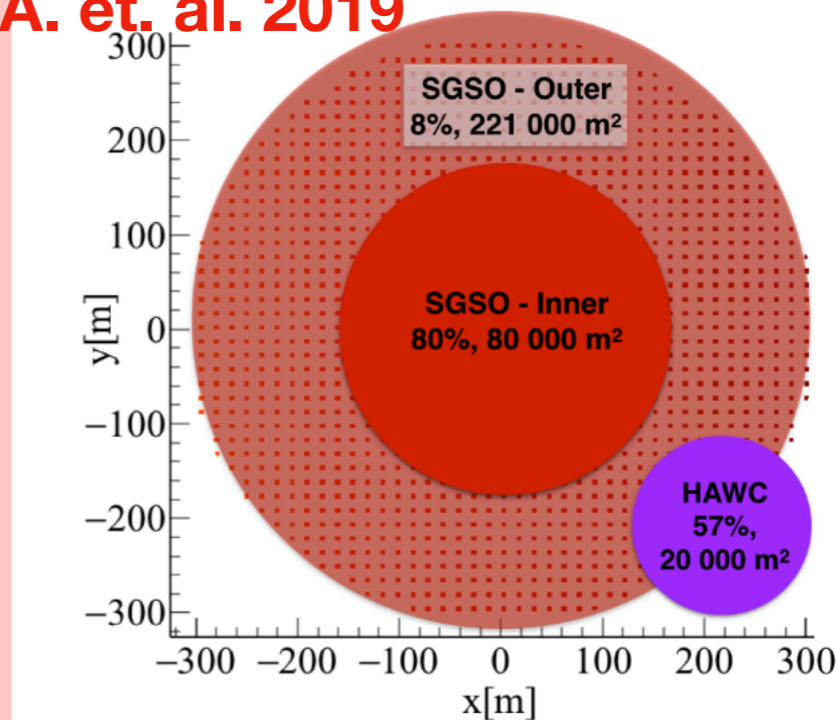


Mayor sensibilidad

Detectores de rayos gamma



Albert, A. et. al. 2019



- 500 GeV \sim > 100 TeV
- 3/4 del cielo de manera instantánea
- No hay dependencia especial en las condiciones del clima
- Pueden observar un evento de interés en el pasado



HAWC

<https://www.hawc-observatory.org/>

Gran apertura

Mayor sensibilidad

Análisis en fuentes de muy altas energías

A New Population of Ultra-High-Energy Gamma-Ray Sources Detected by HAWC

Abeysekera et al. 2020, PRL 124, 021102.

El flujo observado en rayos gamma los hacen candidatos a ser PeVatrones.

