



Restringiendo la población de TeV halos en M31

A. Andrés, M. M. González, M. F. Carreón, T. Capistrán

Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto de Astronomía

División de Rayos Cósmicos

27 de marzo de 2023

TeV halos

Observaciones:

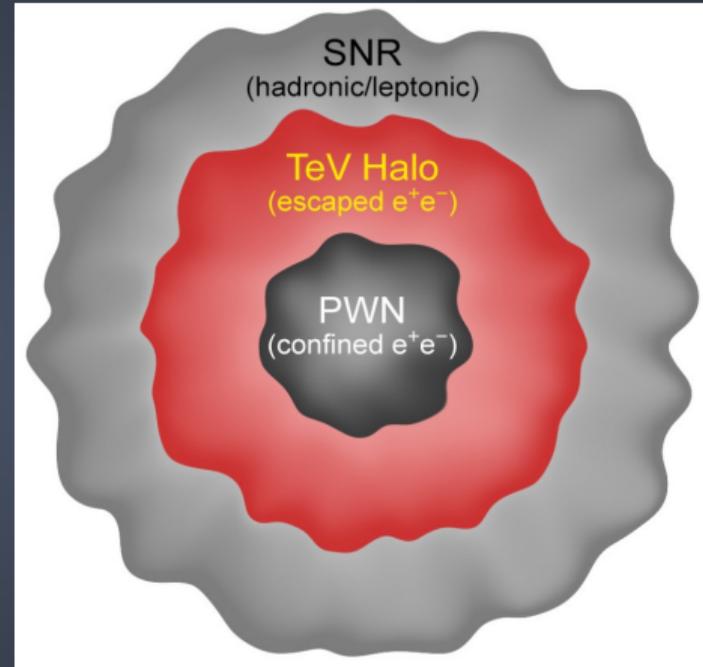
HAWC y LHAASO: regiones extendidas de rayos γ alrededor de pulsares de edad media

Se consideran una nueva fuente de rayos γ : halos de Teraelectronvolt (TeV halos)

Modelo

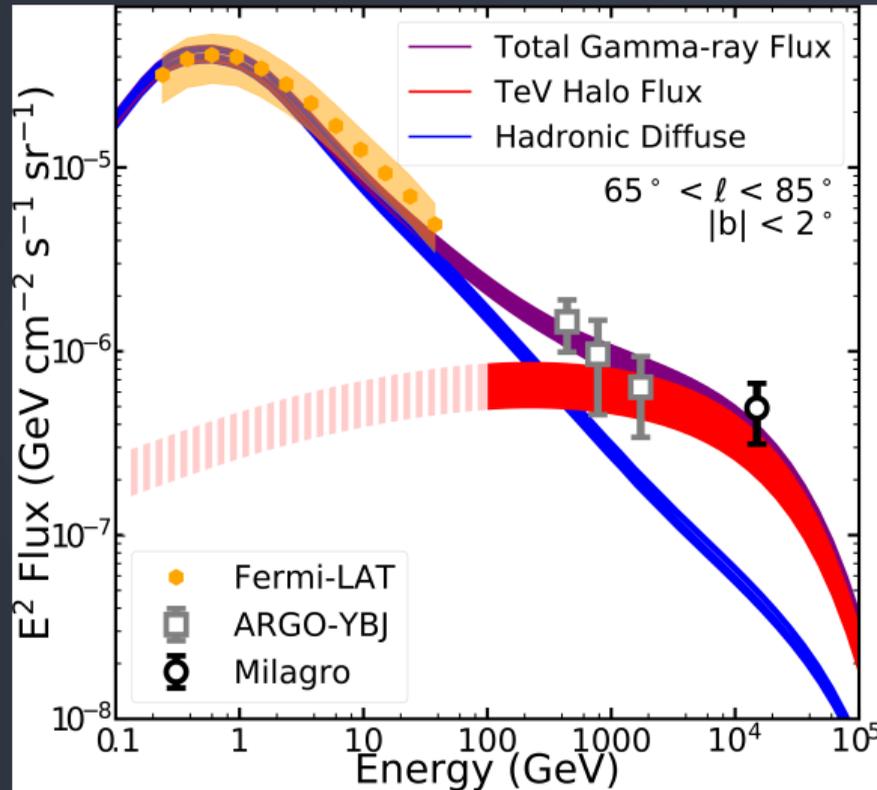
Compton inverso, difusión

- El $\sim 10\%$ de \dot{E} se convierte en pares e^-e^+ (Hooper et al., 2017, Phys Rev D, 96)
- Coeficiente de difusión local menor al promedio medido para la Galaxia (Abeysekara et al., Science, 2017: 358.6365)



