



Estudio de la luz extragaláctica de fondo con HAWC

Sara Coutiño de León
Alberto Carramiñana Alonso
Daniel Rosa-González

INAOE

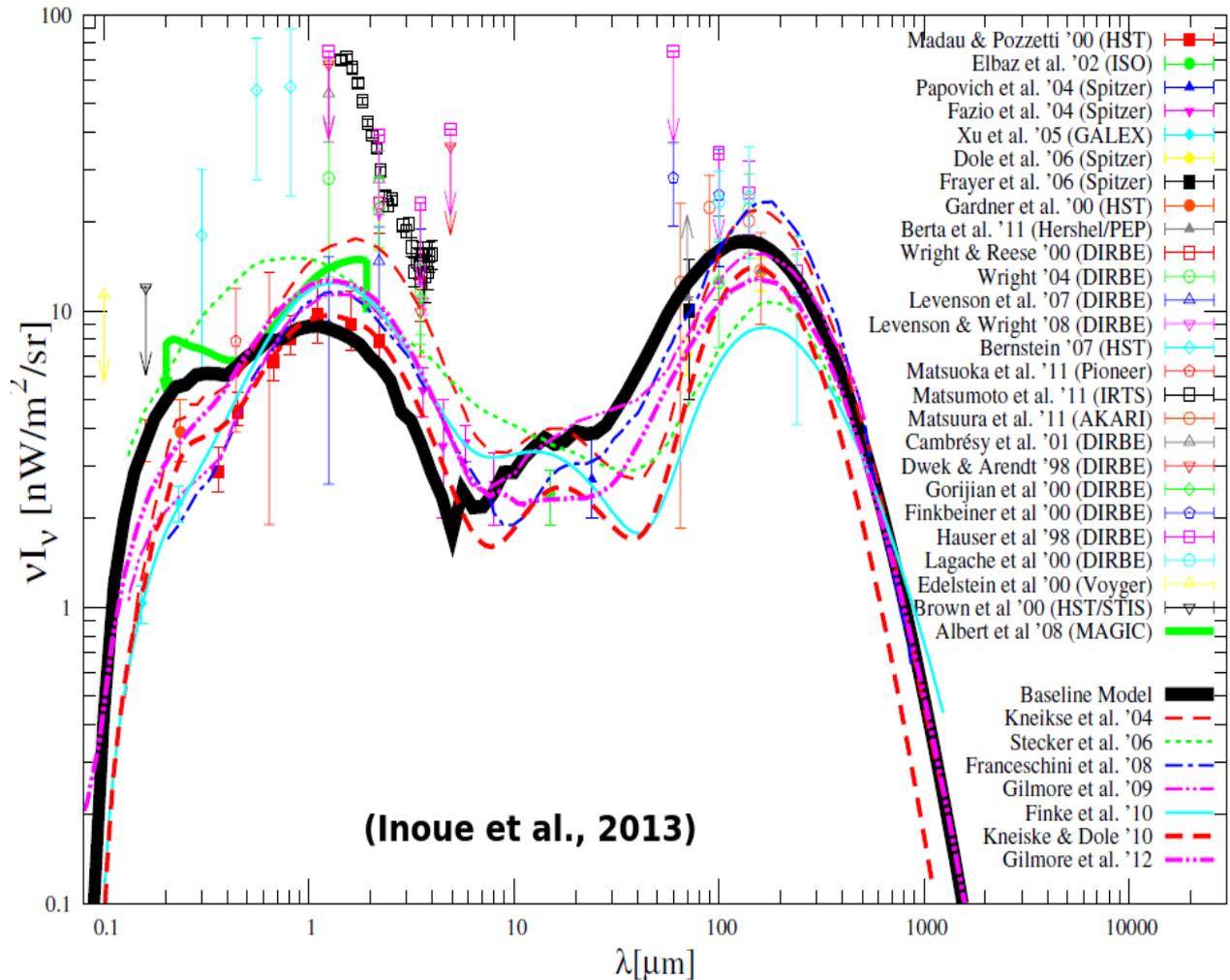
14 de Abril de 2016

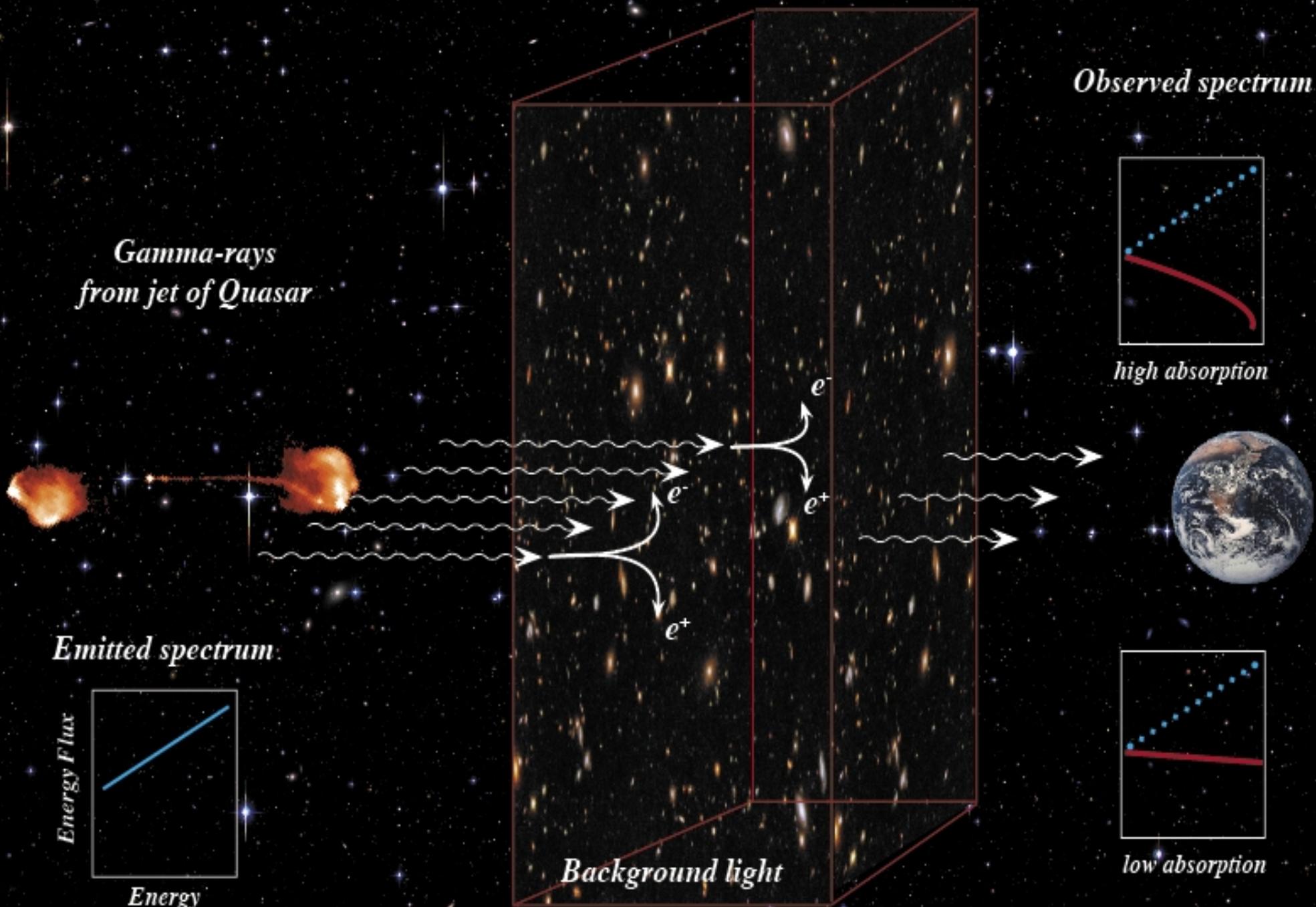
Luz extragaláctica de fondo

Luz integrada de todas las fuentes extragalácticas resueltas y no resueltas desde la época de la recombinación.