Regiones extendidas

NO TOMAN EN CUENTA LA CONTAMINACIÓN DE OTRAS FUENTES

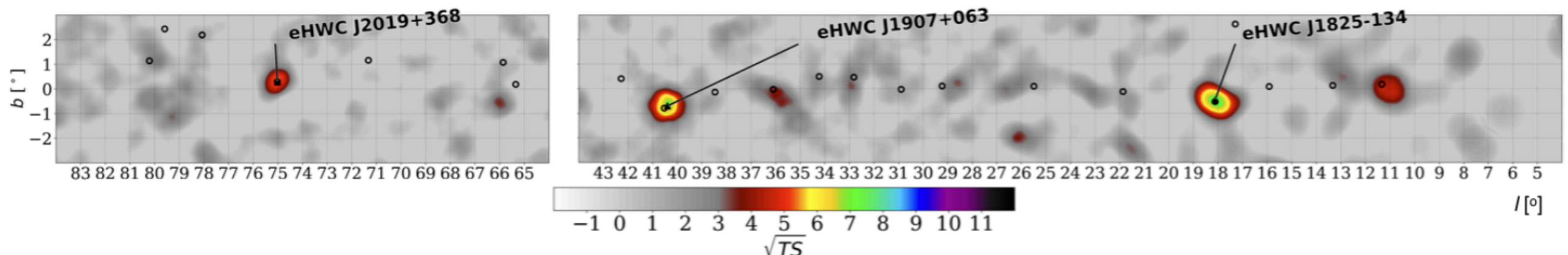
