



instituto de astronomía

unam

Buscando Halos de TeV con el observatorio HAWC

Fernanda Carreón*

Magdalena González

Alexis Andres

Tomás Capistrán

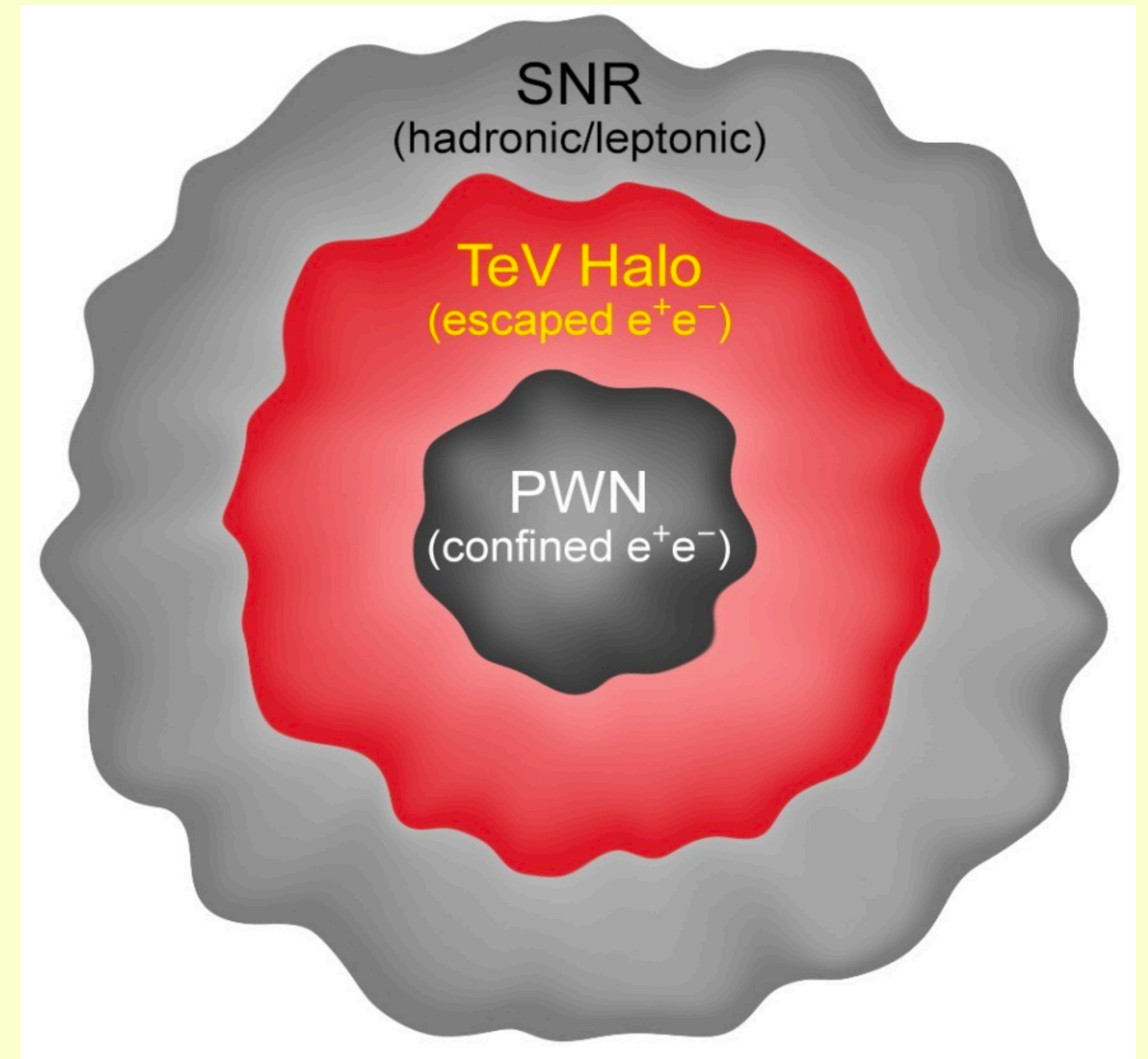
Reunión Anual de la División de Rayos Cósmicos 2023

en línea

Halos de TeV

Introducción

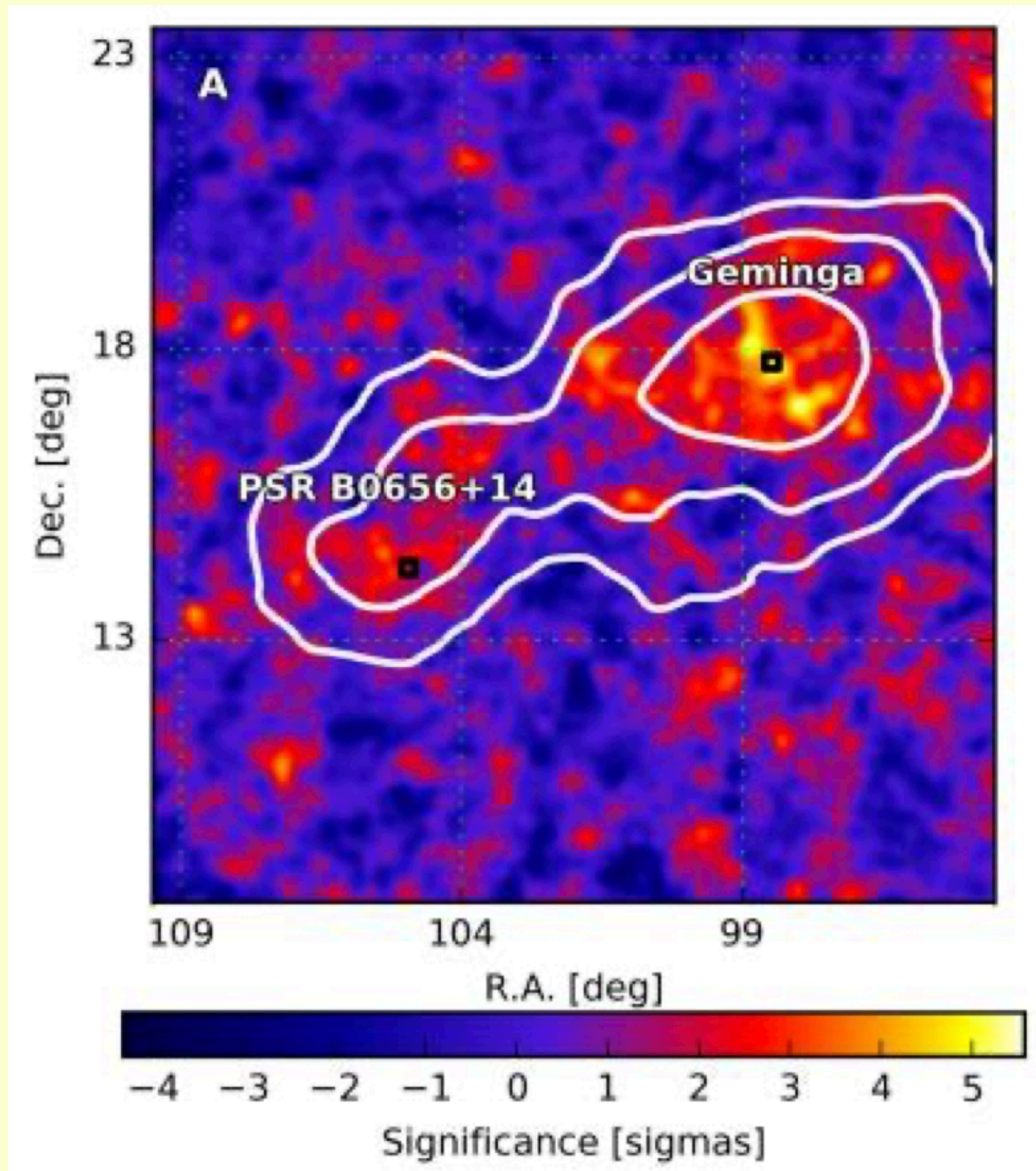
- Nueva clasificación de fuentes de rayos gamma UHE (HAWC Collaboration, 2017)
- Diferente a PWN y SNR:
 - tamaños ~ 10 pc
- Observados en pulsares de edad media
- Predicho por observaciones previas
- Tamaño no congruente con modelo de PWN



(Sudoh et al., 2019)

Halos de TeV

Geminga y Monogem



(Abeysekara et al., 2017)

- Primeras dos detecciones de Halos
- Asociados a pulsares de edad media (Geminga y PSR B0656+14)
- Fuentes extensas
- Dos órdenes de magnitud más extensos que sus PWN
- Morfología consistente con emisión difusa.
- Coeficiente de difusión estimado
 - $4.15 \pm 1.2 \times 10^{27} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
 - Estimado del ISM:
 $\sim 5 \times 10^{28} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