Origen:

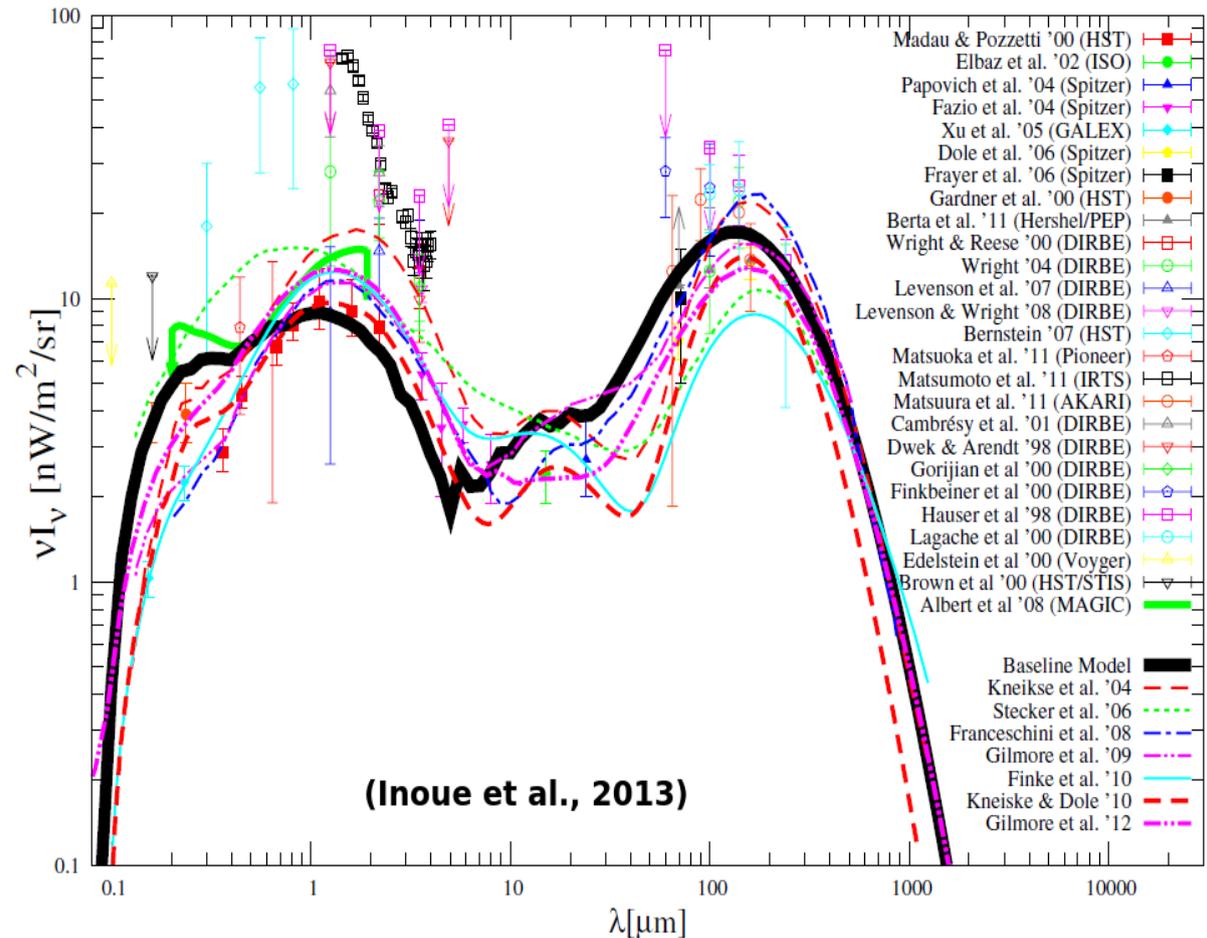
- $\sim 1000 \text{Å}^\circ - 1 \mu\text{m}$ emisión estelar
- $\sim 100 \mu\text{m}$ Luz UV y óptica re-radiada por el polvo
- $\sim 15 \mu\text{m}$ disminución de la emisión estelar (\rightarrow mid-IR), y aumento en la emisión por el polvo (\rightarrow far-IR).





Luz extragaláctica de fondo

- Detección:
 - Mediciones directas
 - Luz integrada de galaxias (IGL)
 - Grandes incertidumbres



Atenuación de rayos gamma

- La interacción entre dos fotones con energías E y ϵ crearán un par de partículas cuando la energía total del rayo gamma en el centro de momento del sistema exceda la energía en el marco de reposo de las dos partículas. (Gould & Schereder, 1967):

$$\sigma_{\gamma\gamma}(\omega) = \frac{\pi r_e^2}{2\omega^2} \left\{ \left(\frac{2\omega^4 + 2\omega^2 + 1}{\omega^4} \right) \log \left(\frac{\omega + \sqrt{\omega^2 - 1}}{\omega - \sqrt{\omega^2 - 1}} \right) - \frac{2(\omega^2 - 1)^{3/2}}{\omega^3} \right\}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{2} E_\gamma \epsilon (1 - \cos \theta)} \longrightarrow \text{4-vector de energía-momento}$$

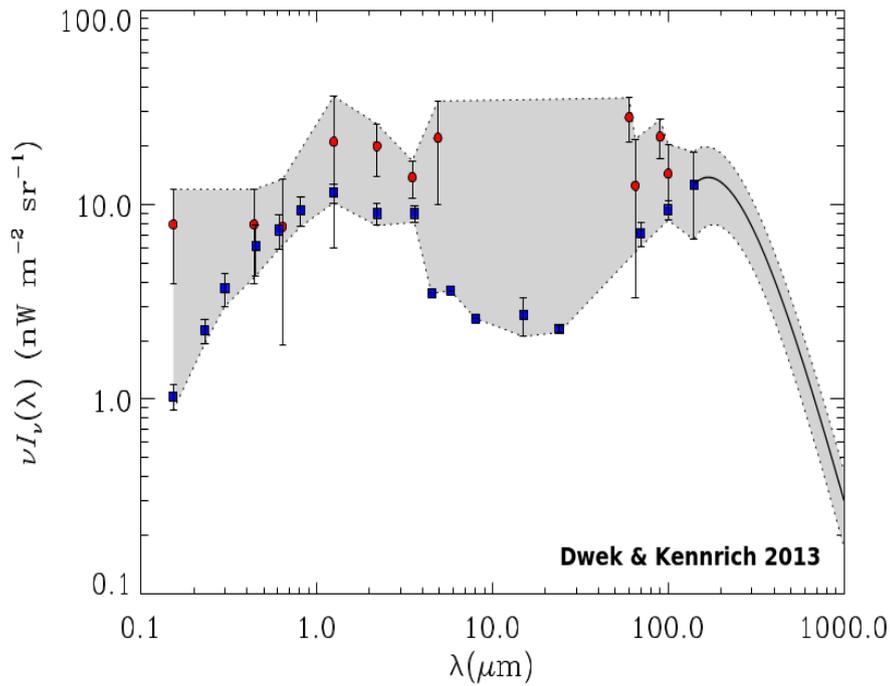
$$\omega_{peak} \simeq 1.15 \implies E_\gamma (\text{TeV}) \epsilon (\text{eV}) \simeq 0.35. \longrightarrow$$

