

---

# Detección Indirecta de Materia Oscura

---

Alma Gonzalez  
Cátedra CONACYT  
Universidad de Guanajuato

# Materia Oscura

## Definición básica

- Fría
- No colisional
- Neutra
- Interactúa solo gravitacionalmente

## Algunos modelos atractivos:

- Extensiones al Modelo Estándar (ME) de Partículas:
- Débilmente interactuante
- Auto-interacciones

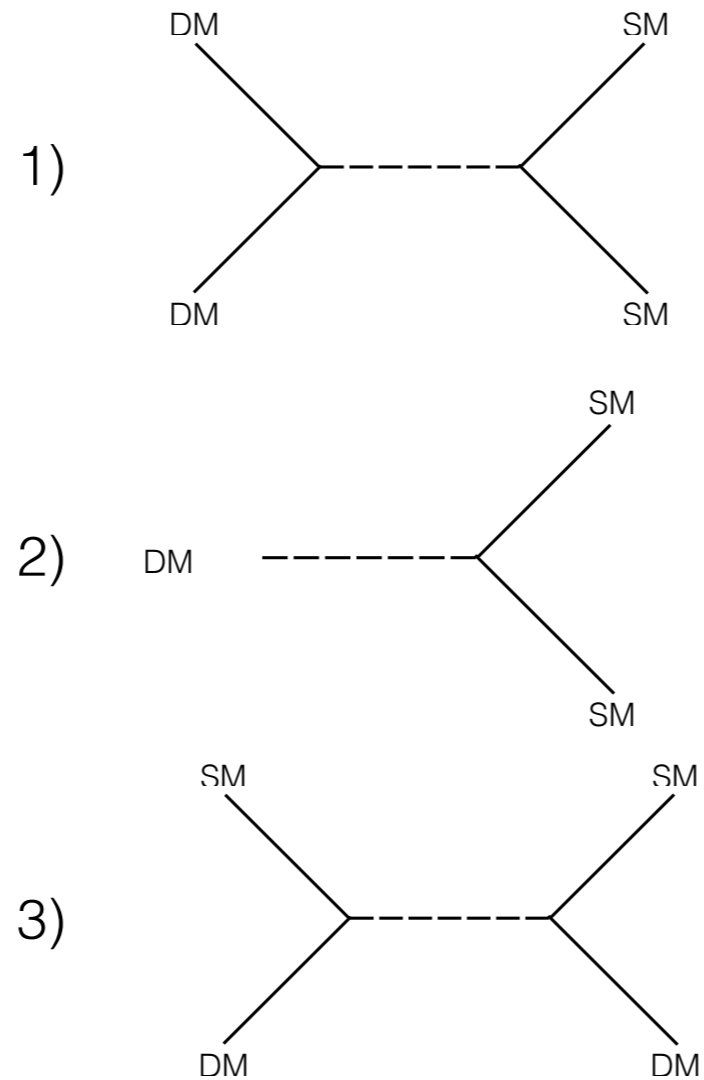
## Algunos modelos atractivos:

-WIMPS

-Neutrinos estériles

- Partículas tipo axión (campos escalares)