Halos de TeV

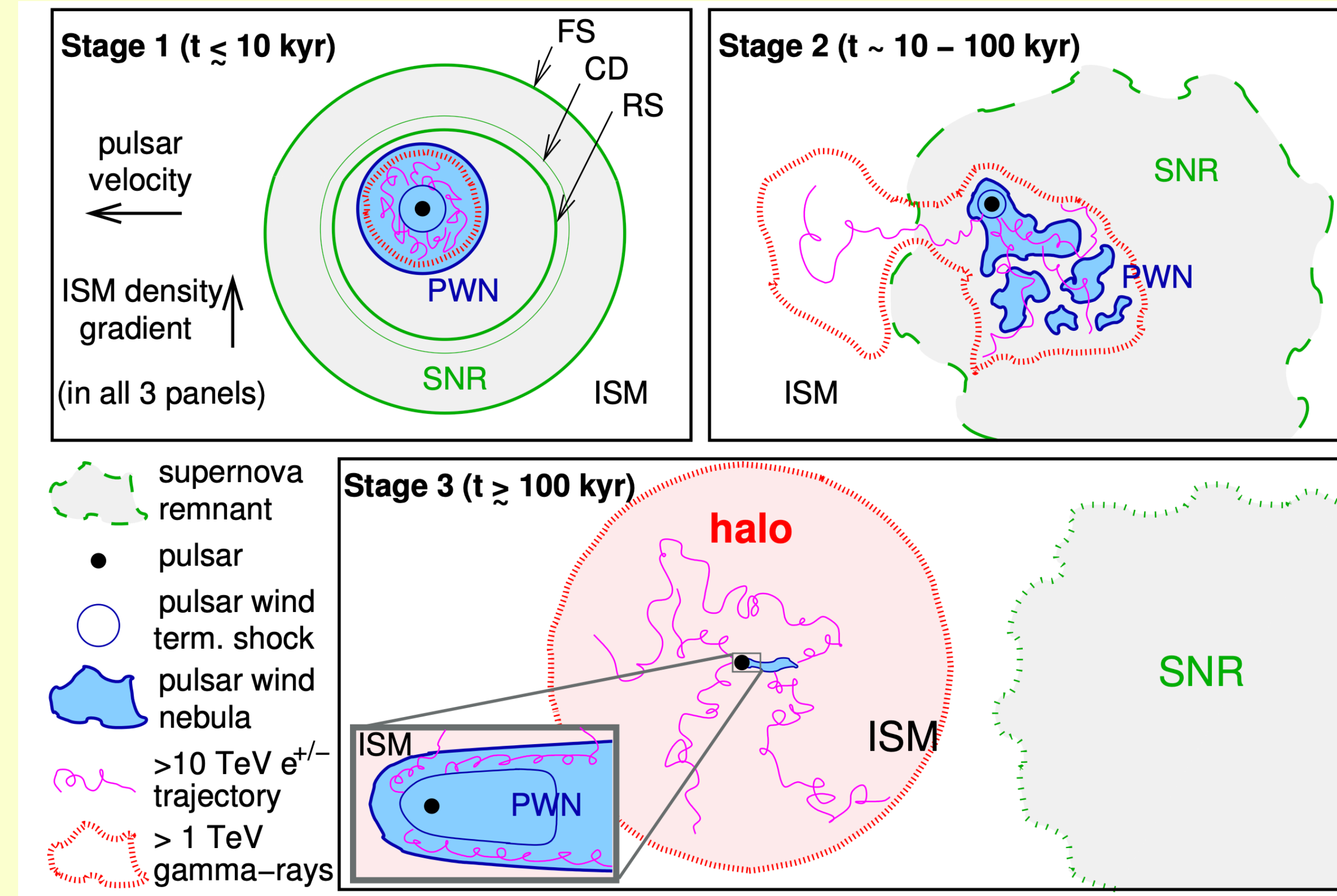
Modelo

- Estimado de coeficiente de difusión “lento”
- Modelo difusivo
- Emisión por Compton Inverso
 - e^{\pm} acelerados por pulsar
 - fotones del ISM
- Característica común de PSRs
- Emisión isotrópica

Halos de TeV

Formación del Halo

- Formación a etapas tempranas no se descarta
- Emisión de SNR y PWN a altas energías también por Compton
- Consideramos un Halo alrededor de una PWN fuera de su SNR



(Giacinti et al., 2020)

¿Por qué estudiar Halos de TeV?

Potenciales herramientas de pulsares invisibles.

Sudoh et al, 2019, predice ~50–240 detecciones con observaciones de HAWC

Asociación de 12 fuentes en 3HWC a 8 pulsares

Evidencia de emisión de rayos gamma arriba de 50 TeV

Medida indirecta de coeficientes de difusión locales

Potenciales herramientas de búsqueda de candidatos a materia oscura (ej., ALPs)

Contribución a la emisión difusa Galáctica y extragaláctica

Estudios poblacionales de pulsares en esta y otras galaxias.

Estudio de Halos de TeV

Algunas dificultades

- Estudio difusivo de morfología complejo.
- Características de pulsares pueden presentar sesgos
- Pocas observaciones del hemisferio sur (fuera plano galáctico)

Estudios de Halos de TeV

Un acercamiento: Modelos 'Geminga-like'

- Smith, 2019 propone un modelo a partir de Geminga

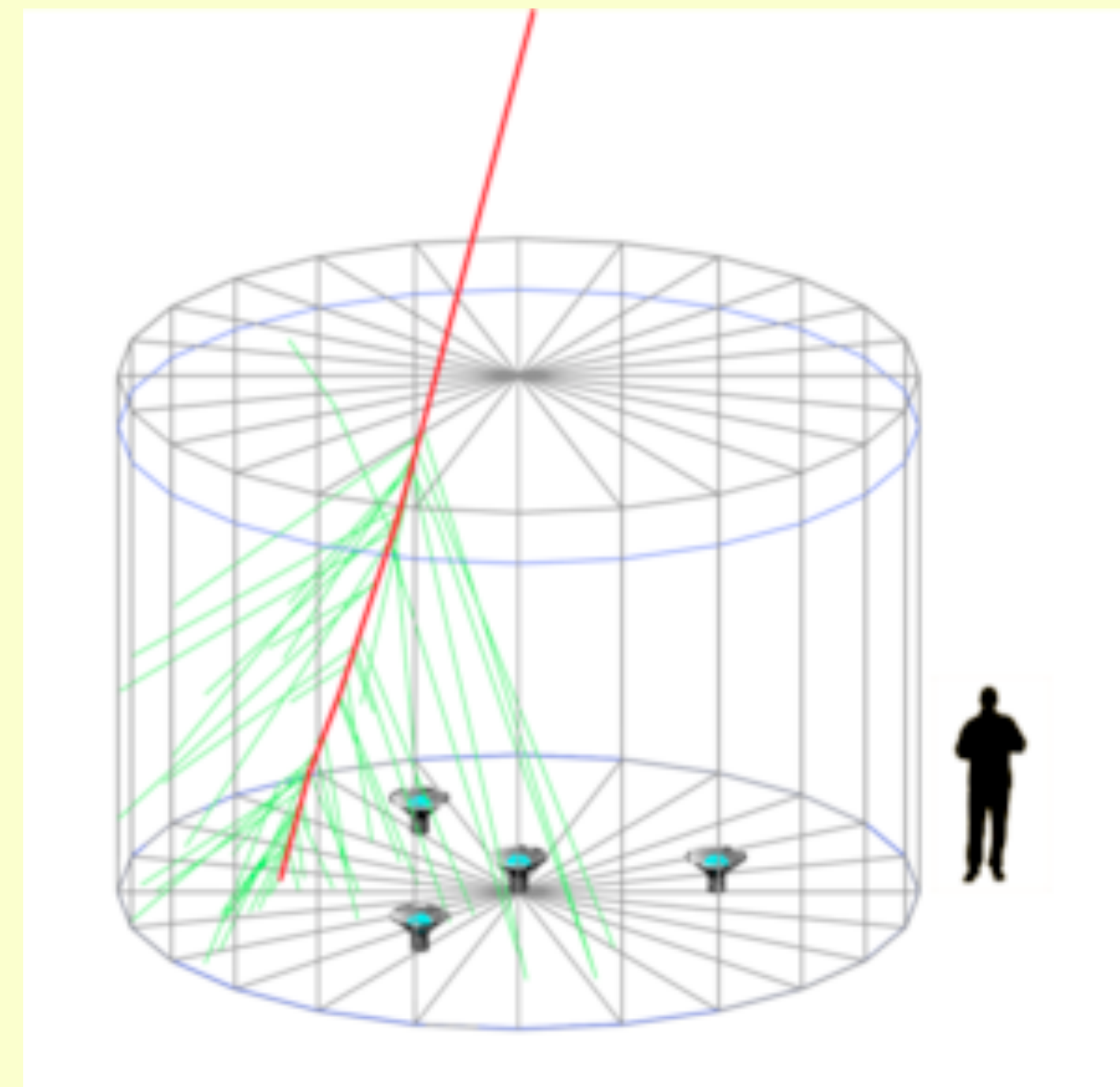
$$S_{Halo} = S_{Geminga} \times \frac{d_{Geminga}}{d_{pulsar}} \times \sqrt{1 - e^{-edad/\tau_{e^+e^-}}}$$

$$F_{Halo} = F_{Geminga} \times \frac{\dot{E}_{pulsar}}{\dot{E}_{Geminga}} \times \frac{d_{Geminga}^2}{d_{pulsar}^2} \times 1 - e^{-edad/\tau_{e^+e^-}}$$

- Sistemas jóvenes evolucionan hasta un edo. estable (Geminga).
- Selección de pulsares del catálogo ATNF.
- Se buscan coincidencias con fuentes en 3HWC

El Observatorio HAWC

- Operativo desde 2015
- 4100 m.s.n.m
- Volcán Sierra Negra, Puebla
- Detector de Cherenkov en agua
 - 300 detectores:
 - 200,000 l
 - 4 PMTs
 - 345 outriggers:
 - aumenta área efectiva
 - Rango energético: 300 GeV — 100 TeV
 - Resolución angular: $\geq 0.1^\circ$



El catálogo de pulsares

ATNF-Cat

- 3389 entradas
- 67 parámetros
 - por observaciones
 - del modelo spin-down
- Dificultad en determinar distancias

Nuestro modelo

‘Geminga-like’