Profundidad óptica:

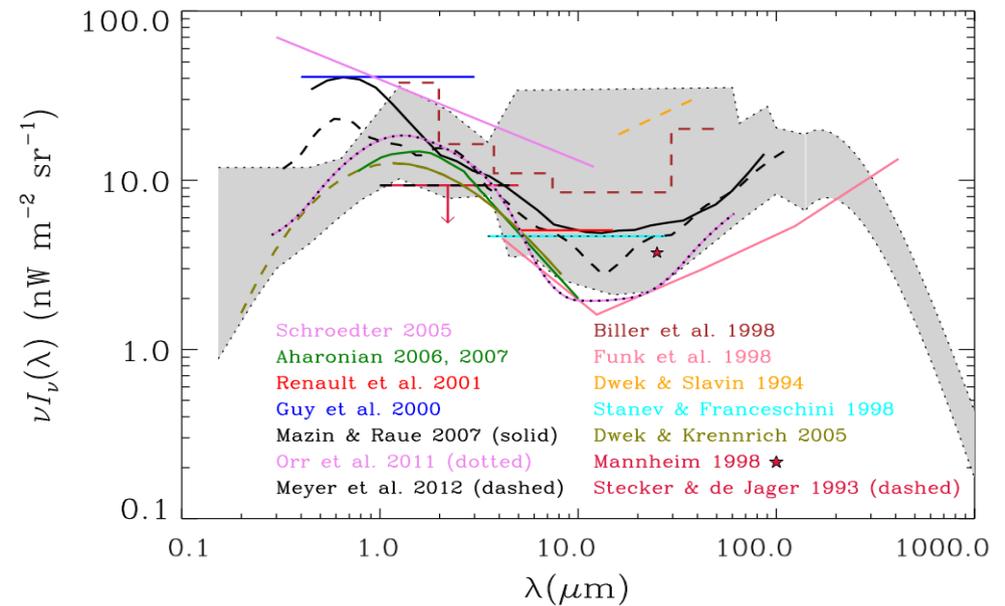
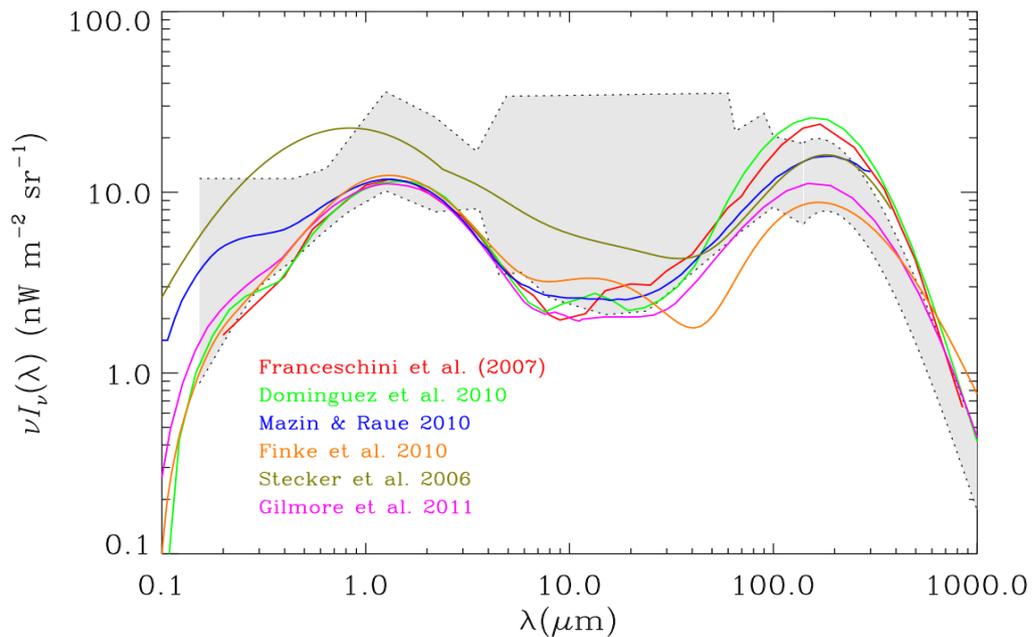
$$\tau_{\gamma\gamma} = \int_{\mathbf{z}_0}^{\mathbf{z}_s} dz \frac{dl}{dz} \int_{-1}^1 d\mu \frac{1 - \mu}{2} \int_{\epsilon_u}^{\infty} \frac{dn_\epsilon(\epsilon, \mathbf{z})}{d\epsilon} \sigma_{\gamma\gamma}$$

| E_γ (TeV) | ϵ (eV) | λ (μm) |
|------------------|-----------------|-----------------------------|
| 0.10 | 3.50 | 0.35 |
| 0.35 | 1.00 | 1.24 |
| 1.00 | 0.35 | 3.54 |
| 3.50 | 0.10 | 12.4 |
| 10.0 | 0.035 | 35.4 |
| 35.0 | 0.01 | 124 |
| 100 | 0.0035 | 354 |
| 350 | 0.0010 | 1240 |