# Detección de Materia Oscura



A. A. Abdo et al. 2010

A. A. Abdo et al. 2010

M. Ackermann et al. 2012

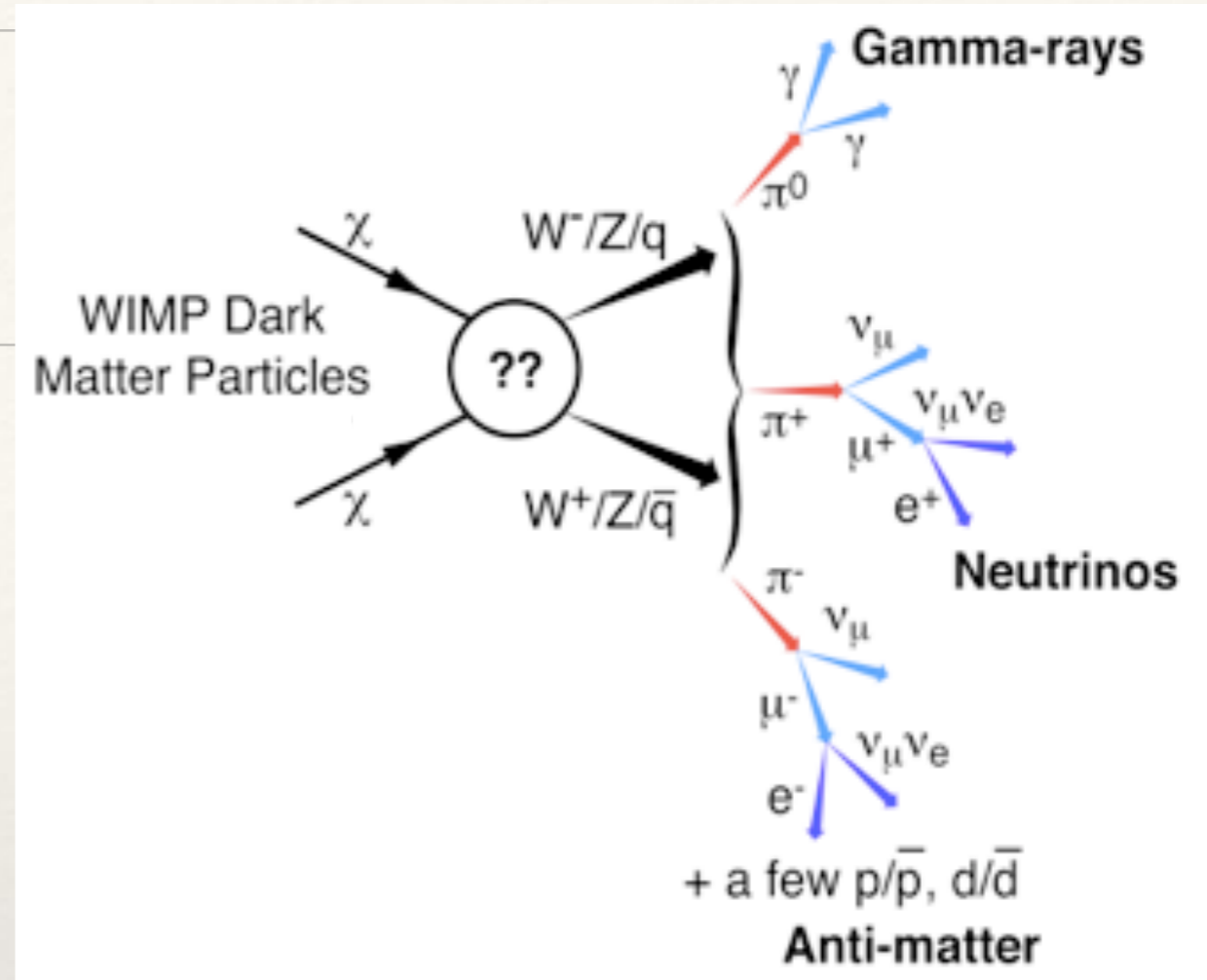
# Detección indirecta

- ❖ Detección de los productos de la aniquilación o decaimiento de materia oscura en partículas del ME.

Galaxias enanas esferoidales (dSph's)