Extensión angular se escala a Geminga

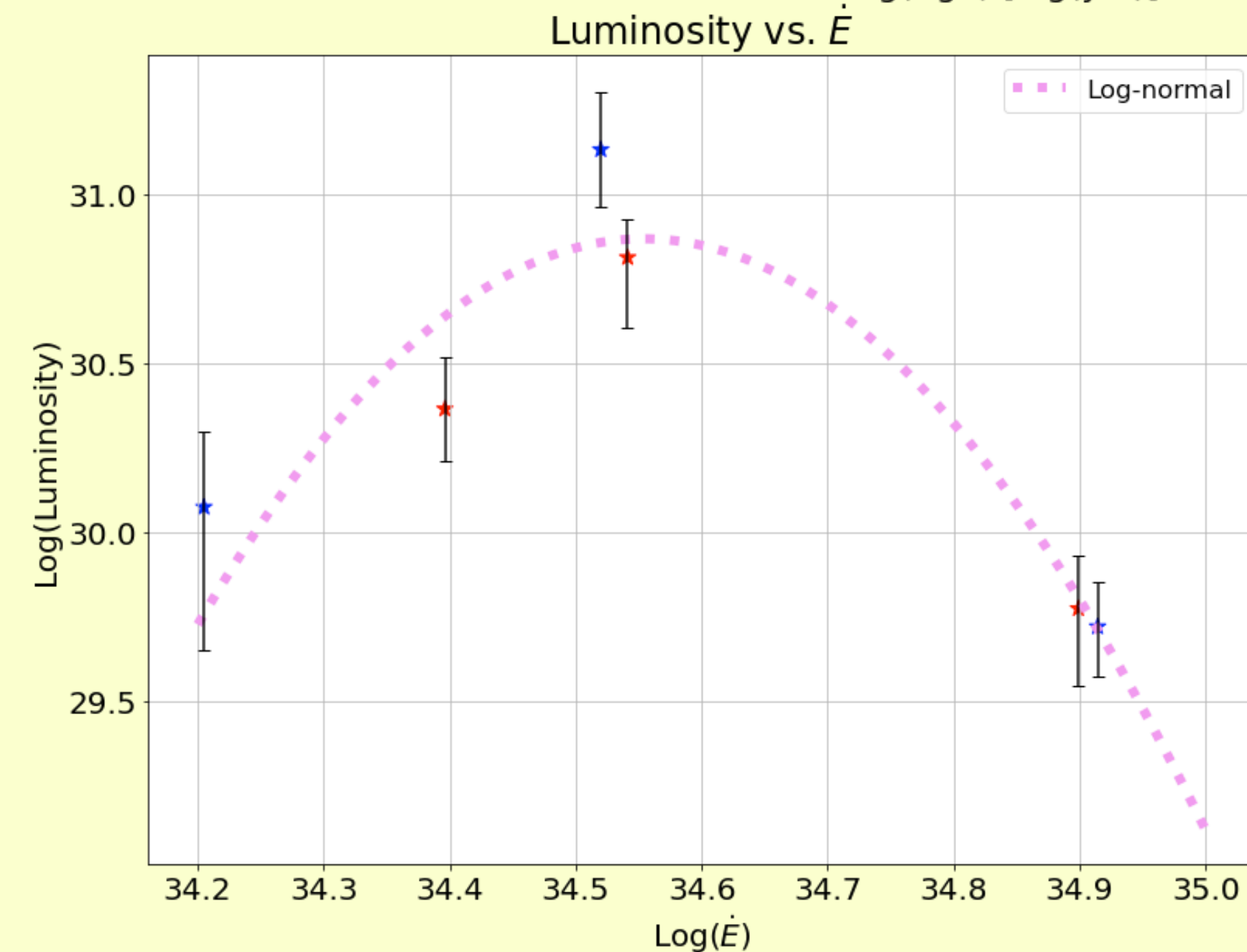
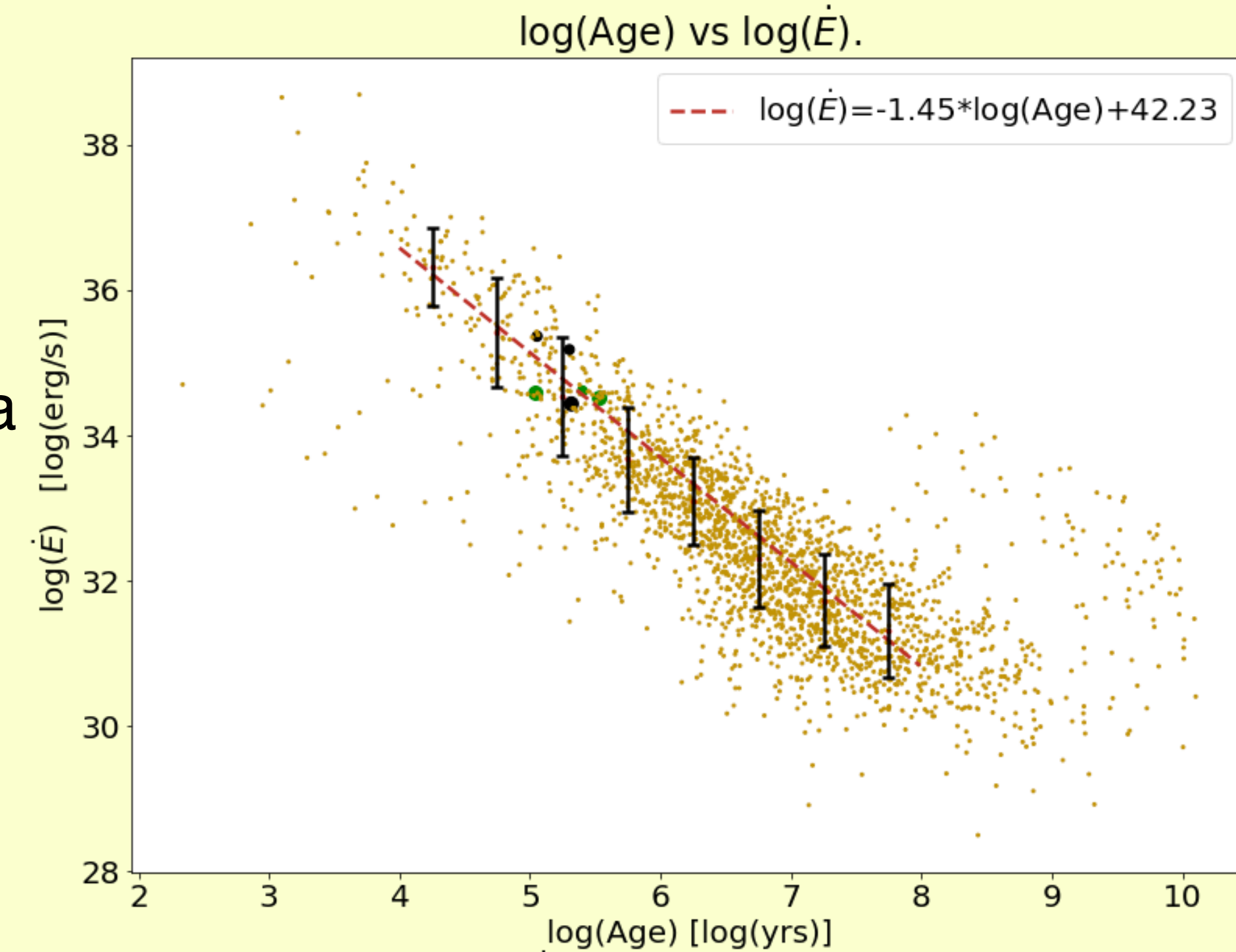
$$S = \frac{d_{\text{Geminga}}}{d_{\text{PSR}}} \times S_{\text{Geminga}}$$

Consideramos sólo PSRs de edad media

Parametrizamos \dot{E} en función de la edad para edades de $10^4 - 10^8$ años

Parametrizamos luminosidad rayos gamma a 7 TeV en función de edad

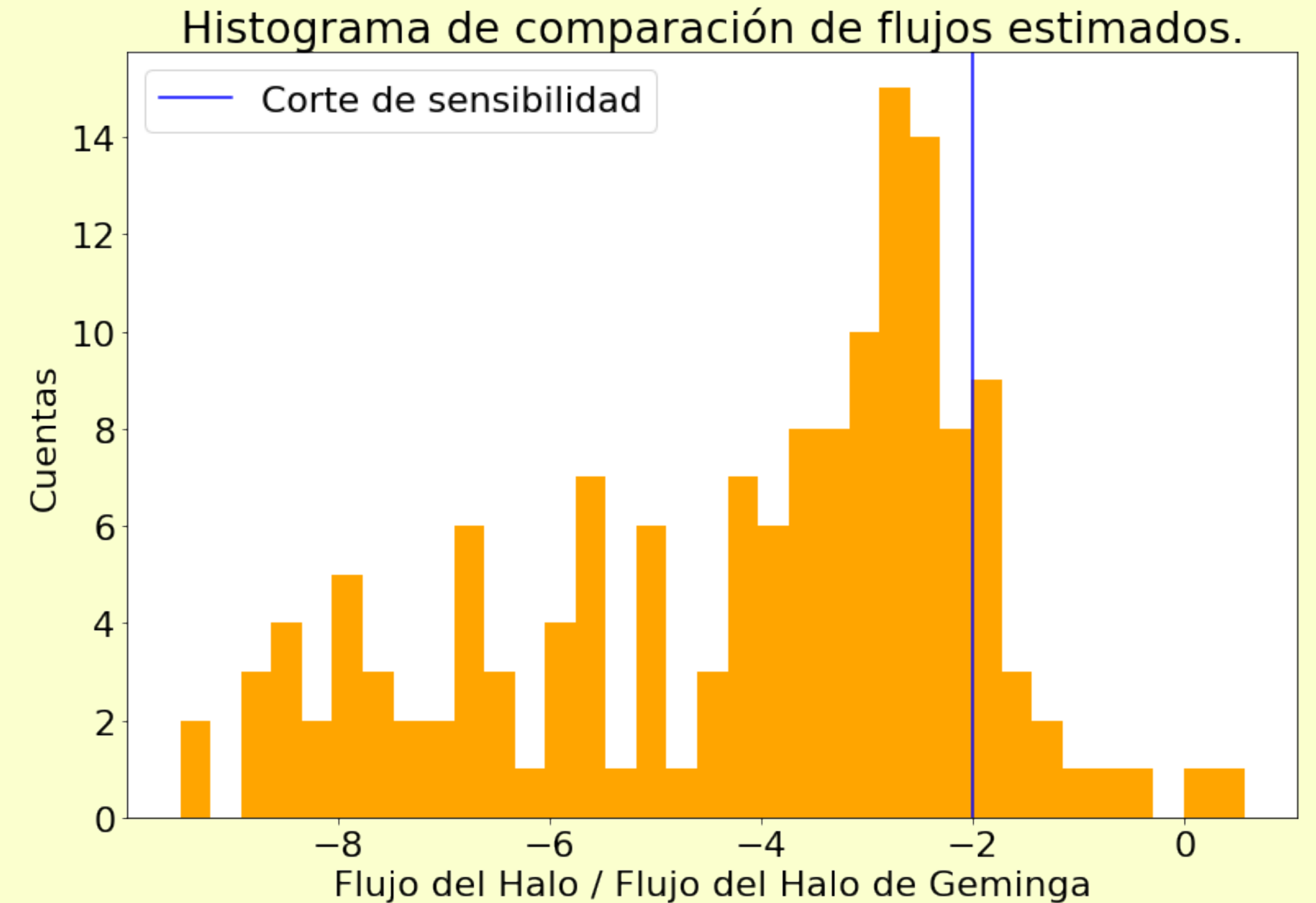
$$\log(L) = \frac{107.46}{0.03\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-(\ln(\log \dot{E}) - 3.54)^2 / 0.0018}}{\log \dot{E}}$$