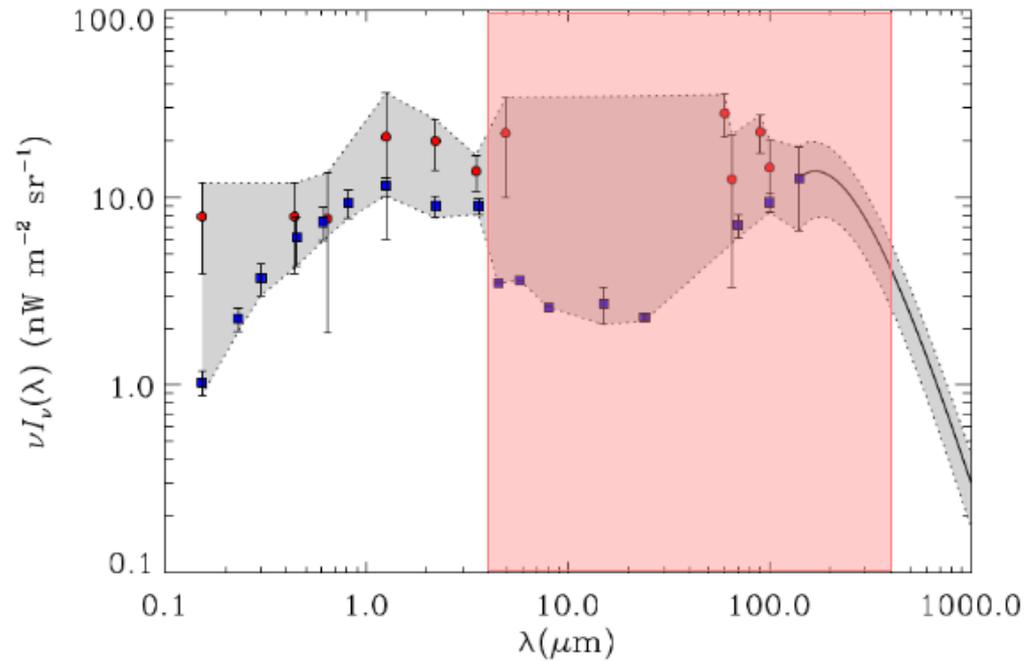
Límites en la intensidad del EBL



Límites superiores: Mediciones directas
Límites inferiores: IGL

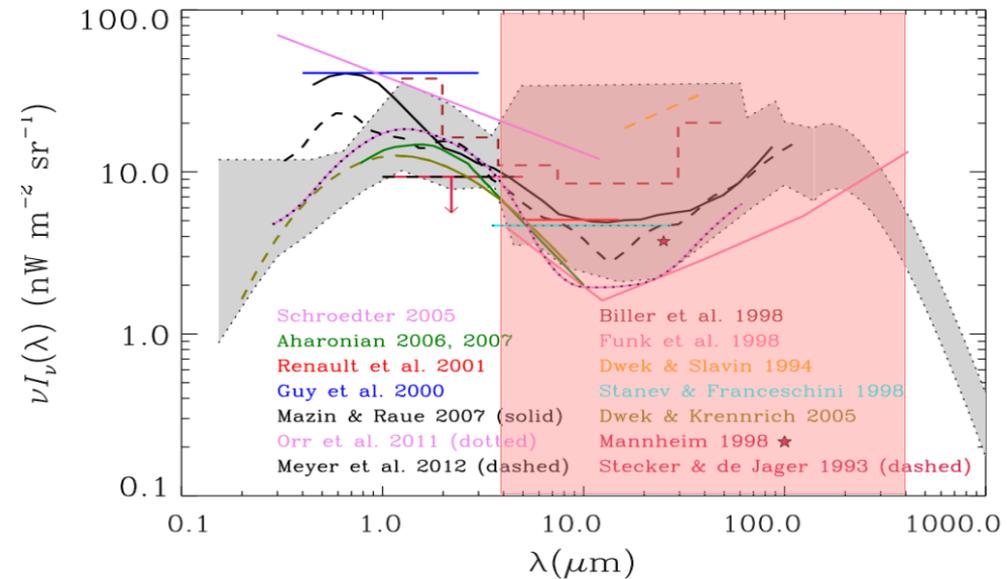
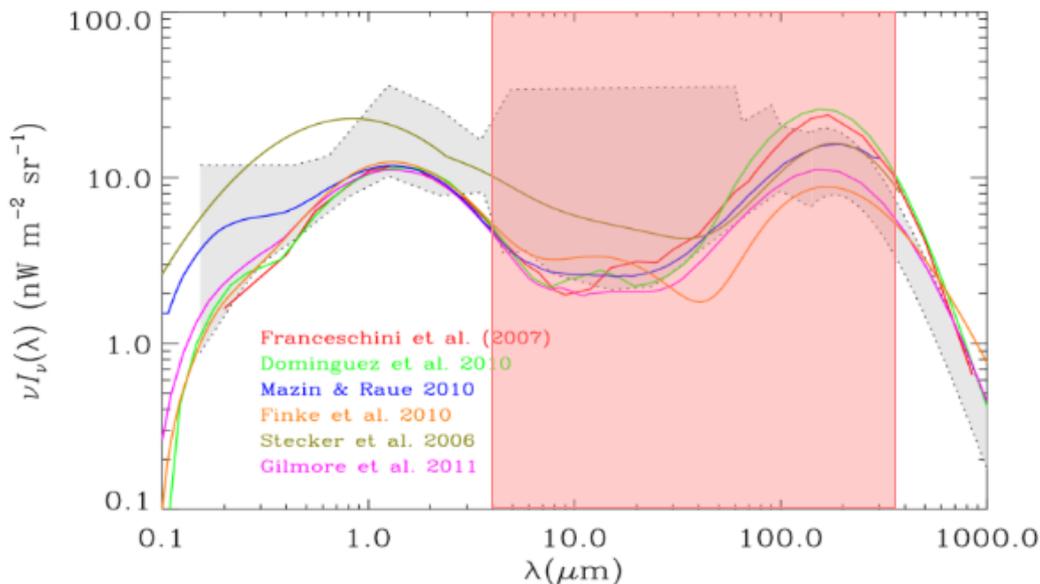
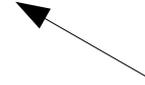


Límites en la intensidad del EBL



Mal determinada entre 3 y 3.5 μm ~ 0.1-100 TeV (observada)

¡HAWC!