(Sudoh et al, 2019, Phys Rev D, 100)

TeV halos



“Exceso de TeV” medido para el plano Galáctico

Los TeV halos son las fuentes dominantes a energías de TeV en nuestra Galaxia

¿Cuál es la contribución de los TeV halos a la emisión en TeV de cualquier otra galaxia?

Linden & Buckman, 2018, Phys Rev Let, 120

Galaxia de Andr3meda (M31)

Galaxia espiral de mayor tama1o m1s cercana a la Tierra ($d_{M31} = 785 \pm 25$ kpc)

Emite en la banda de energ1a de los rayos γ

M31 \rightarrow exceso de rayos γ difuso, a energ1as de GeV similar al de nuestra Galaxia

- Materia oscura (DM)
- Pulsares de milisegundos (MS pulsars)

En M31, el modelo favorable es el de MS pulsars



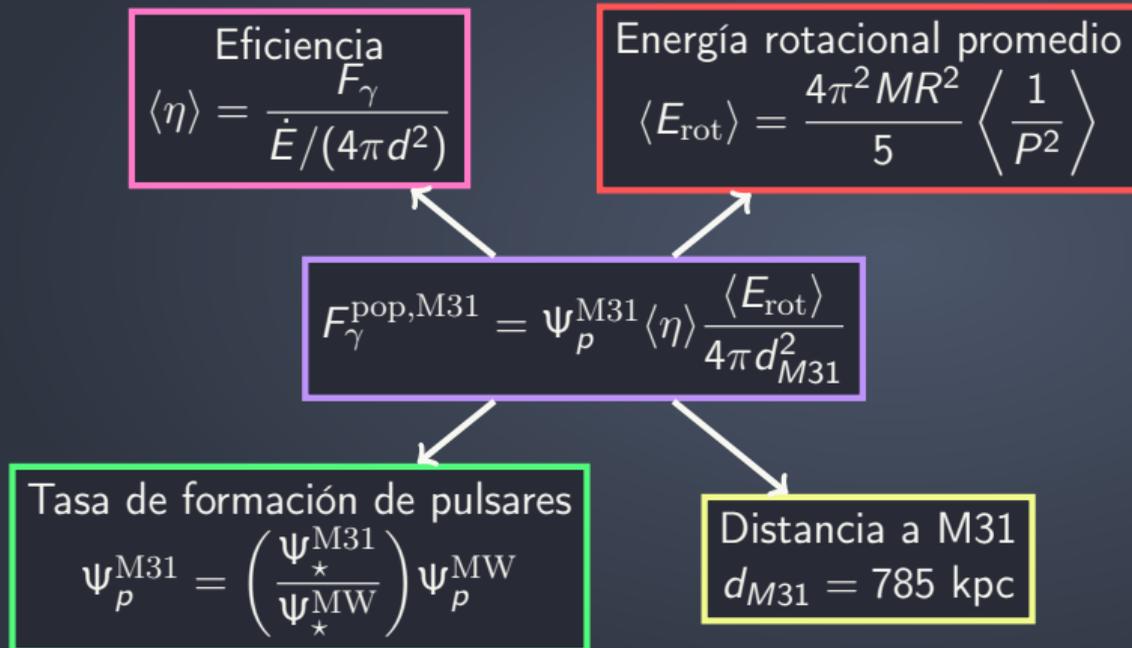
Fuente: NASA/GALEX

Propiedades de M31 y Vía Láctea (MW)

| Observable | MW | M31 |
|---|--------------|-------------|
| <i>Propiedades globales</i> | | |
| Morfología | SbcI-II | SbI-II, |
| Masa ($10^{10} M_{\odot}$) | | |
| Visible | 5 – 6 | 5.9 – 10 |
| Total | 40 – 55 | 107 – 140 |
| <i>Disco</i> | | |
| Semi eje mayor (kpc) | 13 | 26 |
| SFR total ($M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) | $\sim 1 - 5$ | 0.35 – 1.0 |
| Masa ($10^{10} M_{\odot}$) | | |
| disco | 3.5 – 5 | 7 – 12 |
| estelar | 3.0 | 6 |
| gas | 0.7 | 0.6 |
| HI | 0.4 | 0.5 |
| H ₂ | 0.11 | 0.02 – 0.04 |