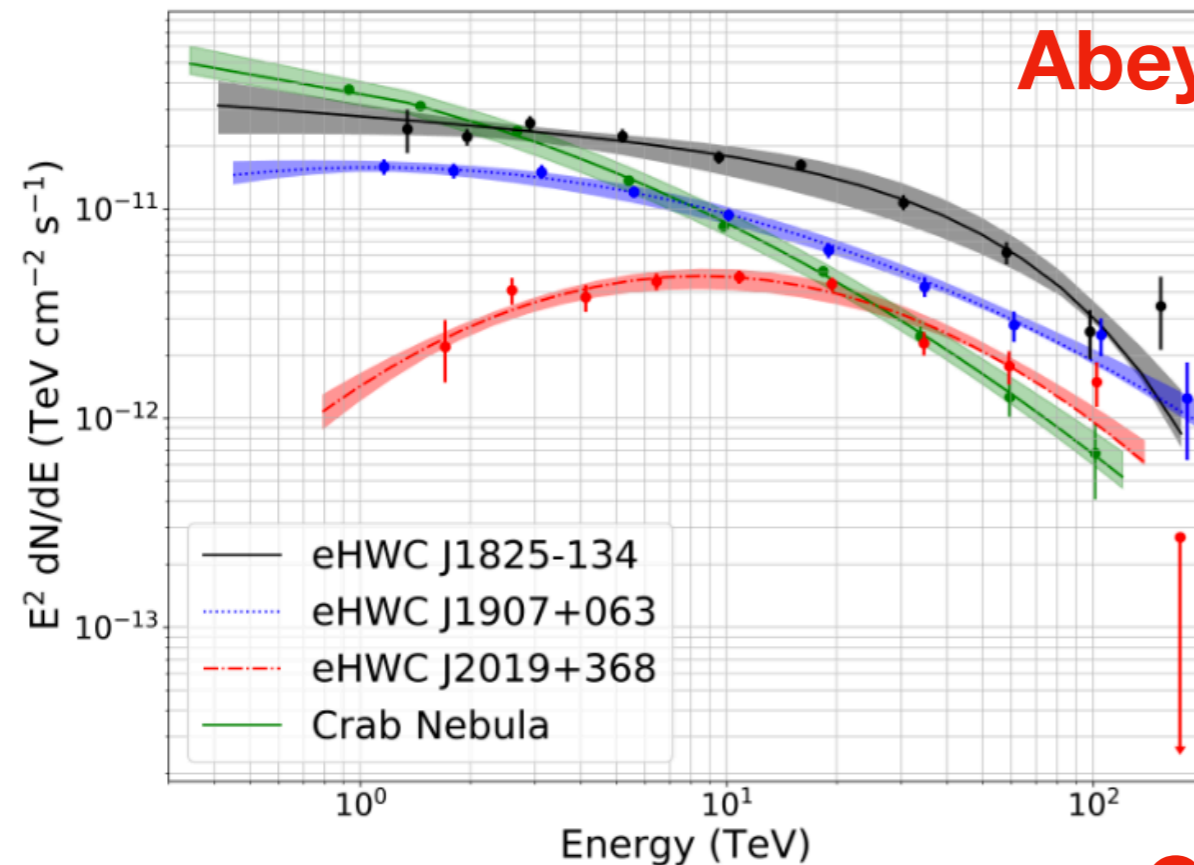
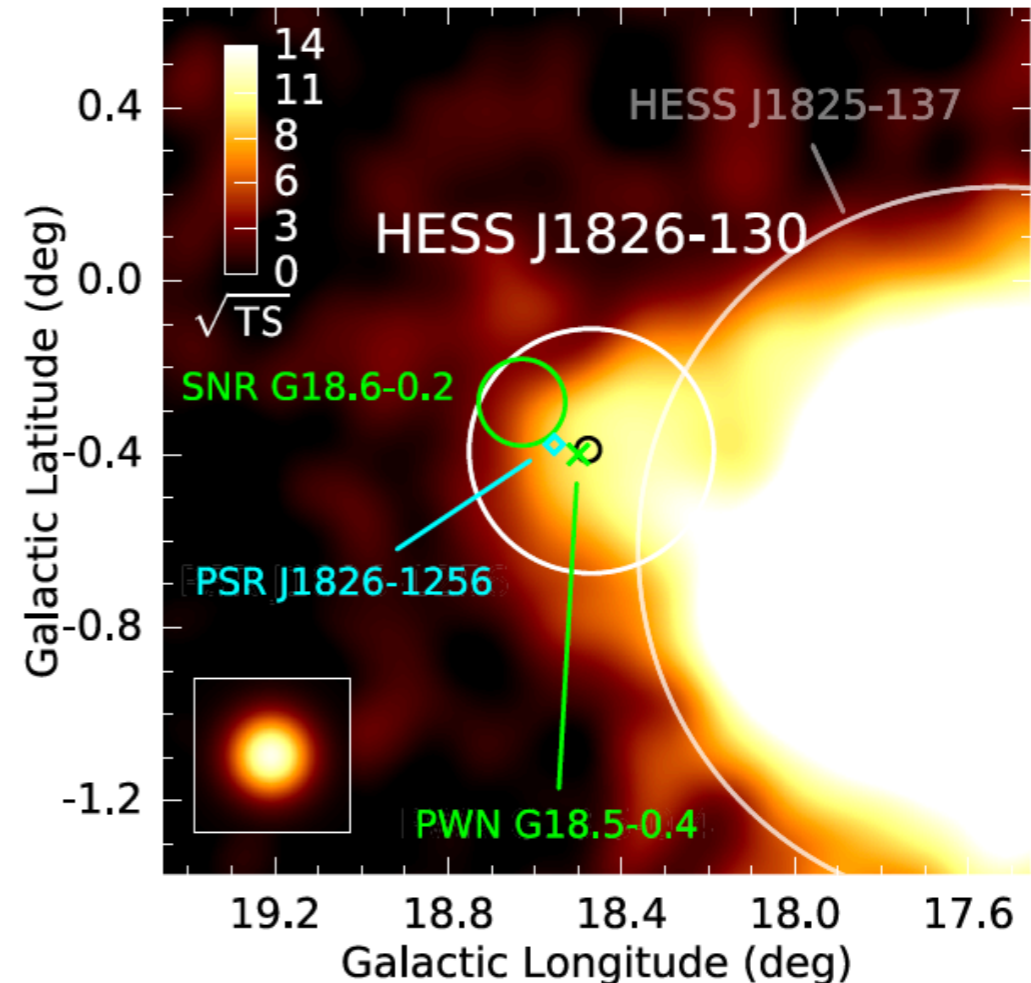
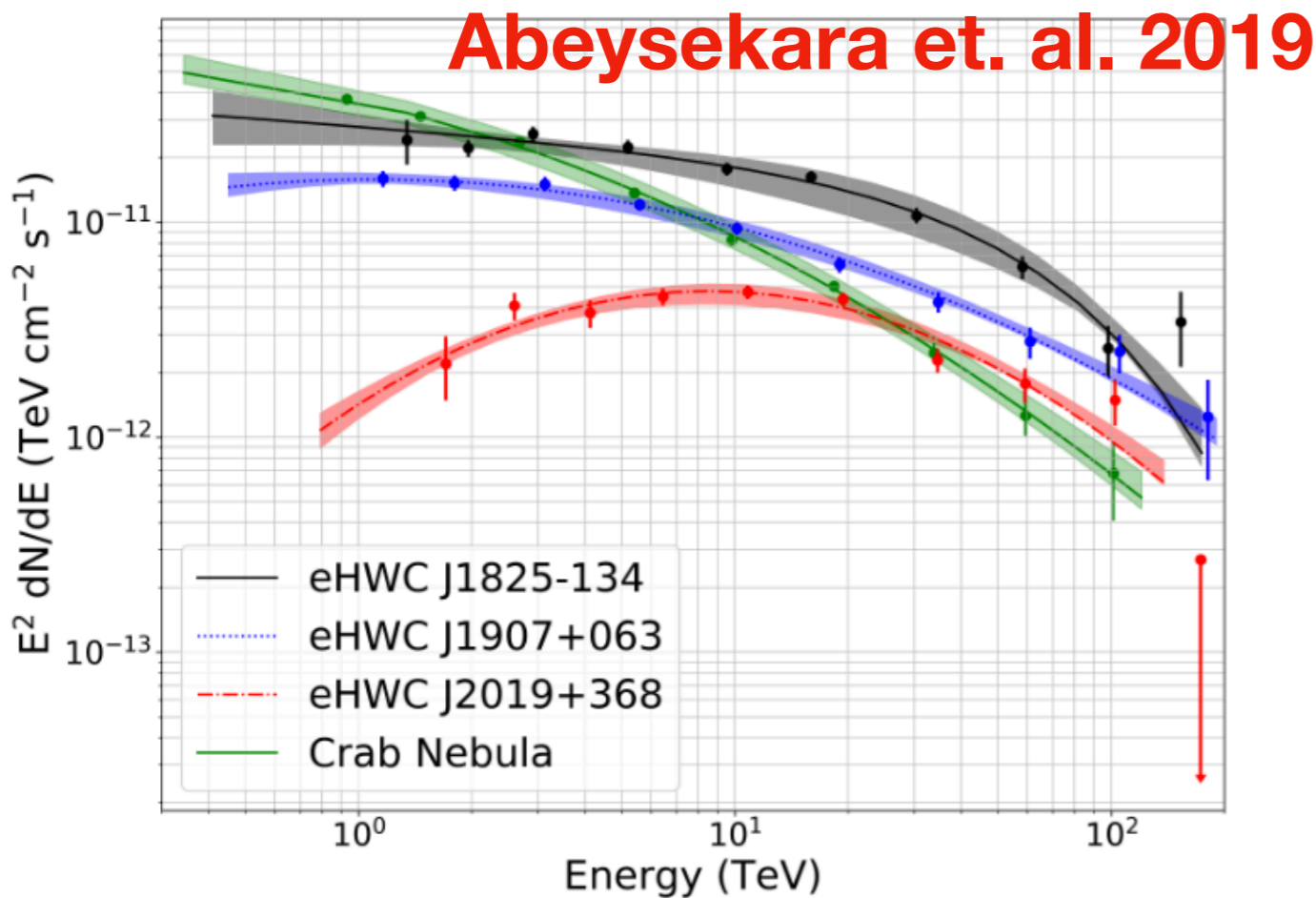