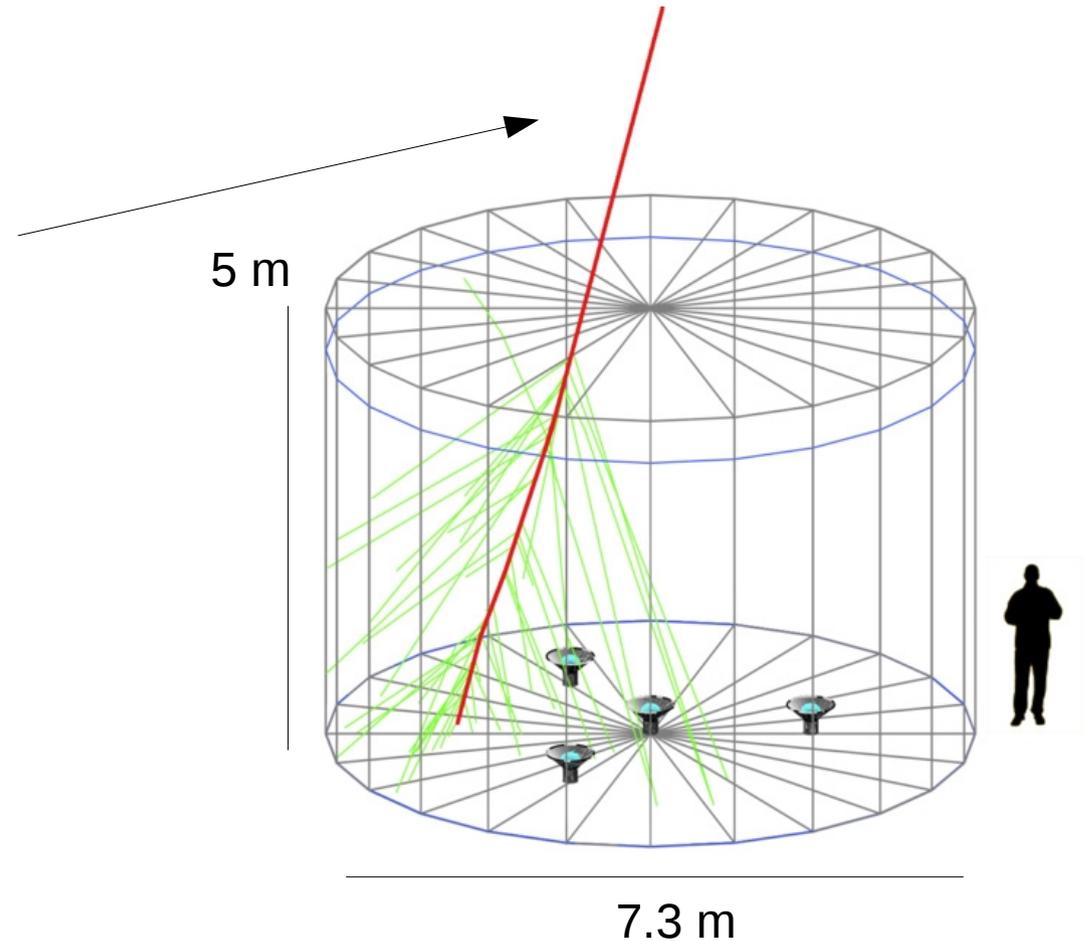
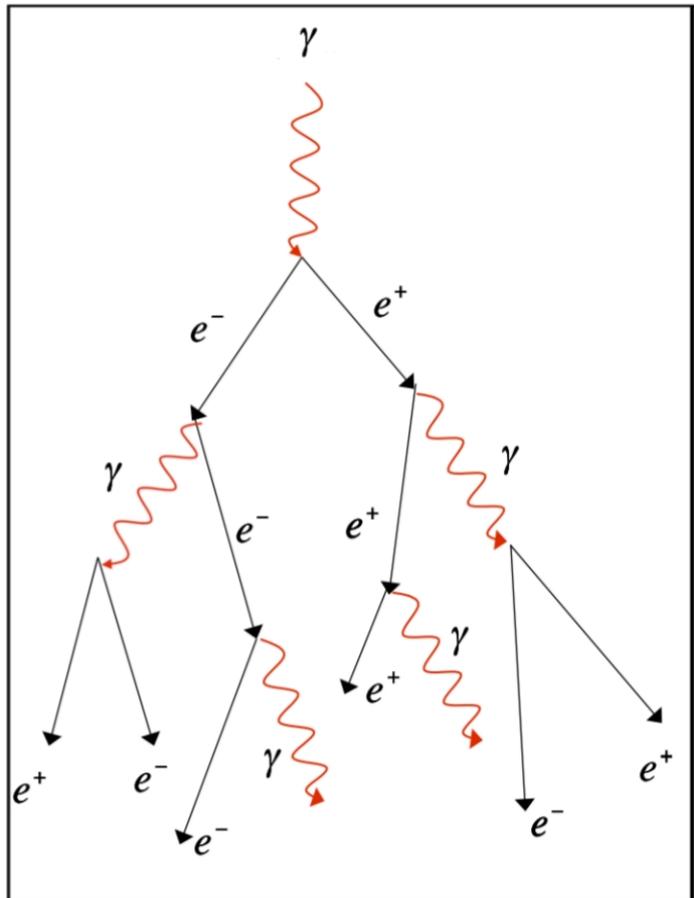


High Altitude Water Cherenkov

- 4,100 m.s.n.m en Puebla, México.
- 300 detectores de agua Cherenkov.
- 20,000 m².
- Sensibilidad entre 100 GeV y 100 TeV.
- Resolución angular promedio de 0.5°
- Campo de visión de 1.8 sr.
- Comenzó operaciones desde Agosto de 2013
- Inaugurado en 2015