Centro Galáctico

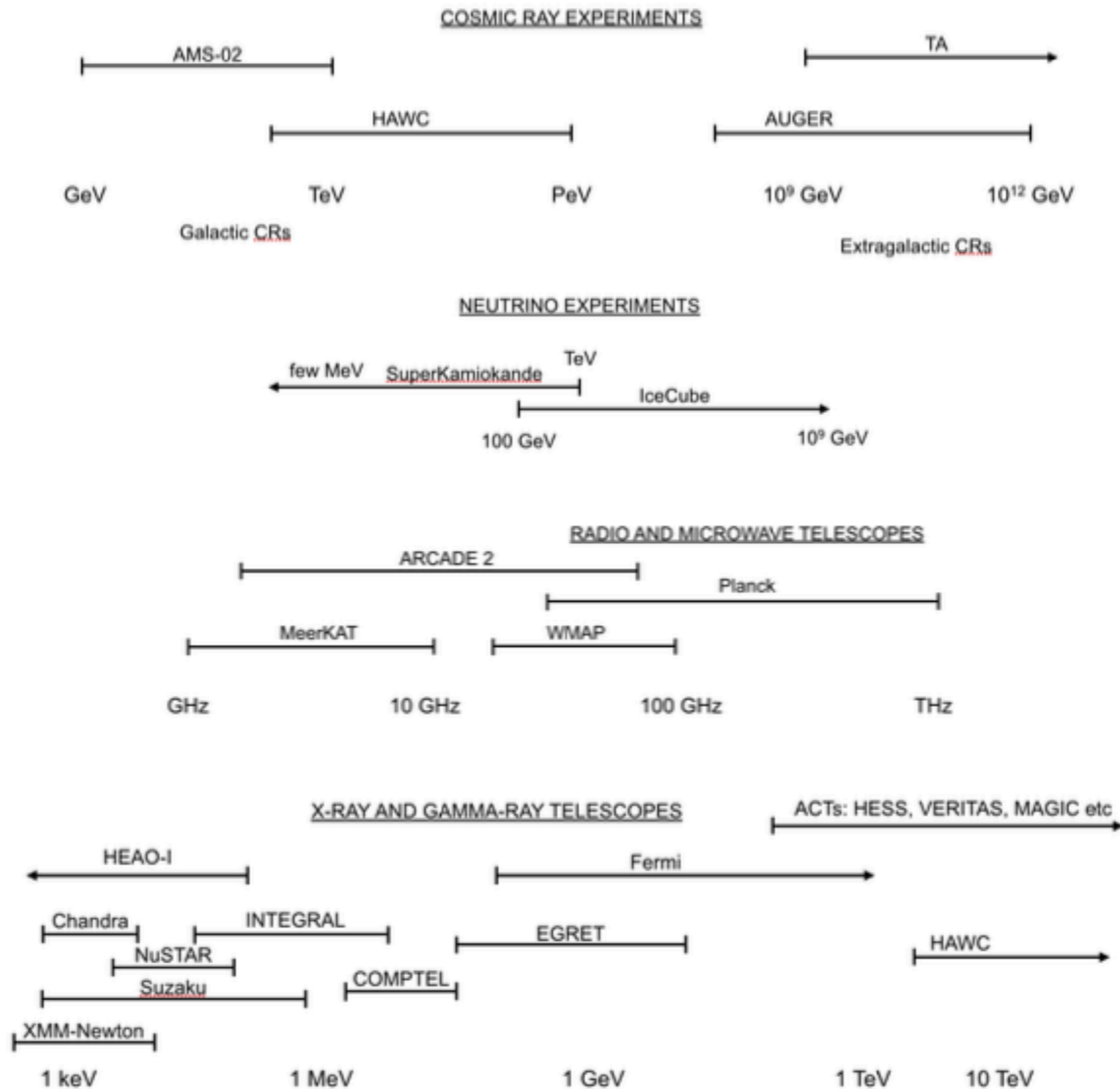
Cúmulos de Galaxias



# Detección muy-indirecta

- ❖ Efecto de la aniquilación/ decaimiento de materia oscura en observables cosmológicas: CMB, Reionización, LSS.

# Detección indirecta



# Detección indirecta

Flujo de rayos  
gammas



$$\phi(\Delta\Omega)$$

=

Física de partículas

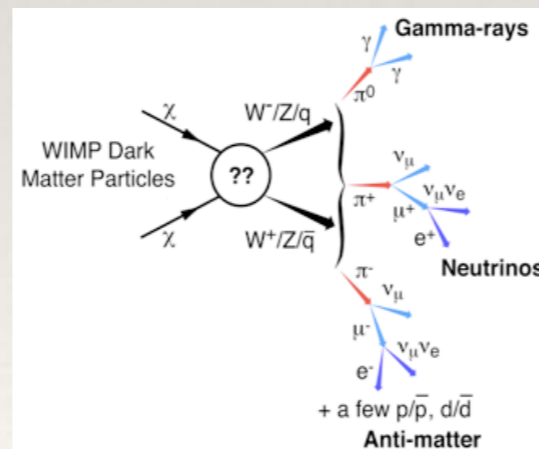


$$\frac{1}{4\pi} \frac{\langle\sigma v\rangle}{2m_\chi} \left( \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN_\gamma}{dE_\gamma} dE_\gamma \right)$$