Modelo de emisión de población de TeV halos

Modelo propuesto por Xu & Hooper, (2022):



$$F_{\gamma} = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} N_0 E \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-\xi} dE,$$

con N_0 , E , ξ tomados del tercer catálogo de HAWC.

\dot{E} y $\langle E_{rot} \rangle$ tomados y calculados con el catálogo ATNF (Manchester et al, 2005).

$\Psi_p^{MW} = 1.4$ pulsar/siglo, tomado de Lorimer et al, (2006)

Modelo

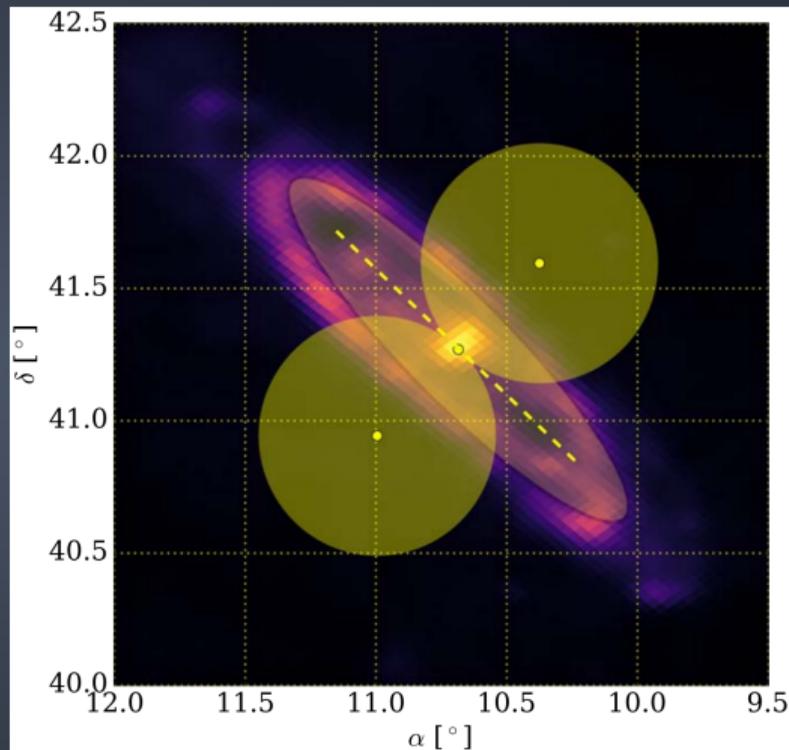
Tomando el espectro para la población de TeV halos en M31:

$$F_{\gamma}^{\text{pop,M31}} = \int_{E_{\text{mín}}}^{E_{\text{máx}}} N_0^{\text{pop,M31}} E \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-\xi} \exp\left(-\frac{E}{E_c}\right) dE$$

$E_c = 50$ TeV (Xu & Hooper, 2022; Abeysekara et al 2020)

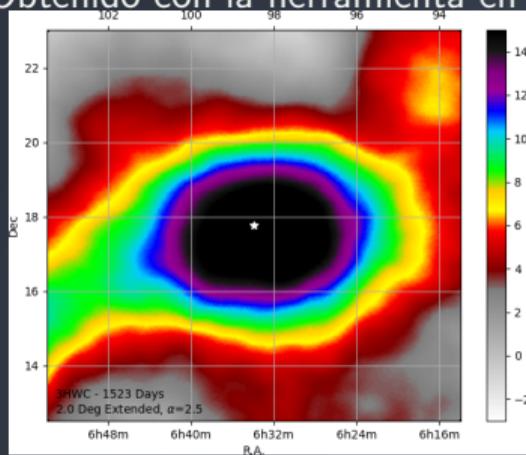
Se compara con los Upper Limits reportados por la colaboración de HAWC en M31 (Albert et al., 2020)