High Altitude Water Cherenkov

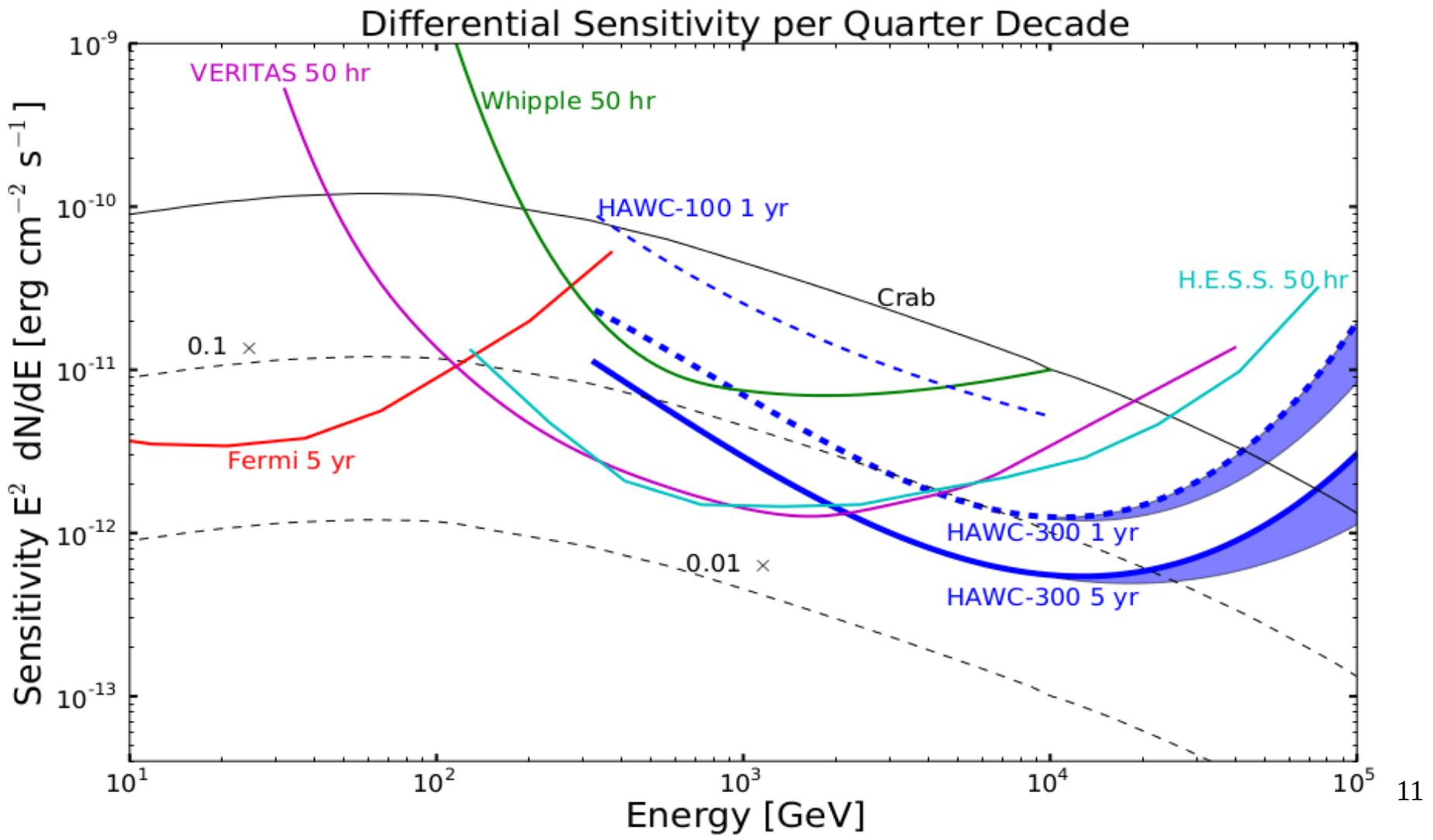


- 4 tubos fotomultiplicadores (PMTs)
- ~200,000 litros de agua pura

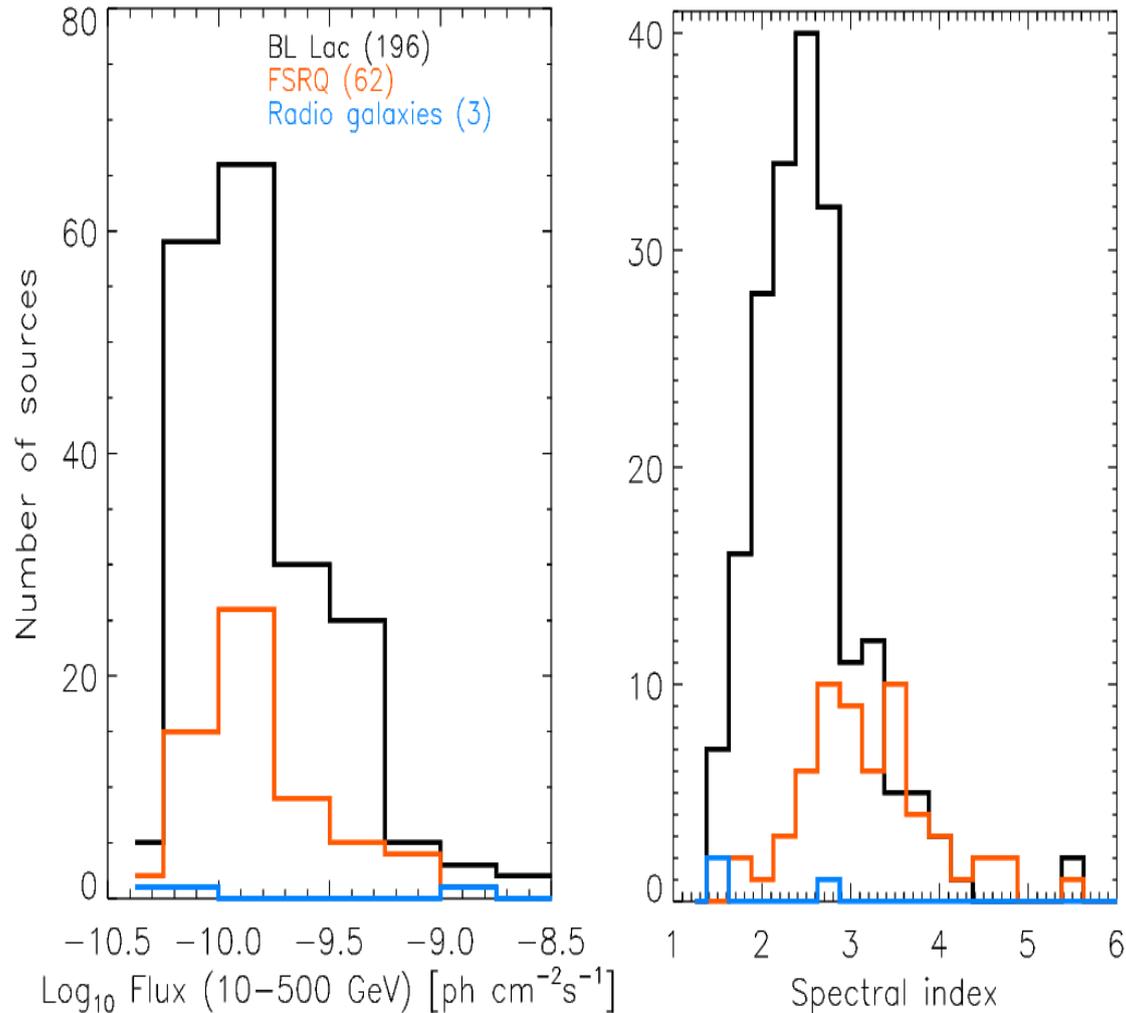




High Altitude Water Cherenkov



Muestra de fuentes



- Campo de visión:
 $\delta=(19 \pm 45)^\circ$
- Primer catálogo de Fermi-LAT de fuentes arriba de 10 GeV (1FHL)

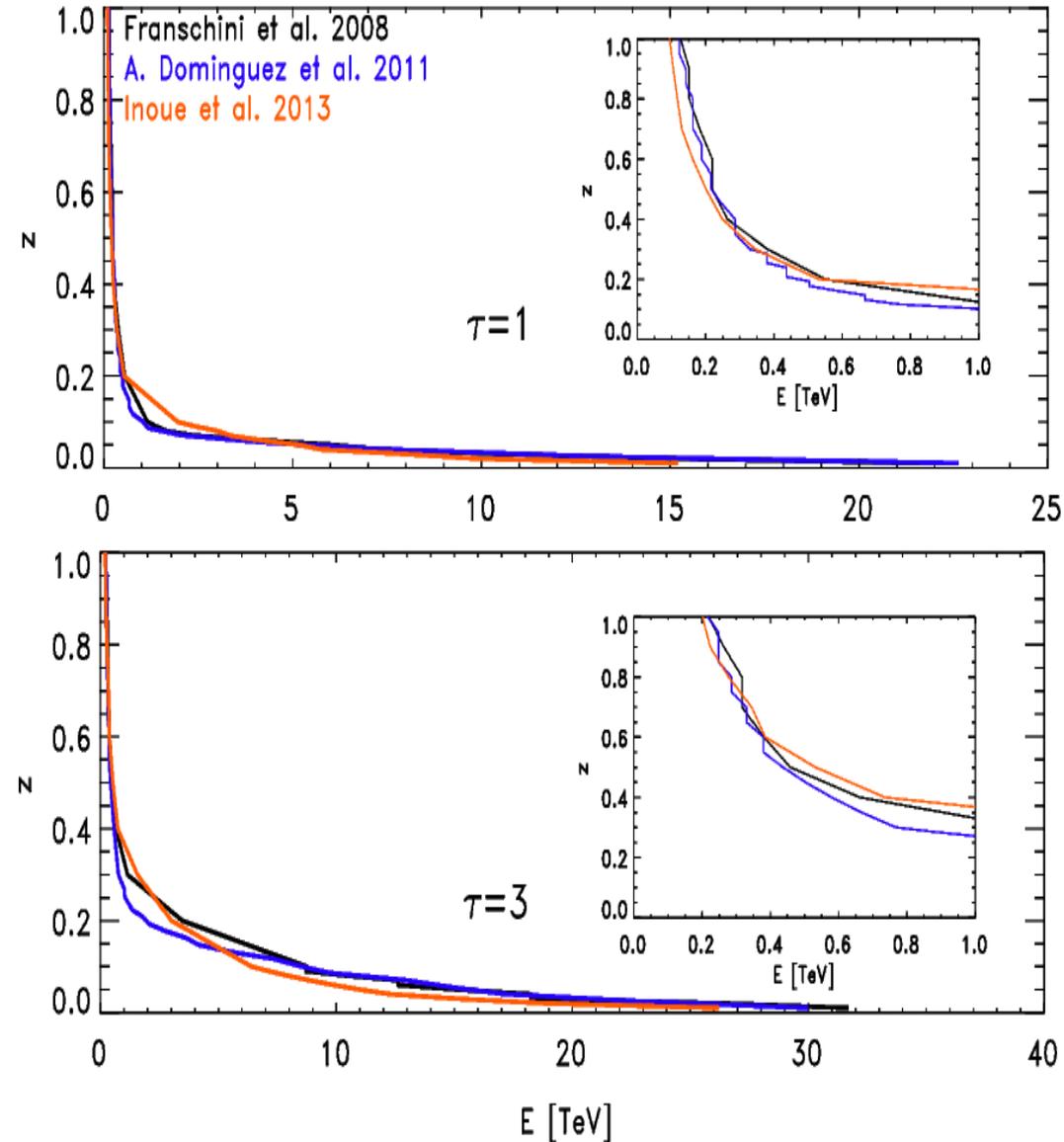
$$\frac{dN}{dE} = N_0 \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-\Gamma}, \quad 10\text{-}500 \text{ GeV.}$$