FIG. 2. The same as Figure 1, but for $\hat{E} > 100$ TeV. The symbol convention is identical to Figure 1.

Análisis en fuentes de muy altas energías

A New Population of Ultra-High-Energy Gamma-Ray Sources
Detected by HAWC

Abdalla et. al. 2018



Regiones extendidas

- * G15.4+0.1 (HESS J1818.7-154)
- * G18.0-0.7 (HESS J1825-137)
- * G18.6-0.2 (HESS J1826-130)

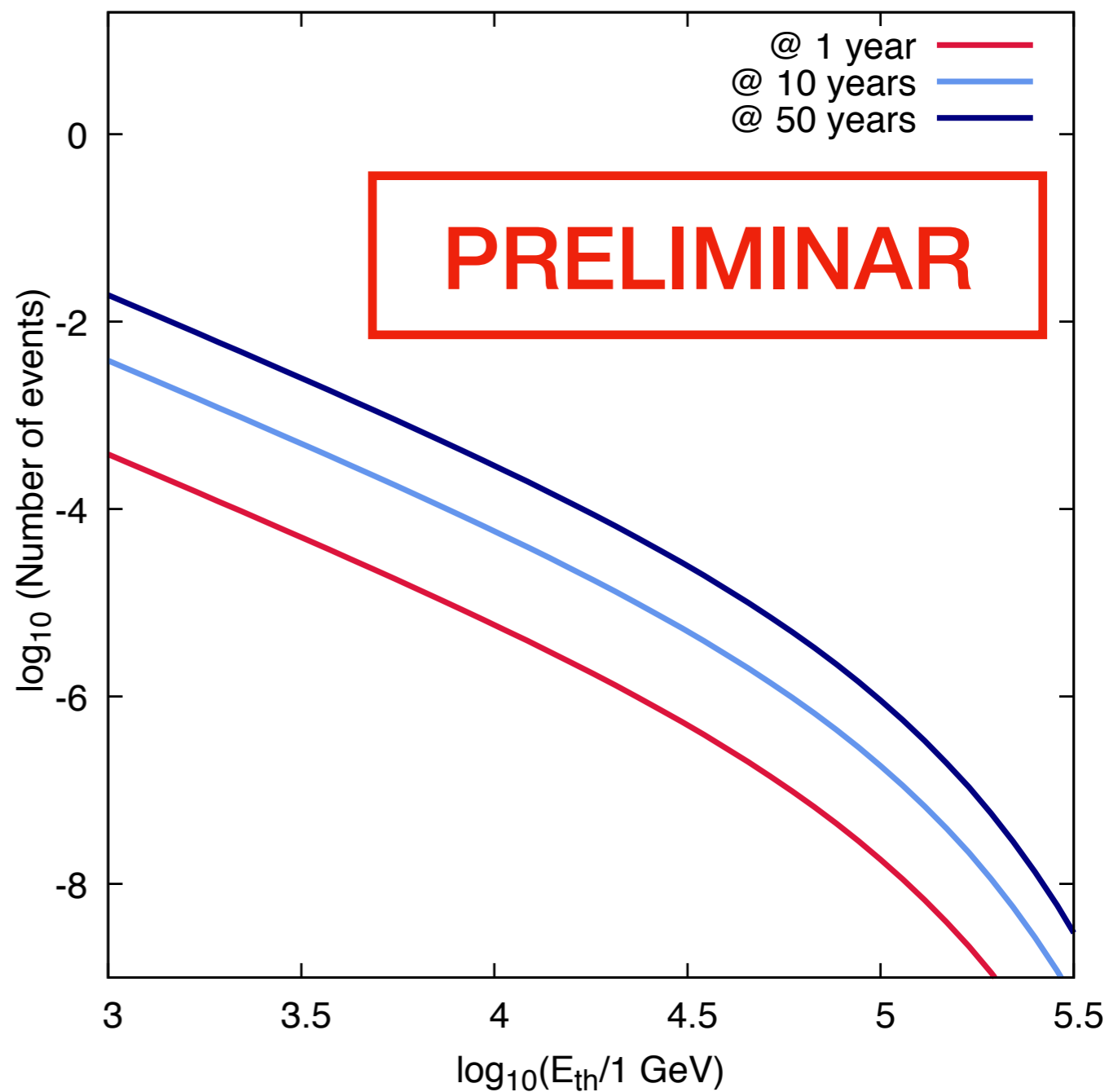
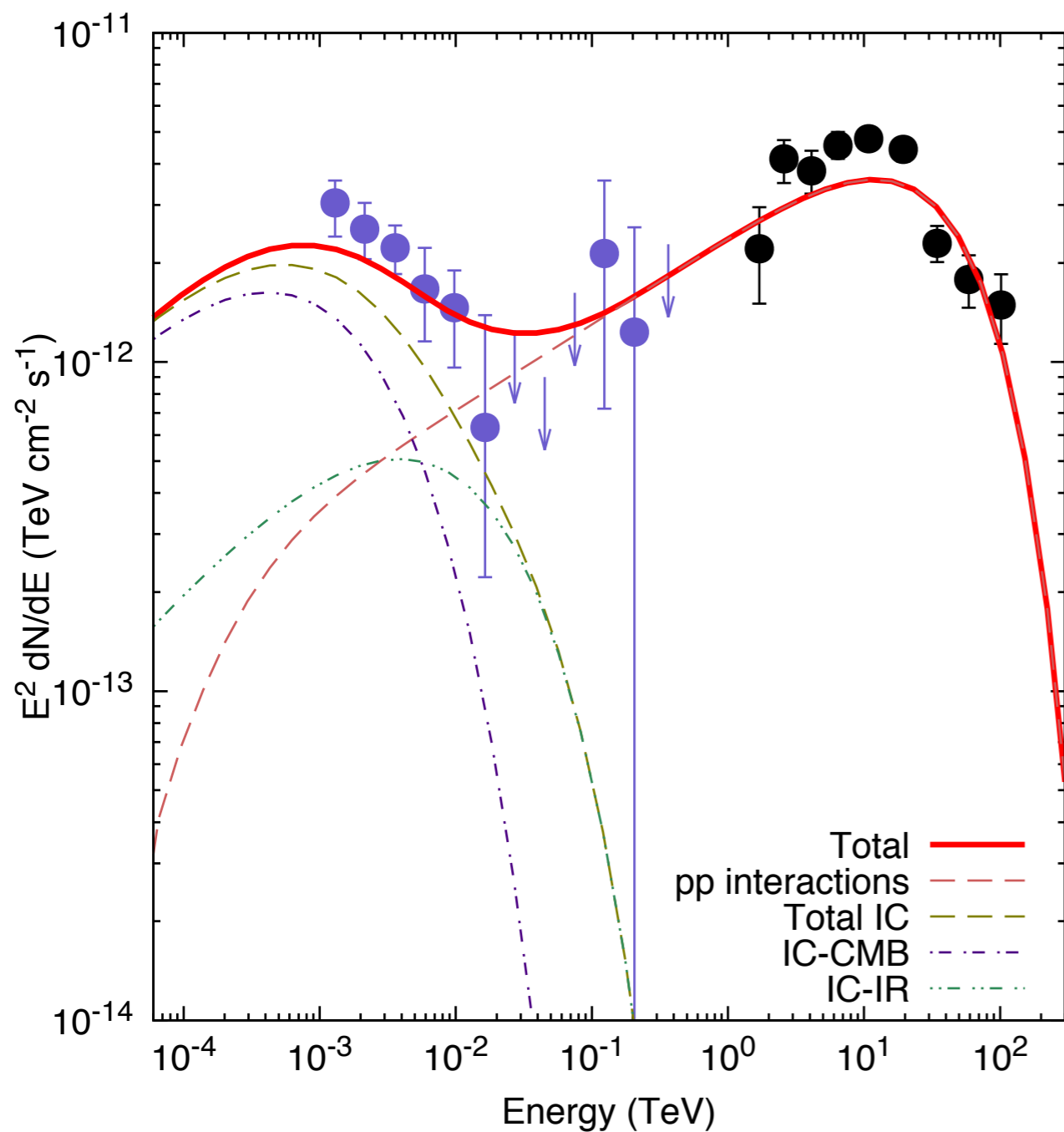
ES NECESARIO CONSIDERAR LA