Nuestro modelo

Predicciones

- Calculamos flujos de 7 TeV para PSRs en el FoV de HAWC:
 - 150 pulsares edad media
 - $[-26^\circ - +64^\circ]$
- Corte de sensibilidad a 1% flujo de Geminga (4HWC):
 - 18 pulsares
- Buscamos detecciones en mapa de HAWC
 - Mapas de significancias
 - Análisis de significancias



Nuestro Modelo

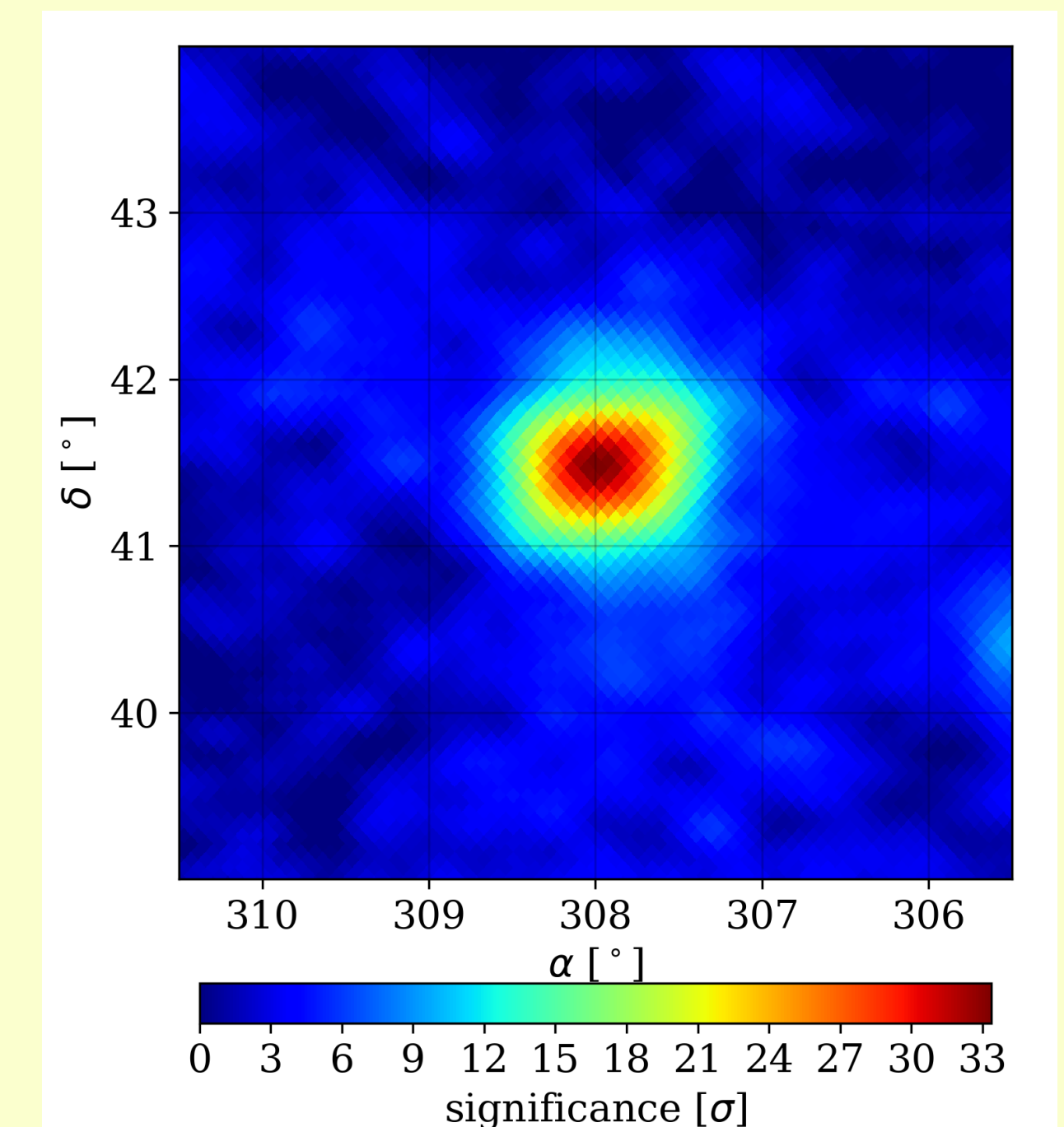
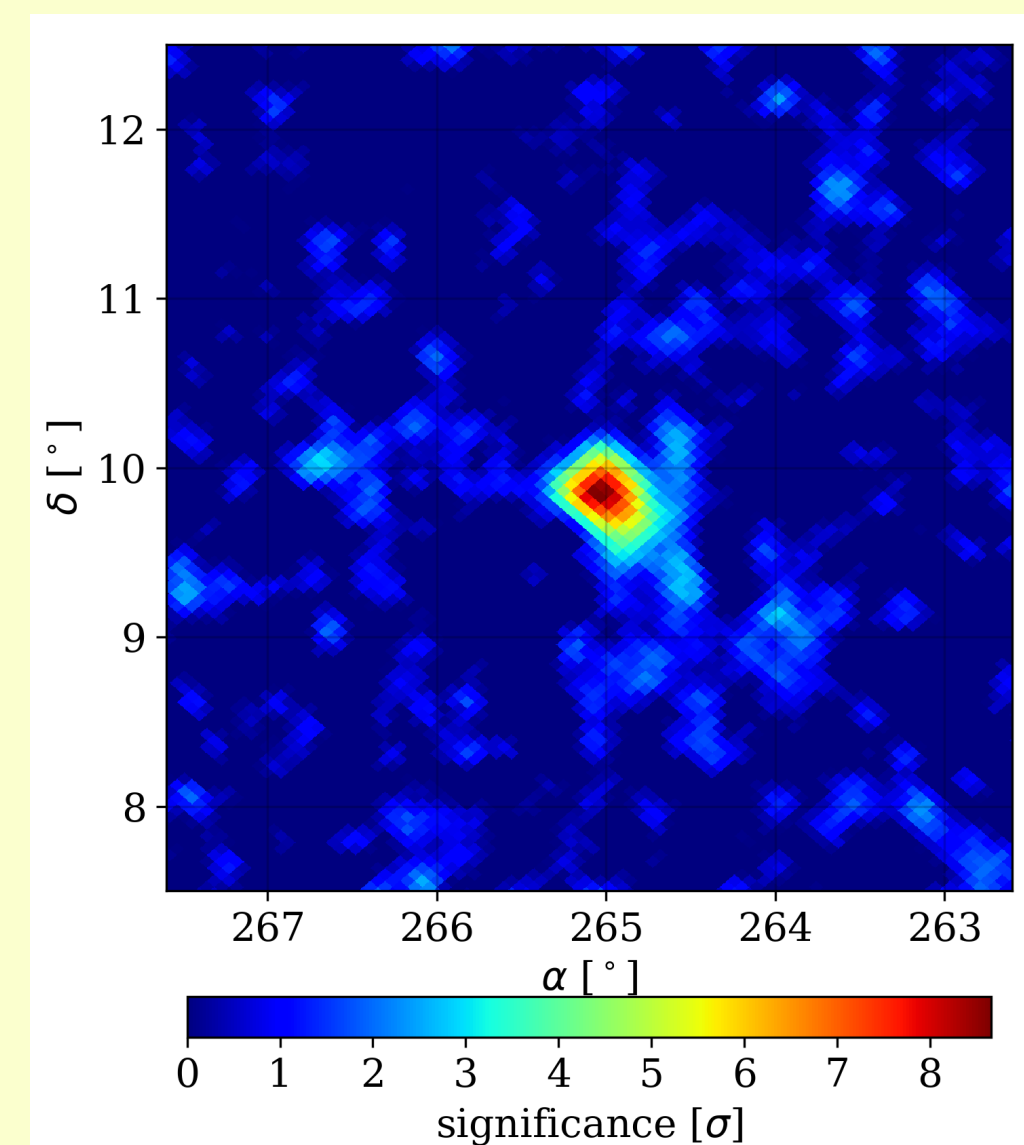
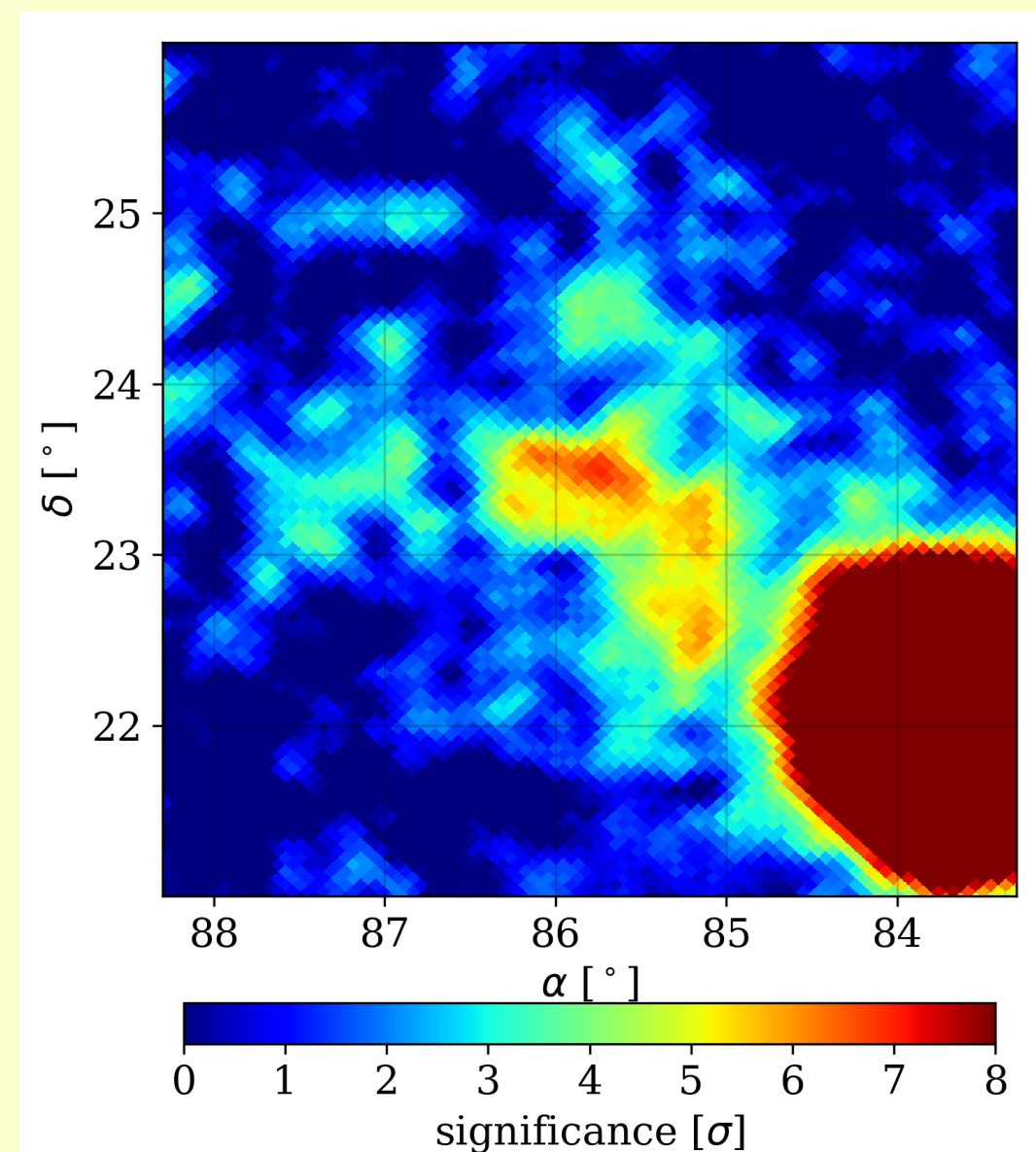
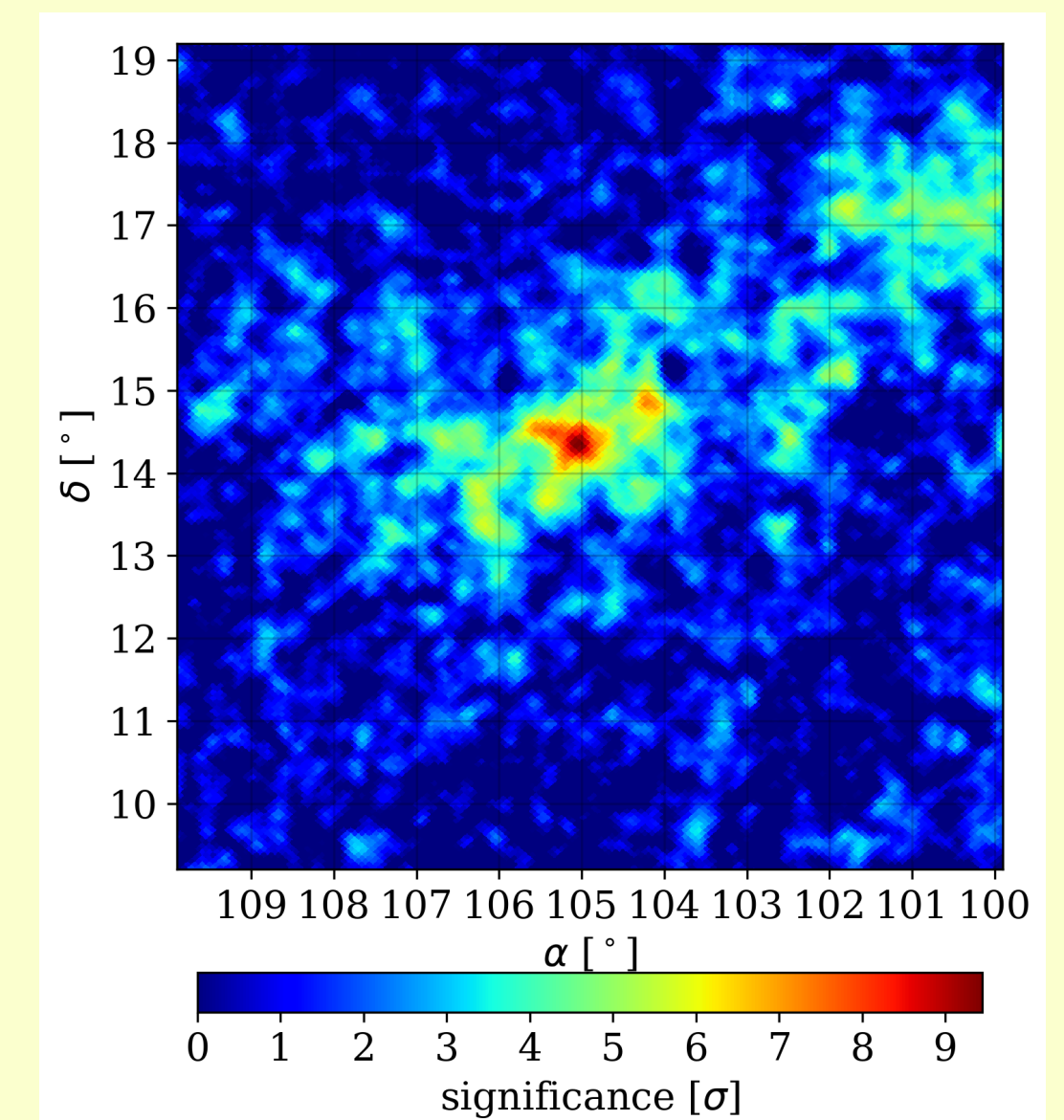
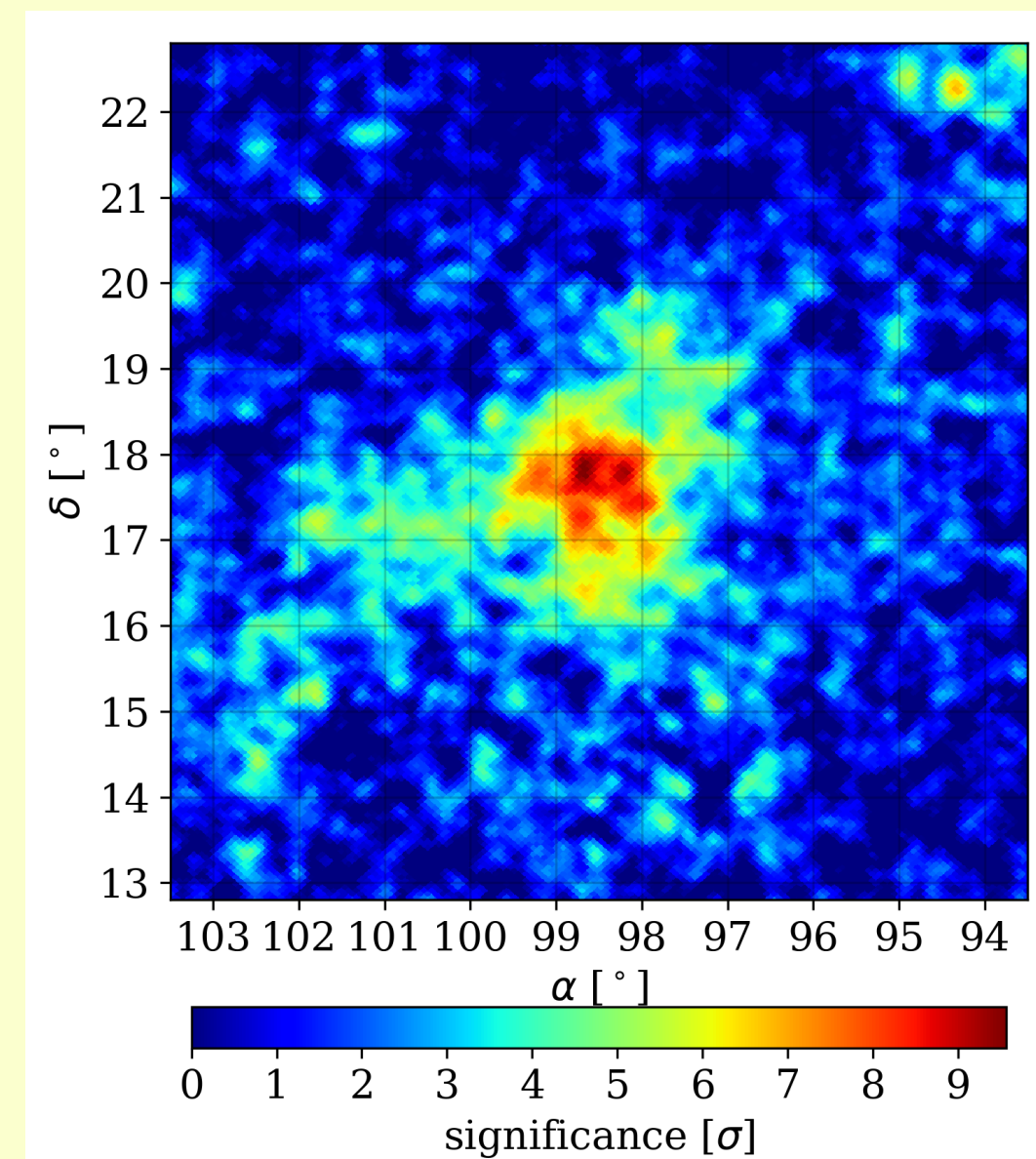
Detecciones