¿Cuántas fuentes pueden ser detectadas?

- Si la atenuación de los rayos γ es debido sólo al EBL:

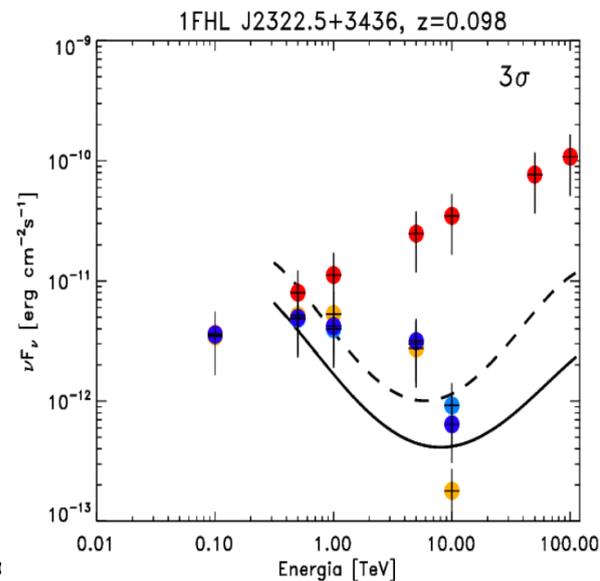
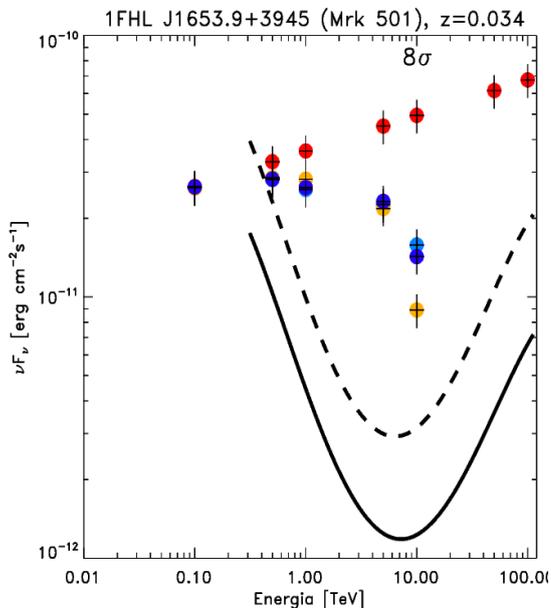
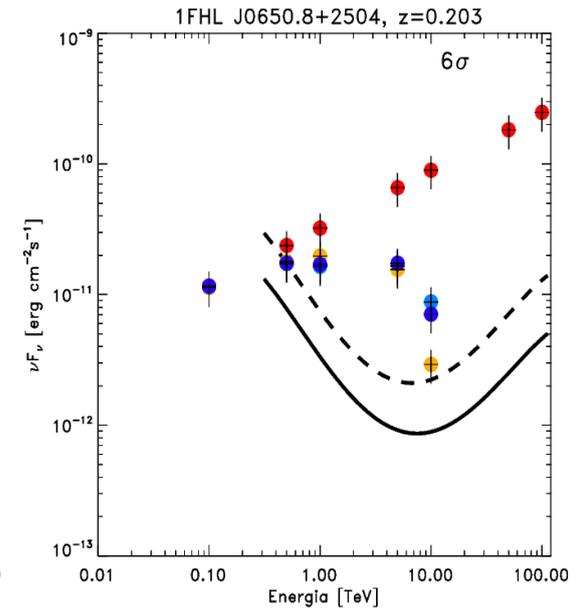
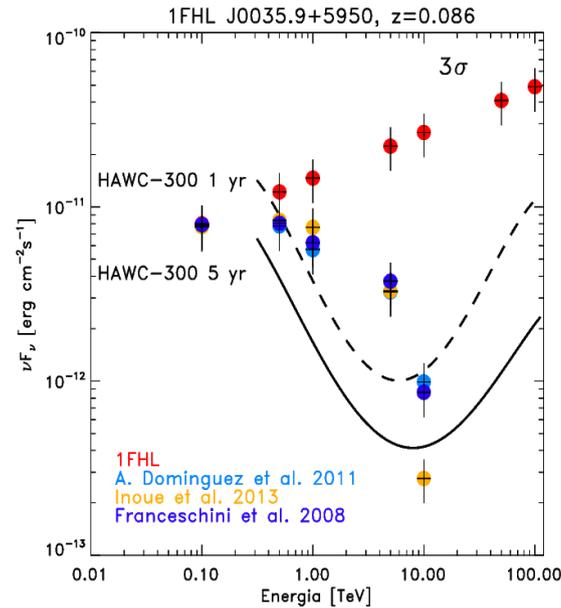
$$F_{\text{obs}}(E) = \exp[-\tau_{\gamma\gamma}(E, z)] F_{\text{unabs}}(E).$$

- $\tau=1$, $\tau=3$ y $\tau=5$ corresponden al $\sim 37\%$, 5% y 0.7% del espectro intrínseco observado, respectivamente.



Muestra principal

- Entre 10-100 GeV el espectro intrínseco no es afectada por el EBL.
- Una buena estimación del espectro intrínseco puede obtenerse extrapolando la información del 1FHL a altas energías.
- Las fuentes candidatas para estudiar el EBL fueron seleccionadas de acuerdo a su corrimiento al rojo ($z \leq 0.3$) y usando las curvas de sensibilidad.