CONTAMINACIÓN DE OTRAS FUENTES

eHAWC J1825-134

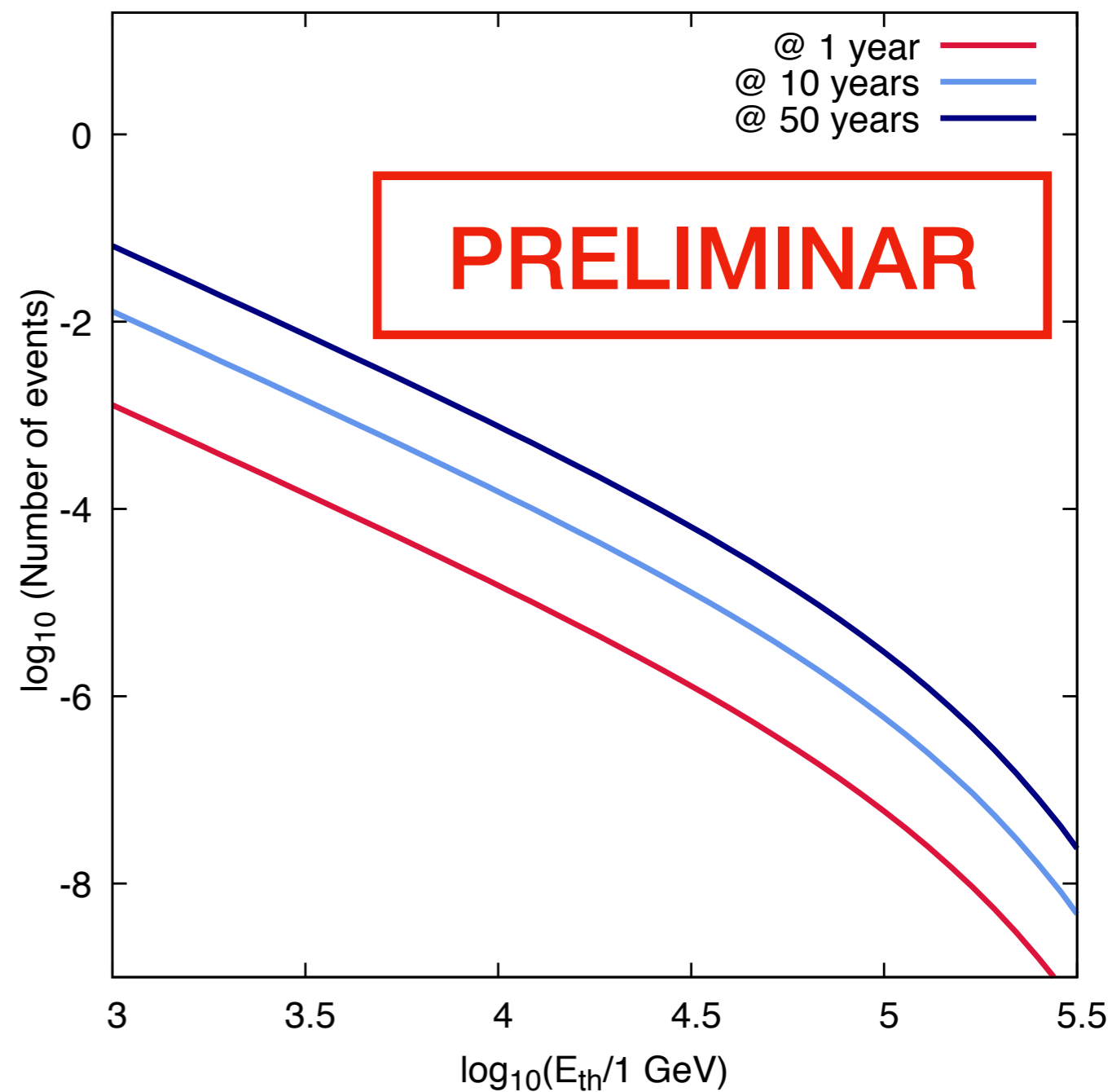
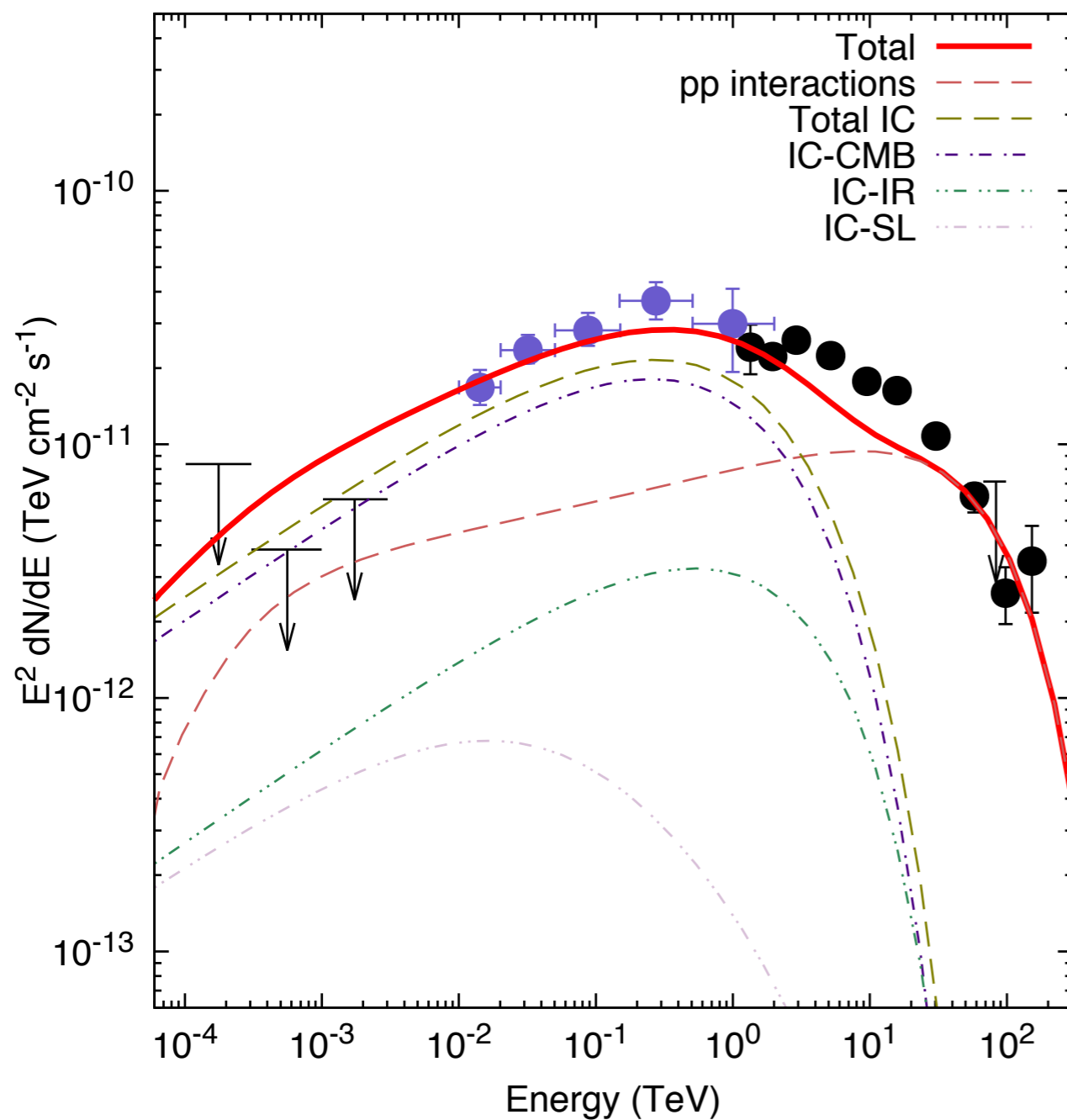
Modelo leptó-hadrónico