$\xi = 2.5$, $E_0 = 1$ TeV

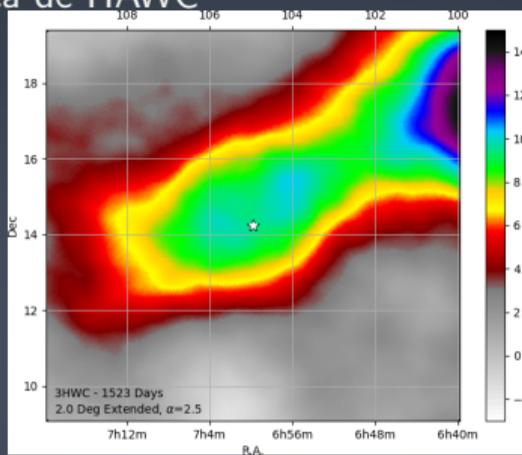


Emisión de población de TeV halos

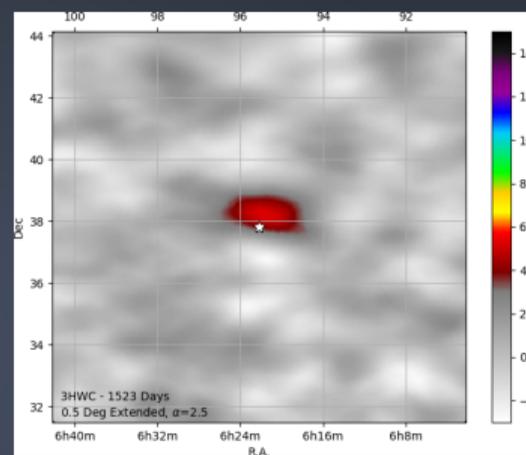
Obtenido con la herramienta en línea de HAWC