Muestra principal

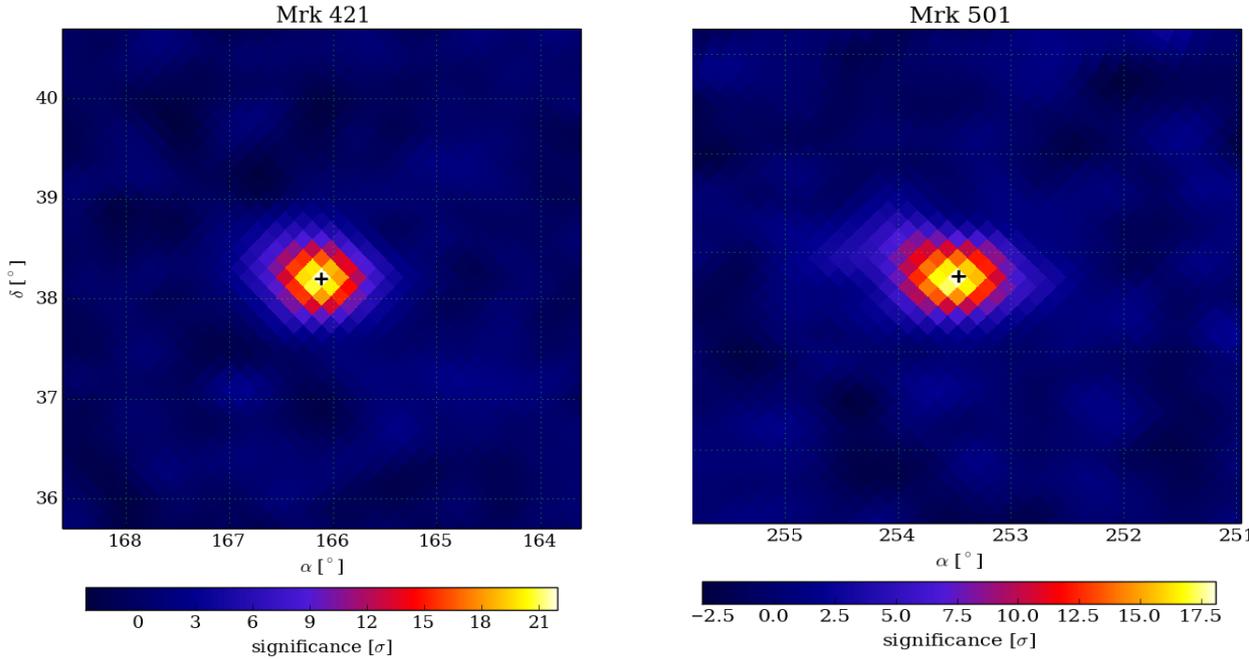
| 1FHL | Association | Type | z | Γ | $\sigma / \sqrt{\text{yr}}$ |
|--------------|----------------|------|-------|-----------------|-----------------------------|
| J0035.9+5950 | 1ES 0033+595 | bzb | 0.086 | 1.74 ± 0.18 | 6.02 |
| J0152.6+0148 | PMN J0152+0146 | bzb | 0.080 | 1.77 ± 0.34 | 4.85 |
| J0316.6+4119 | IC 310 | rdg | 0.019 | 1.31 ± 0.45 | 13.16 |
| J0521.7+2113 | VER J0521+211 | bzb | 0.108 | 1.97 ± 0.14 | 3.02 |
| J0650.8+2504 | 1ES 0647+250 | bzb | 0.203 | 1.56 ± 0.18 | 10.25 |
| J0816.3-1310 | PMN J0816-1311 | bzb | 0.046 | 2.06 ± 0.27 | 3.19 |
| J1104.4+3812 | Mkn 421 | bzb | 0.031 | 1.91 ± 0.06 | 6.23 |
| J1230.8+1224 | M 87 | rdg | 0.004 | 1.25 ± 0.50 | 20 |
| J1653.9+3945 | Mkn 501 | bzb | 0.034 | 1.86 ± 0.10 | 5.30 |
| J1728.3+5014 | I Zw 187 | bzb | 0.055 | 1.67 ± 0.34 | 3.85 |
| J2322.5+3436 | TXS 2320+343 | bzb | 0.098 | 1.51 ± 0.32 | 9.68 |
| J2347.0+5142 | 1ES 2344.514 | bzb | 0.044 | 1.48 ± 0.18 | 5.14 |

→ Significancia esperada



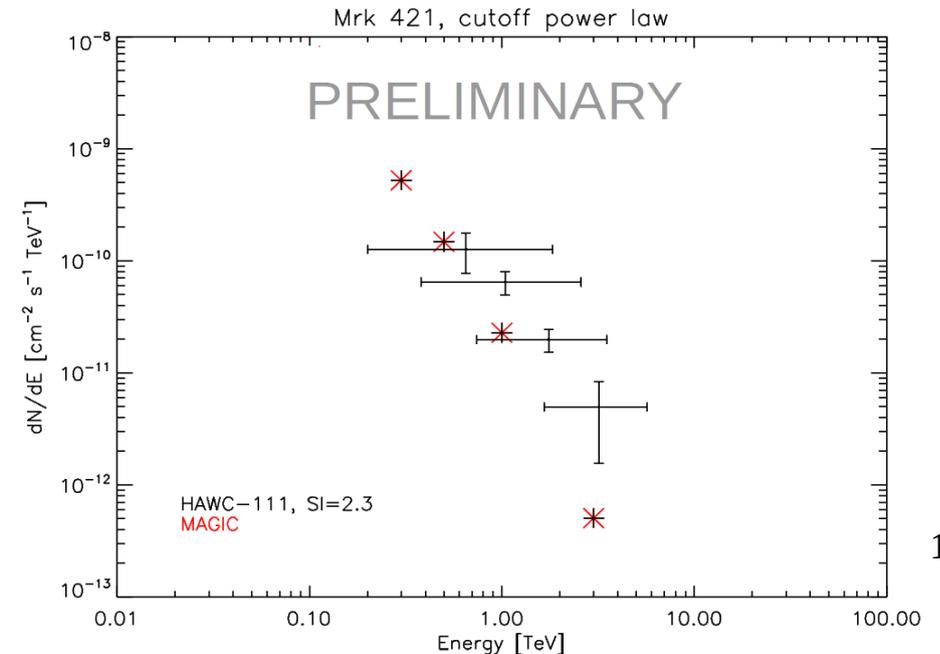
Usando simulaciones de las cascadas atmosféricas y la respuesta del detector.

Detecciones con HAWC



- 272 días de observaciones

- HAWC-111.
- Cálculo del flujo de normalización y energía media en cada bin de datos.
- Ley de potencias con un corte exponencial



Resumen / Conclusiones

- Entre 1-50 TeV, la región del EBL a ser estudiada con HAWC es el mediado y lejano infrarrojo.
- Fuentes seleccionadas del Primer Catalogo de *Fermi*-LAT de fuentes por encima de 10 GeV en el campo de visión de HAWC ($\delta=(19 \pm 45)^\circ$).
- Debido a la opacidad a rayos gamma, el corrimiento al rojo de las fuentes es $z \leq 0.3$.
- Las fuentes con mayor probabilidad de ser detectadas durante el primer año con los 300 tanques se seleccionaron usando las curvas de sensibilidad y tres modelos de EBL.
- Actualmente se está trabajando en la obtención de espectros de fuentes extragalácticas, una vez obtenidos, se tendrán restricciones a la intensidad del EBL.

A large field of metal water tanks, likely for agricultural or community use, is arranged in neat rows across a hillside. The tanks are cylindrical with conical, ribbed lids. The background features a mountain range under a dramatic sky with dark, heavy clouds and a bright sunburst effect breaking through. The overall scene is one of rugged, high-altitude terrain.

¡GRACIAS!

VIDADIV PICTURES

Antes de ser FCFM... era “El Cefy”