eHAWC J2019+368
SNR G074.9+01.2



Modelo leptó-hadrónico

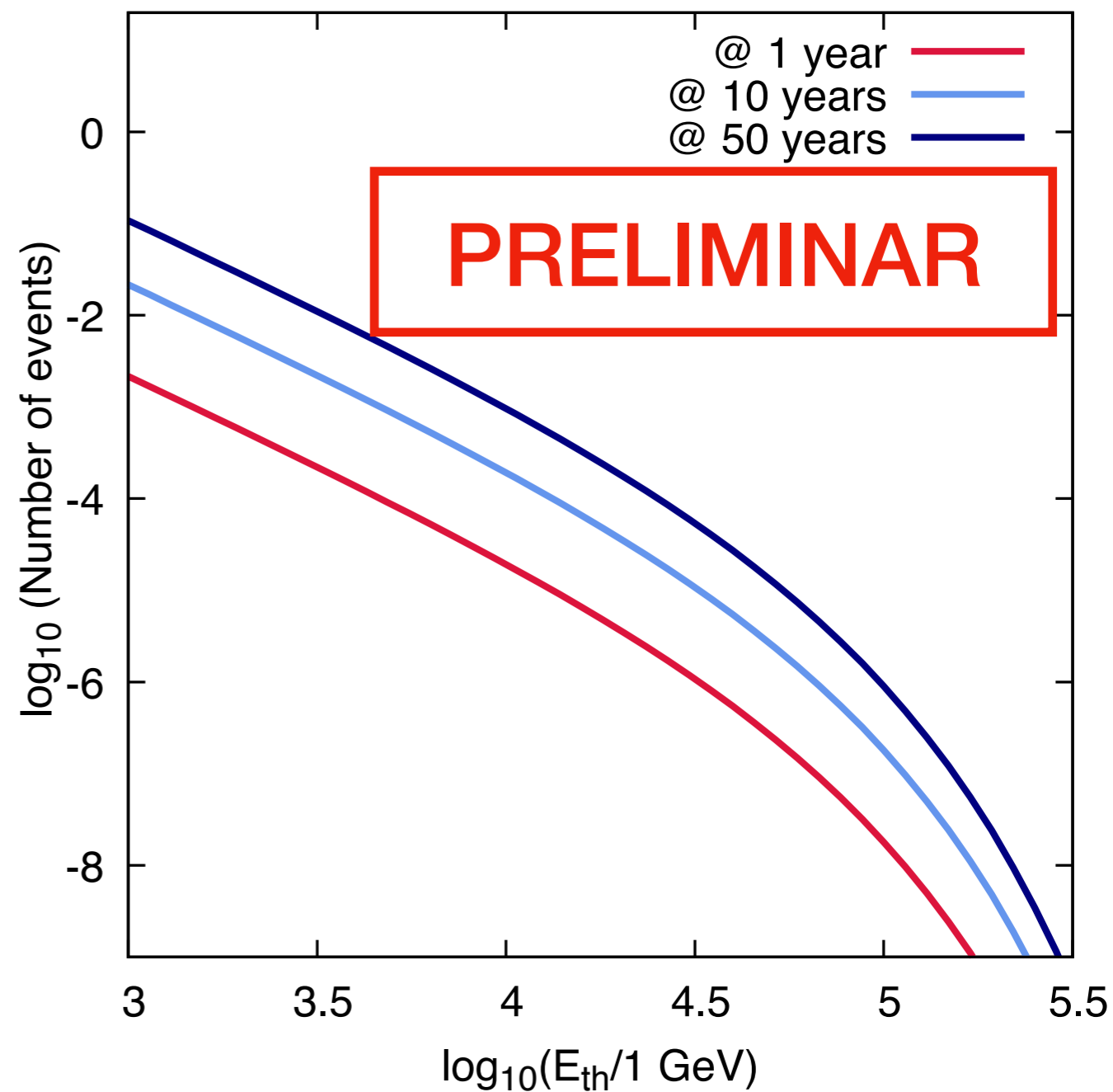
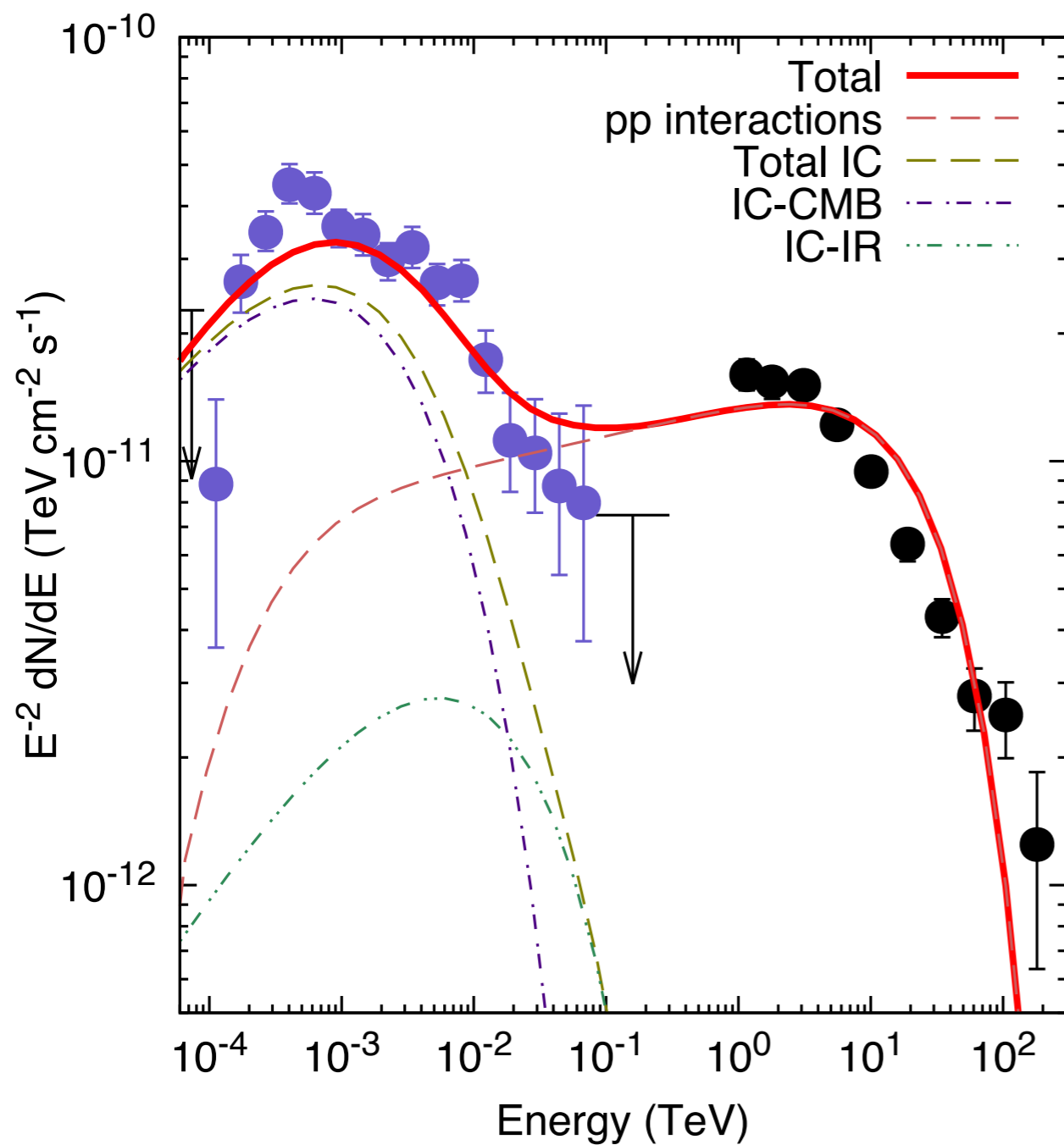
eHAWC J1825-134
SNR G18.0-0.7



Modelo lepto-hadrónico

eHAWC J1907+063

SNR G074.9+01.2



Conclusiones

- ❖ IceCube ha reportado > 180 neutrinos de altas energías (TeV - PeV) de los cuales solo 1 ha sido asociado a una fuente astrofísica, TXS 0506+056.
- ❖ Fuentes astrofísicas de origen galáctico son candidatos a fuentes de neutrinos (por ejemplo las burbujas de Fermi o los PeVatron). En particular aquellas detectadas en muy altas energías.
- ❖ En el caso de las fuentes $E > 100$ TeV detectadas por HAWC, asumiendo un escenario leptohadrónico no se espera un flujo de neutrinos que pueda ser detectado por IceCube.
- ❖ Es necesario tomar en consideración la contaminación de fuentes cercanas a la región de interés.



instituto de astronomía

UNAM

Gracias