Geminga



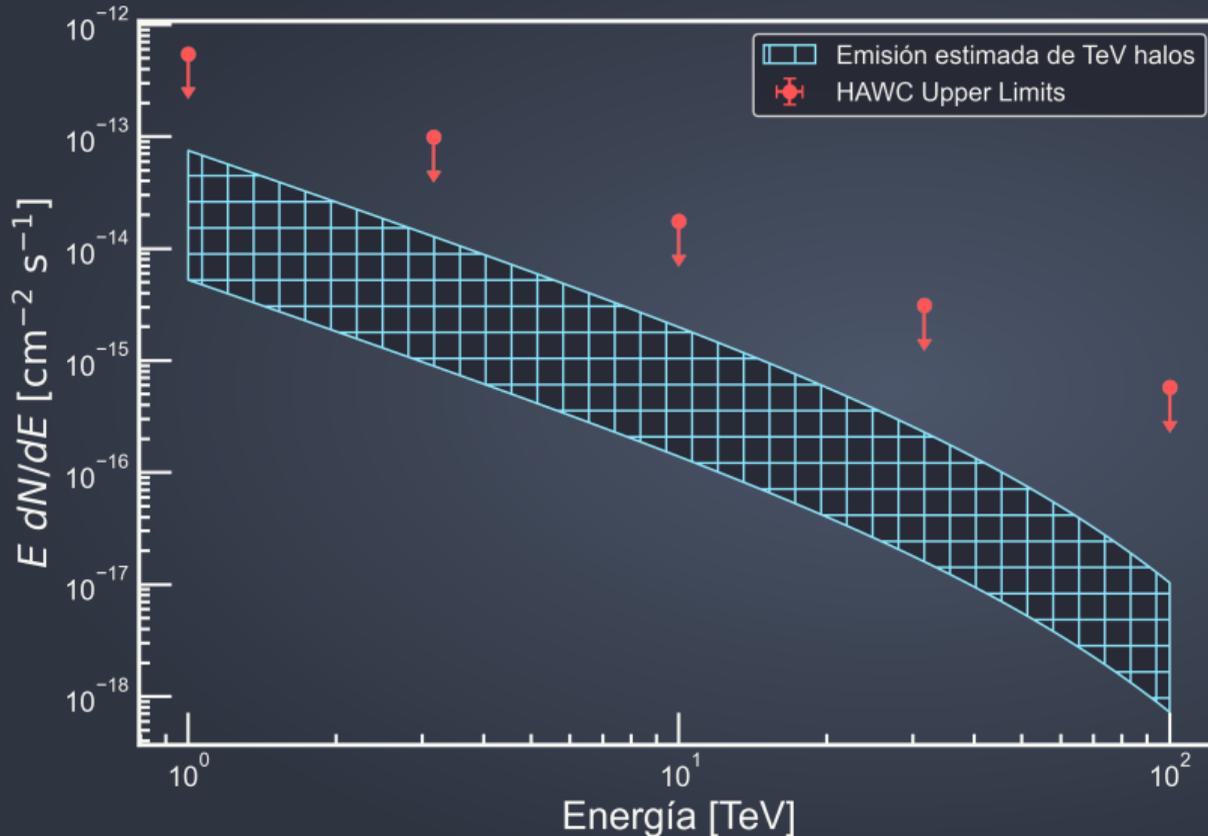
Monogem



PSR J0622+3749

| Nombre | d (kpc) | \dot{E} (10^{34} erg s $^{-1}$) | F_γ (10^{-11} TeV cm $^{-2}$ s $^{-1}$) | η ($\times 10^{-2}$) |
|----------------|--------------|--|---|--------------------------------|
| Geminga | 0.250 | 3.26 | 5.72 | 2.10 |
| Monogem | 0.288 | 3.80 | 2.99 | 1.25 |
| PSR J0622+3749 | 1.60 | 2.71 | 0.52 | 9.55 |

Emisión estimada



Eficiencia promedio de
Geminga y Monogem

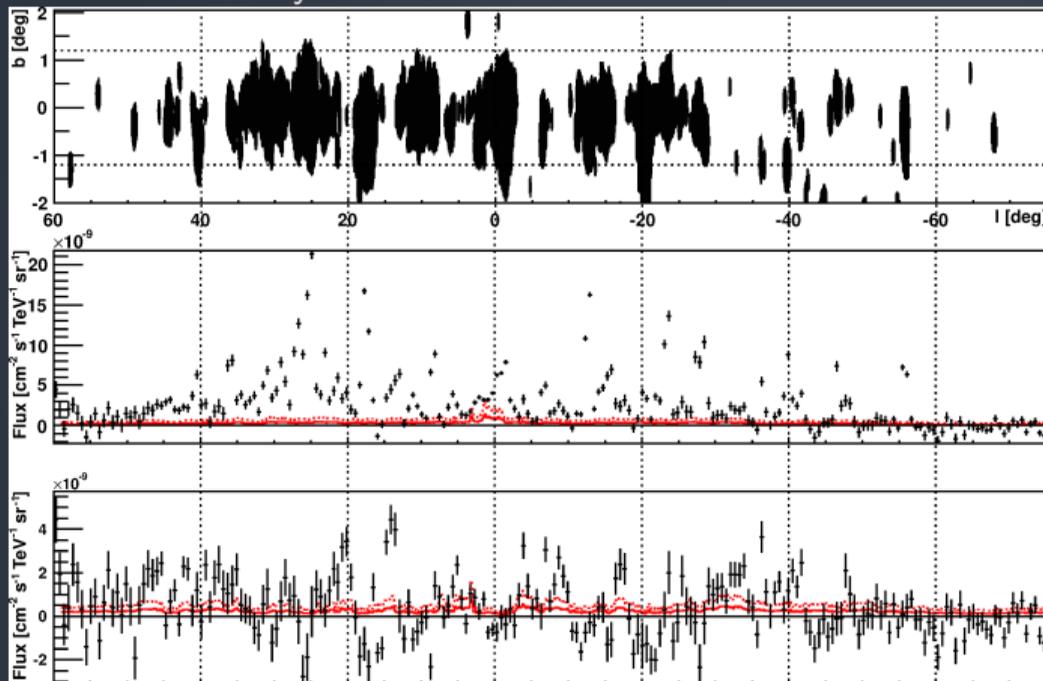
~ 1 orden de magnitud por
debajo de los Upper Limits

Emisión de TeV halos
únicamente

Flujo a 1 TeV en el plano Galáctico

Observaciones de H.E.S.S.