Factor Astrofísico



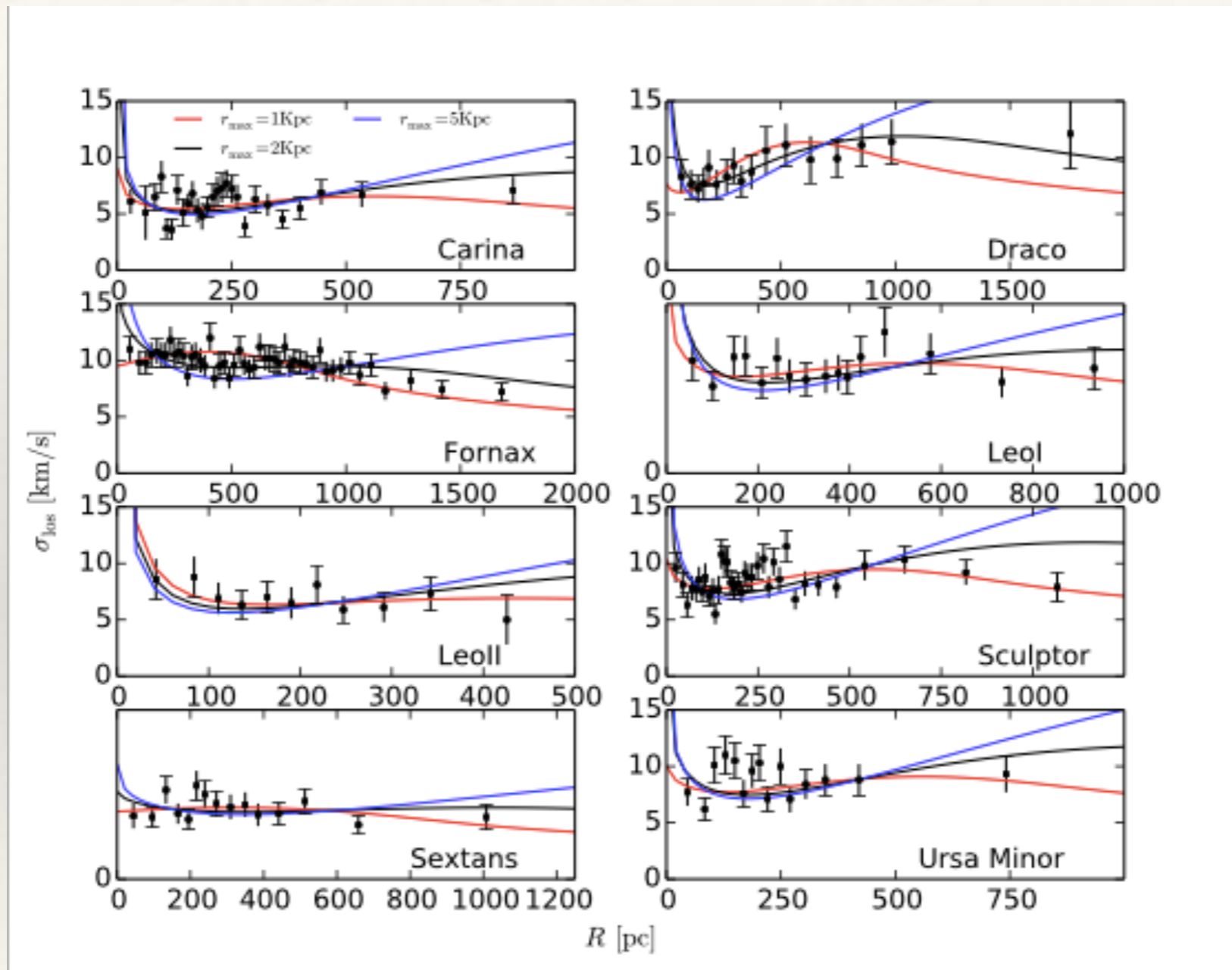
$$J_{\Delta\Omega}$$



$$J_{\Delta\Omega} = \int_{\Delta\Omega} \int_{los} \rho^2 dl d\Omega.$$

Distribución de  
materia oscura.