- 10 fuentes en región poblada
- Regiones de formación estelar
 - Cúmulo abierto Dolizde28
 - Presencia de una SNR
- 5 fuentes: Modelo
 - Halo de LHAASO excluido
- 3 fuentes detectables por el modelo

Nuestro modelo

Detecciones

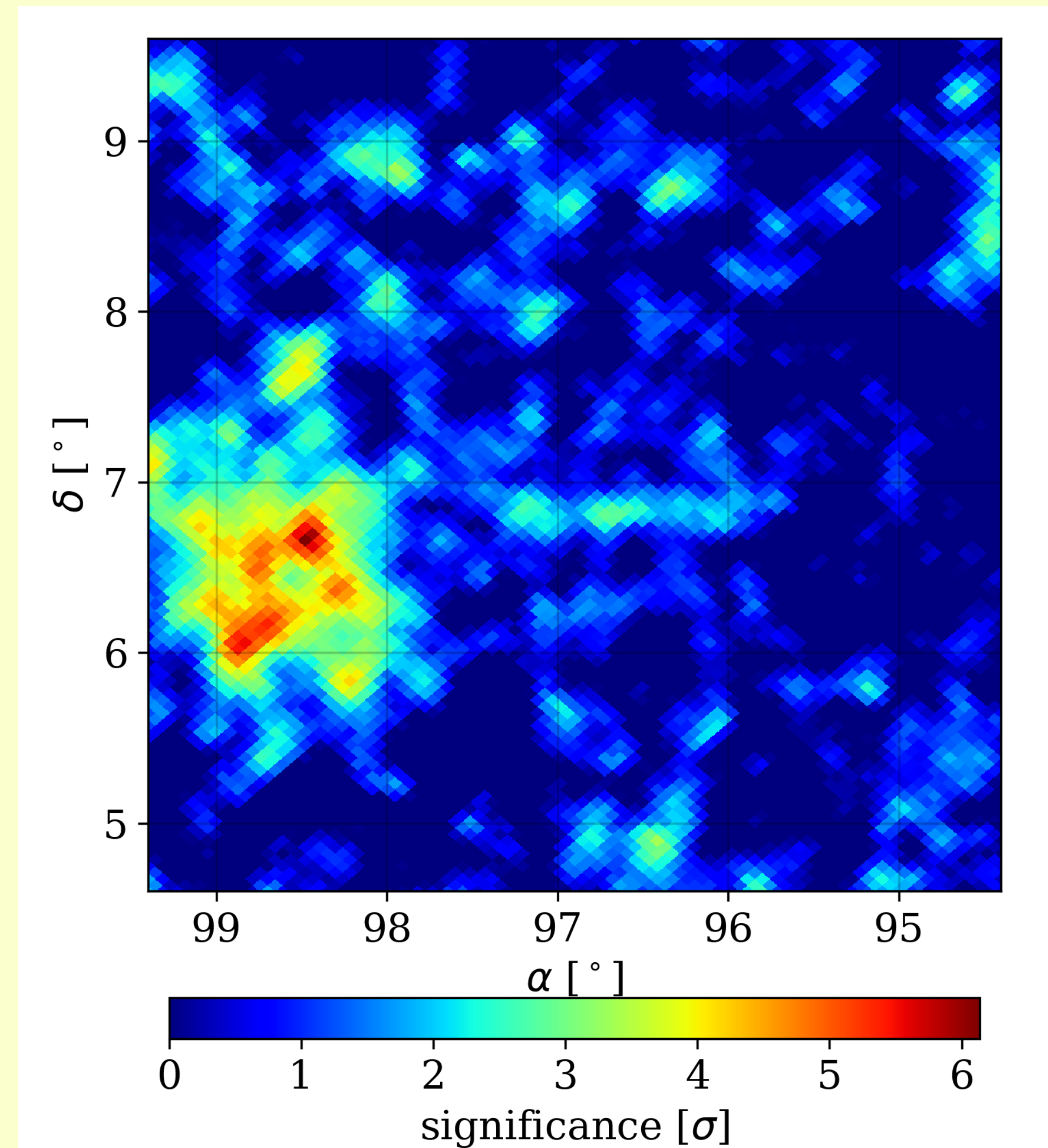
- 5 Halos del modelo
- se excluye el Halo de LHAASO
- Buen estimado (esperado) con una excepción



Nuestro modelo

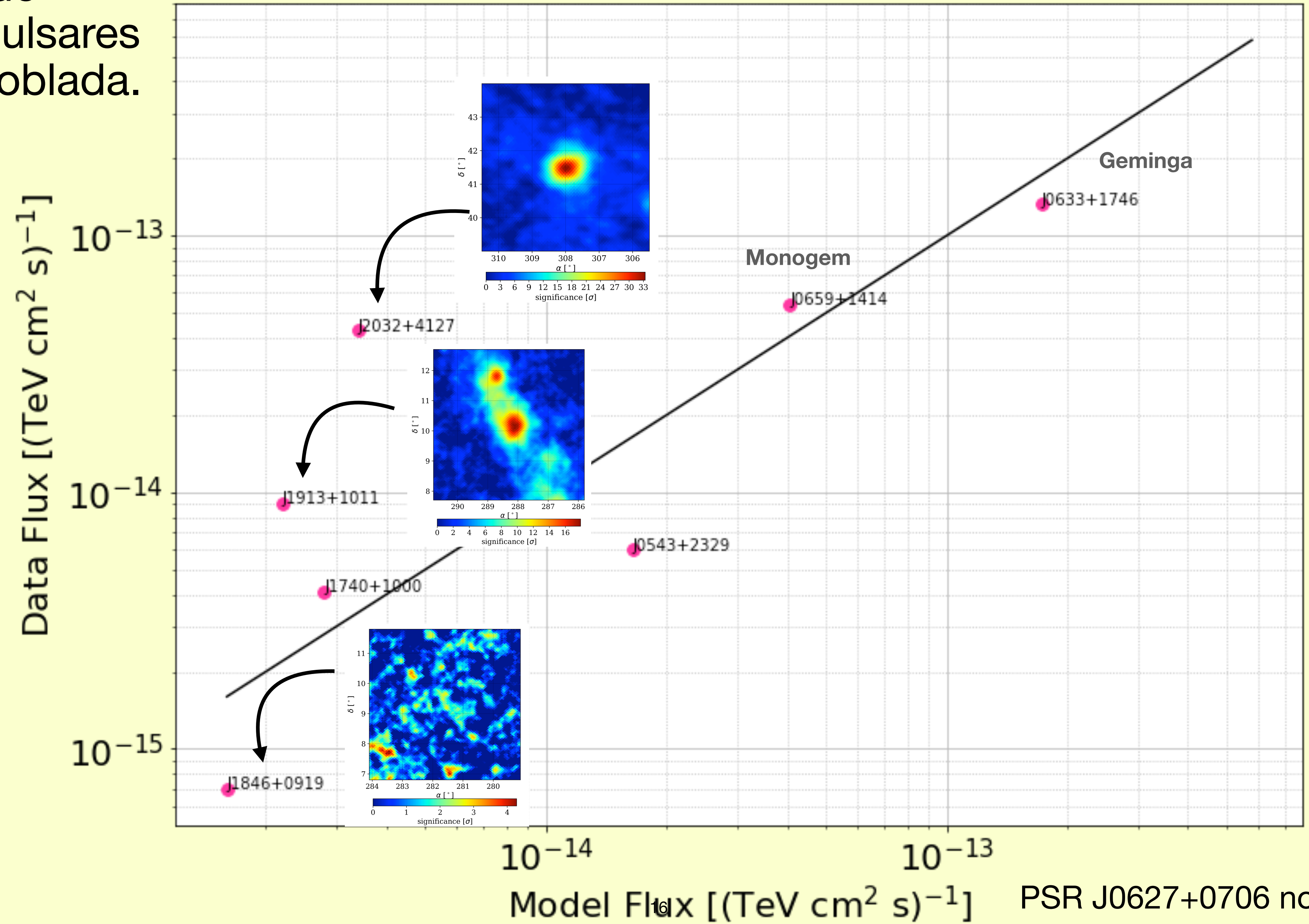
Sin detección

- El análisis del Halo del psr J0627+0706 no presenta evidencia de fuente.
- Fuente cercana (SNR de Mon, G205.5+05)