$-75^\circ < \ell < 60^\circ$ y $-2^\circ < b < +2^\circ$



Abramowski et al., 2014, Phys Rev D, 90

Panel superior

- **Regiones negras:** Regiones de emisión significativa (S)
- **Regiones blancas:** Regiones de emisión difusa (D)

Panel central:

Flujo a 1 TeV para la región S

Panel inferior:

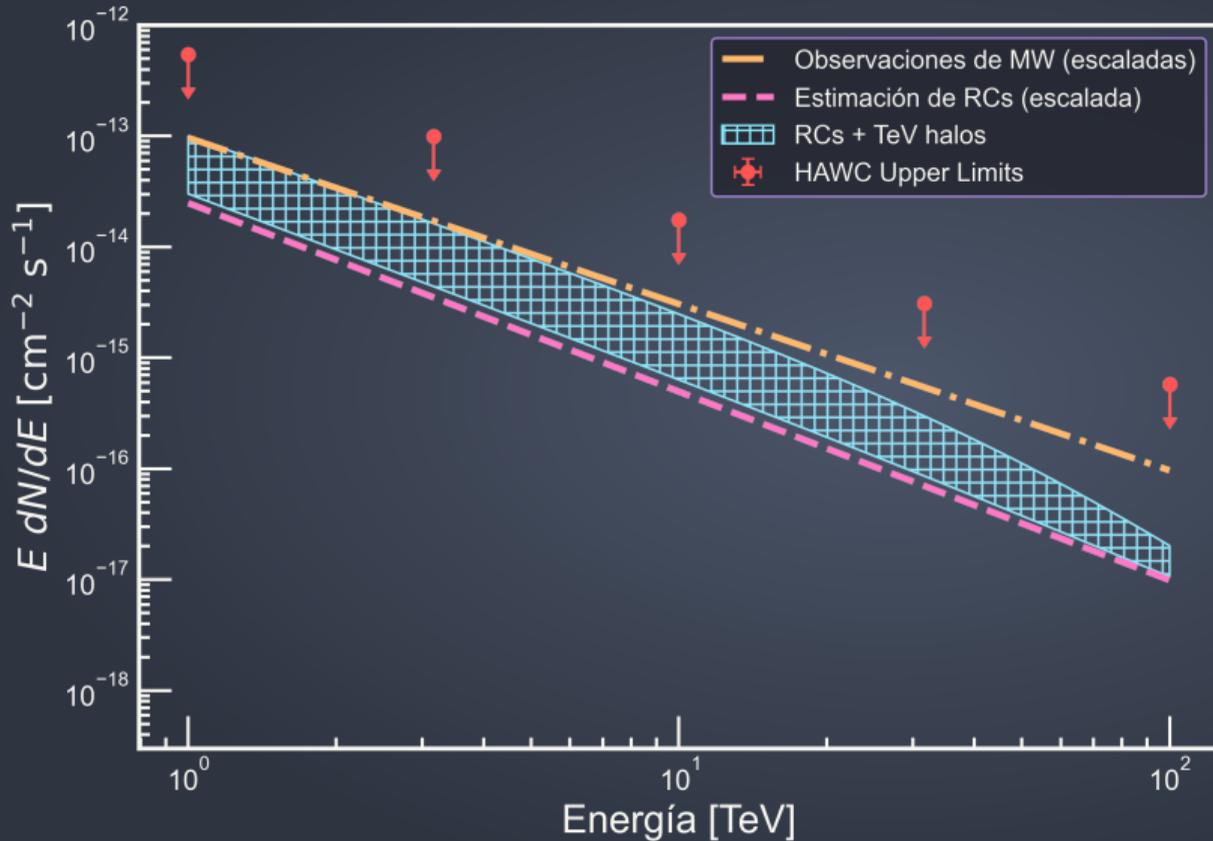
Flujo a 1 TeV para la región D

Líneas rojas: Emisión por rayos cósmicos (hadrónicos)

$$N_0^S = 4.48 \times 10^{-10} \text{ TeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$N_0^H = 1.15 \times 10^{-10} \text{ TeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