# Dinámica de galaxias para acotar la distribución de Materia Oscura



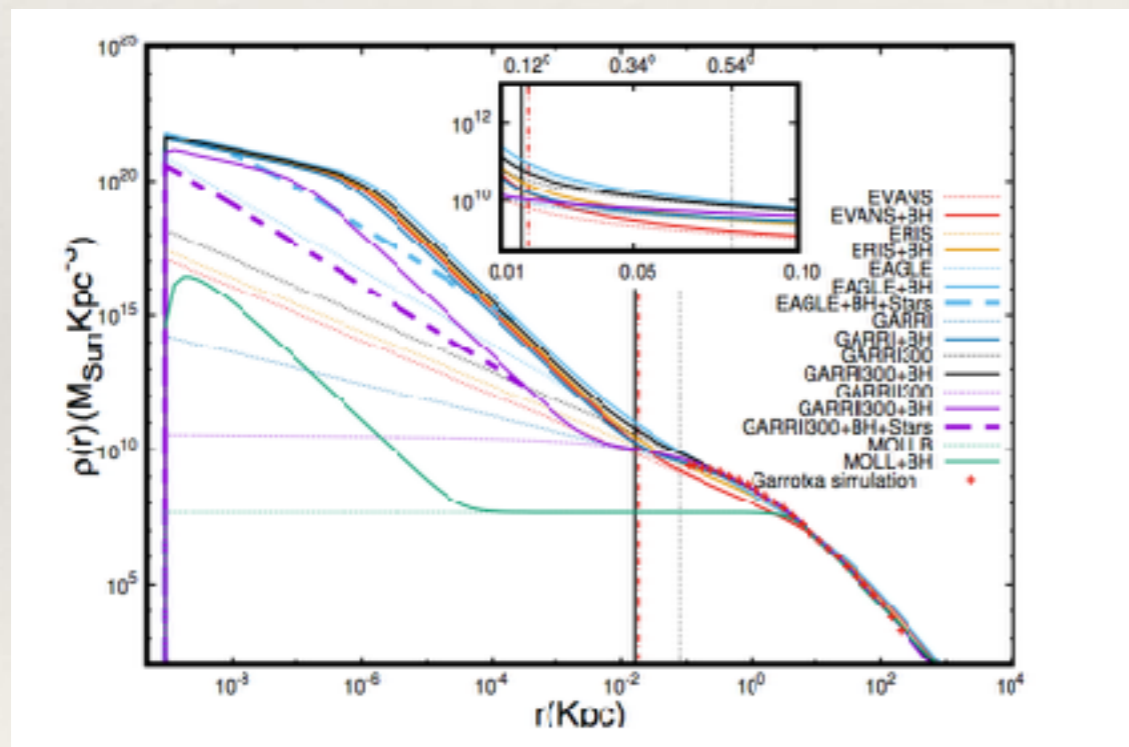
# Distribución de Materia Oscura

NFW

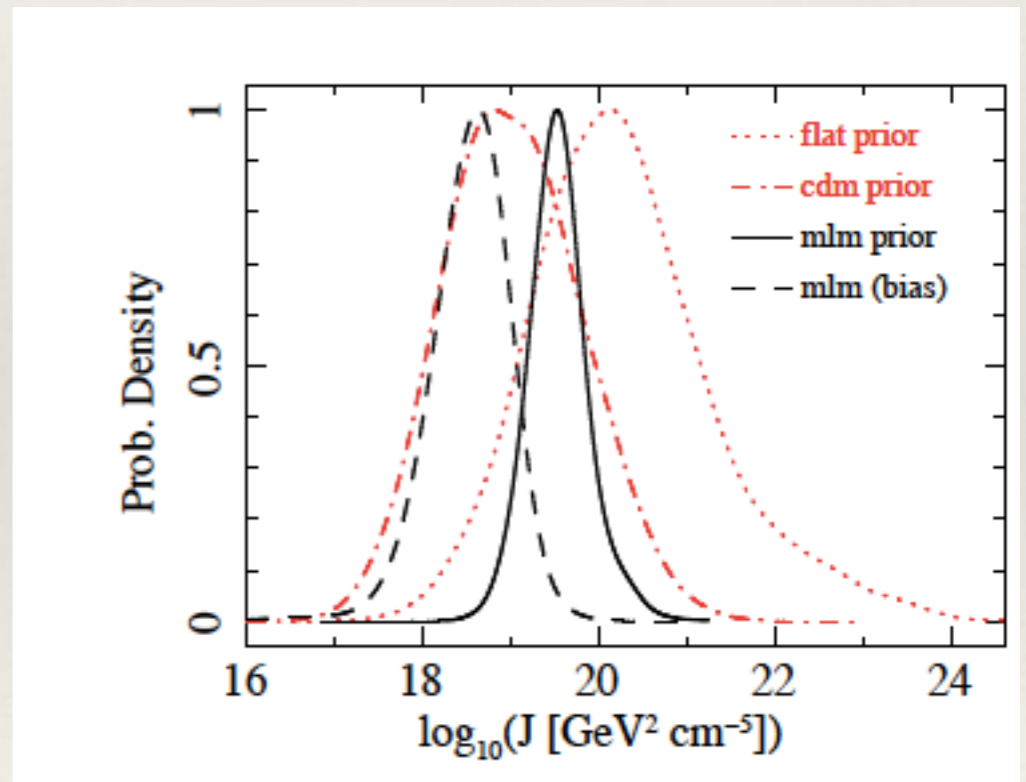
$$\rho = \frac{\rho_0}{\frac{r}{r_s} \left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^2}$$