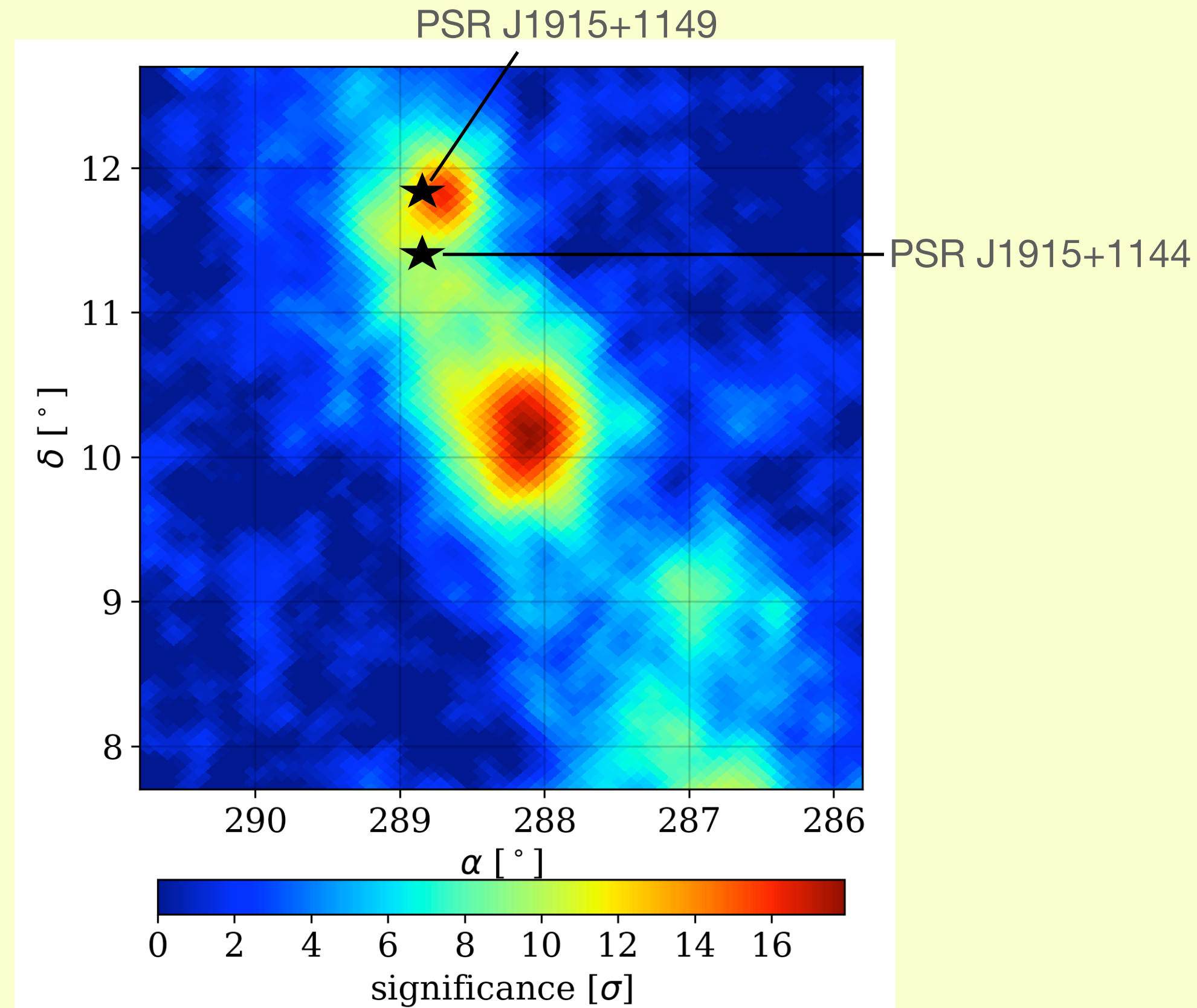
Después de
remover pulsares
en zona poblada.

Model Flux vs Data Flux.



PSR J0627+0706 no se grafica

PSR J1913+1011

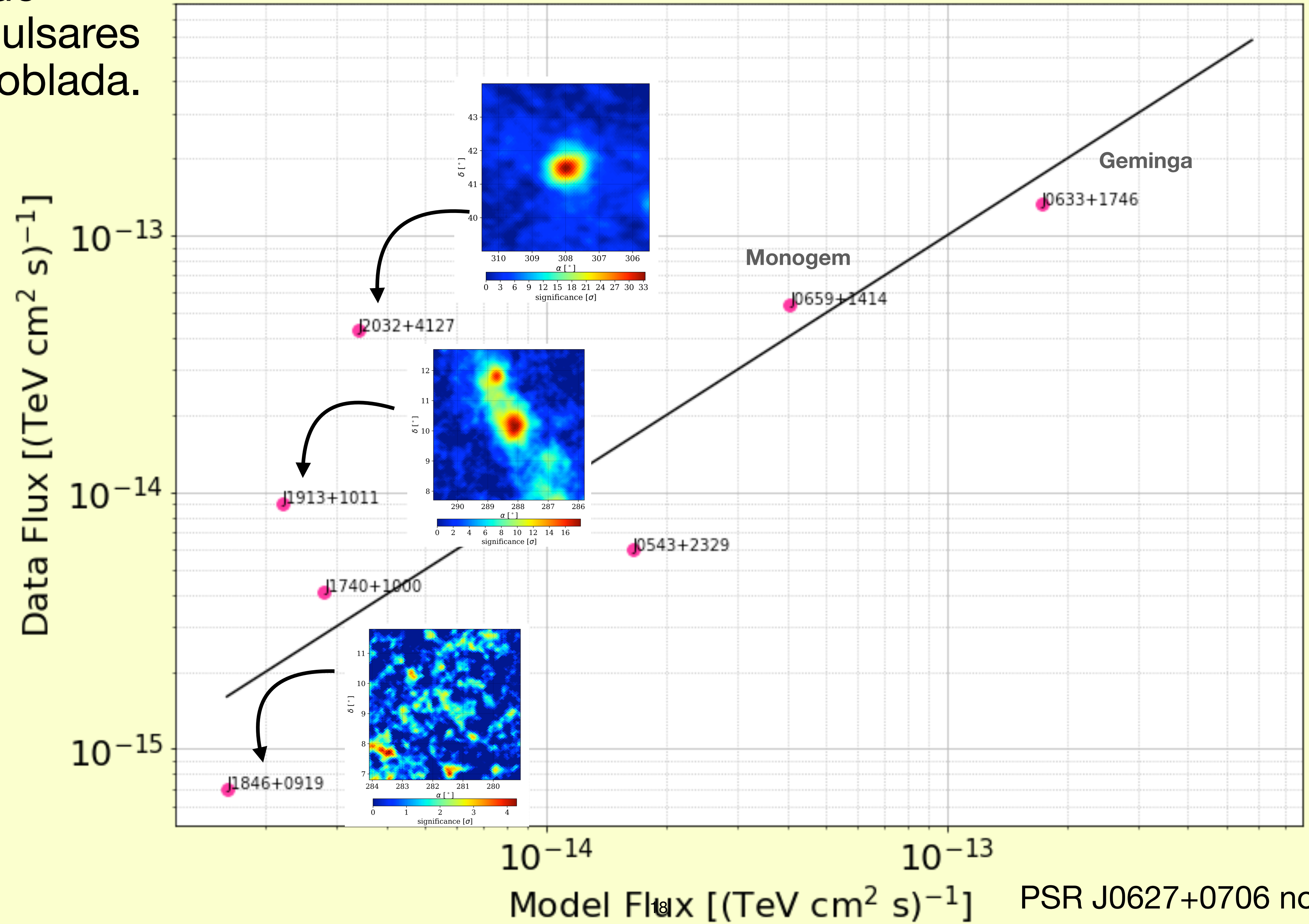


PSR J1913+1011

- Cercana a otra fuente brillante
- Cercano a dos pulsares
- Más brillante que lo predicho
- Flujo observado difiere del modelo por un factor ~ 5

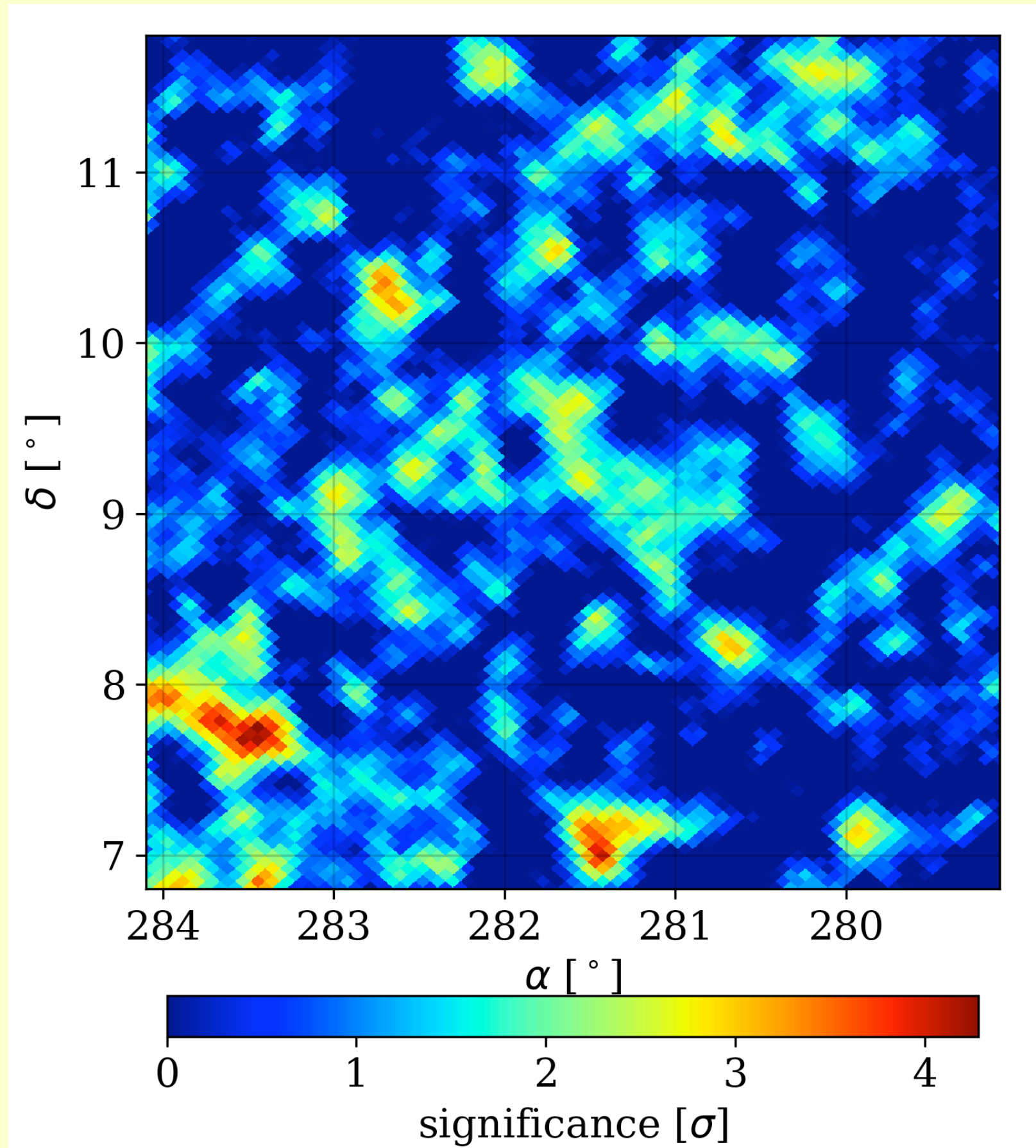
Después de
remover pulsares
en zona poblada.