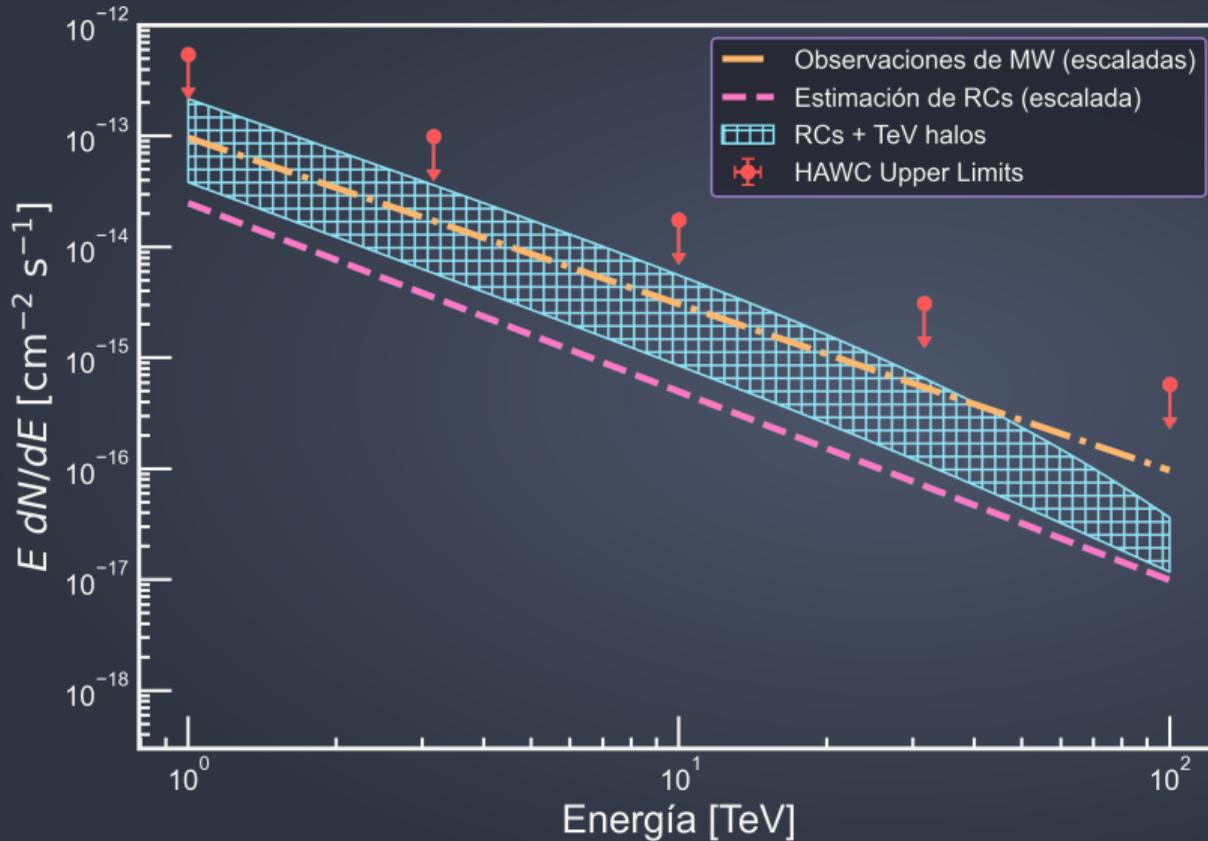
Emisión estimada



Por debajo de las observaciones escaladas de MW

¿Qué pasa al considerar la eficiencia de PSR J0622+3749?

Emisión estimada



La emisión aumenta y se acerca más a los UL

Por encima de las observaciones escaladas de MW

Conclusiones

TeV halos $\rightarrow \sim 1$ orden de magnitud inferior a los Upper Limits,
Casos de mayor eficiencia \rightarrow consistente/comparable con los Upper Limits

La distancia o cercanía de los pulsares entre sí parece ser un parámetro determinante en la estimación

Eficiencia puede estar afectada por campos magnéticos/coeficiente de difusión local

Trabajo a futuro

Emisión de RCs de M31 con modelos más realistas

Recalcular los Upper Limits de HAWC usando los nuevos algoritmos de reconstrucción y los datos más recientes