Model Flux vs Data Flux.



PSR J0627+0706 no se grafica

PSR J1846+0919

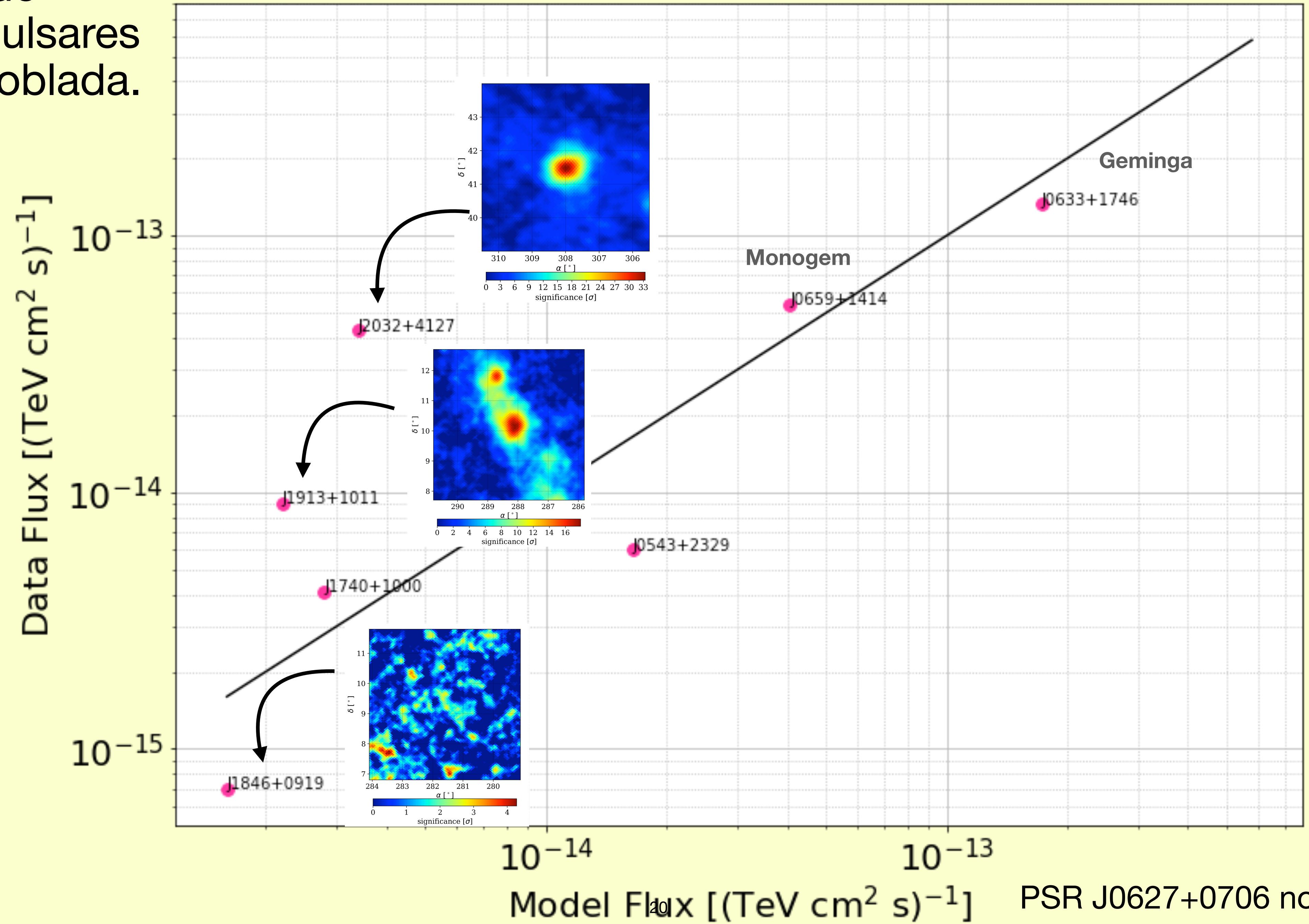


PSR J1846+0919

- Análisis muestra significancia de 1.08σ
- Muy tenue
- Flujo observado difiere del modelado por un factor de ~ 0.44

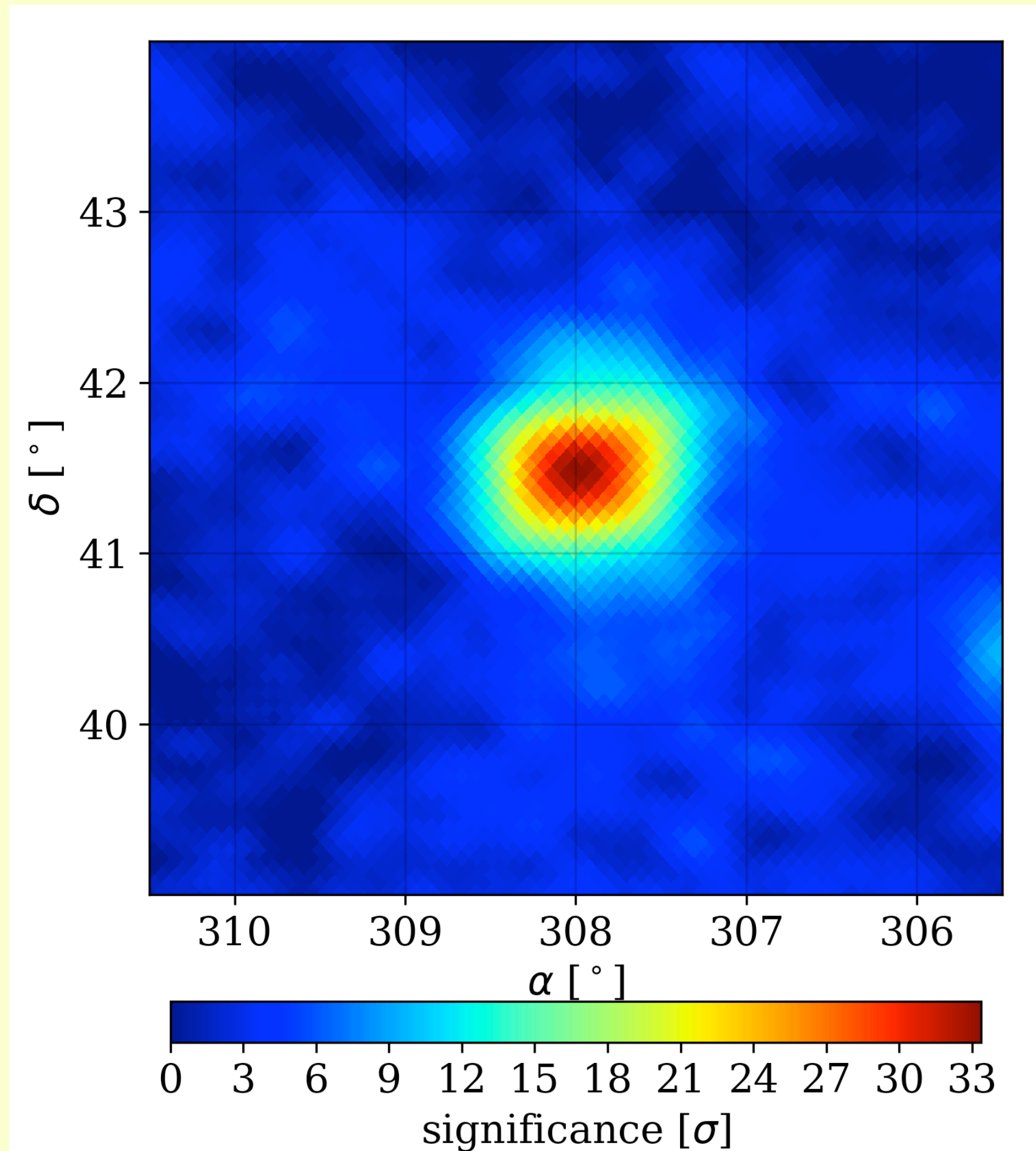
Después de
remover pulsares
en zona poblada.

Model Flux vs Data Flux.



PSR J0627+0706 no se grafica

J2032+4127



- Mayor discrepancia entre flujo detectado y observado (ausencia de fuentes cercana)
- Fuente brillante
- Binaria de rayos gamma
- Flujo observado difiere del modelado por un factor de ~ 12

Resumen

- Corte de sensibilidad muy optimista.
- Modelo es bueno para encontrar evidencia en fuentes de HAWC de Halos + algo más.
 - Regiones pobladas complican el análisis
 - Características de pulsares pueden estar sesgadas
 - Pulsares cercanos pueden afectar flujo y morfología
 - Caso especial: binaria de rayos gamma

Trabajo a futuro

- Estudio del flare de actividad de PSR J2032+4127. Potencialmente detectable por HAWC (marzo 2017)
- Análisis similar con el FoV y sensibilidad de SWGO.