Burkert

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left(1 + \frac{r}{r_s}\right) \left(1 + \frac{r^2}{r_s^2}\right)}$$



Centro Galáctico

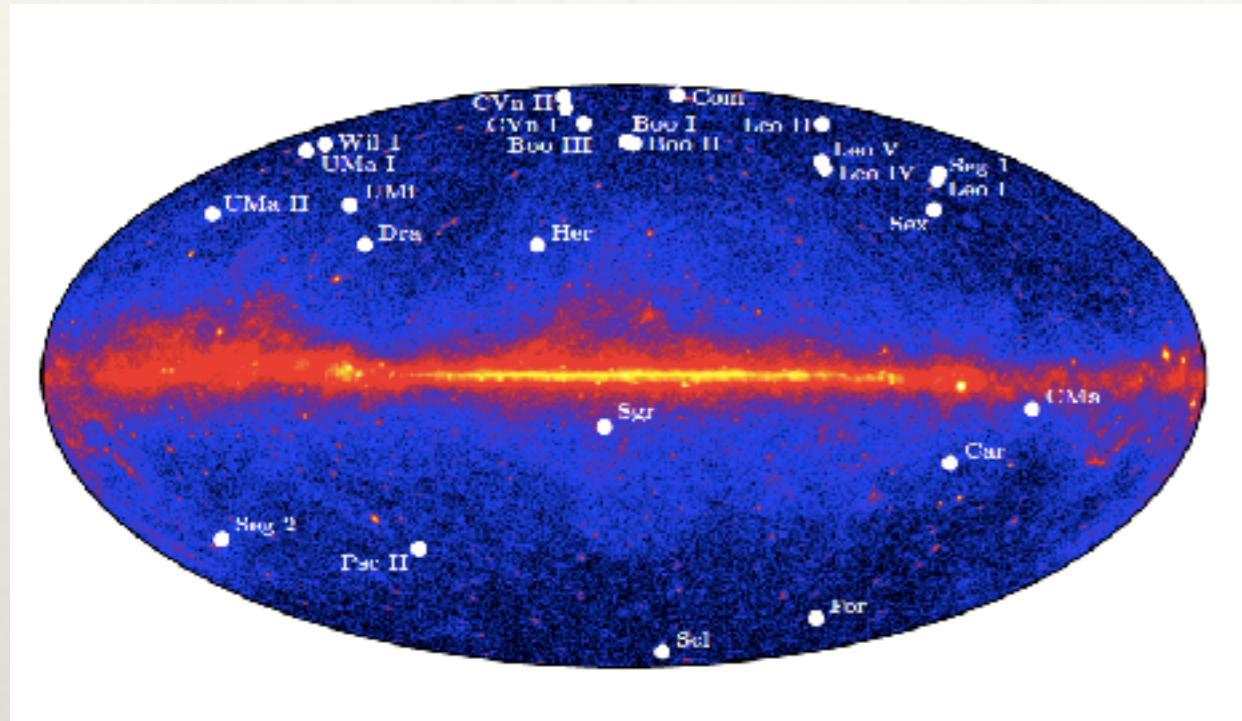


Galaxias enanas

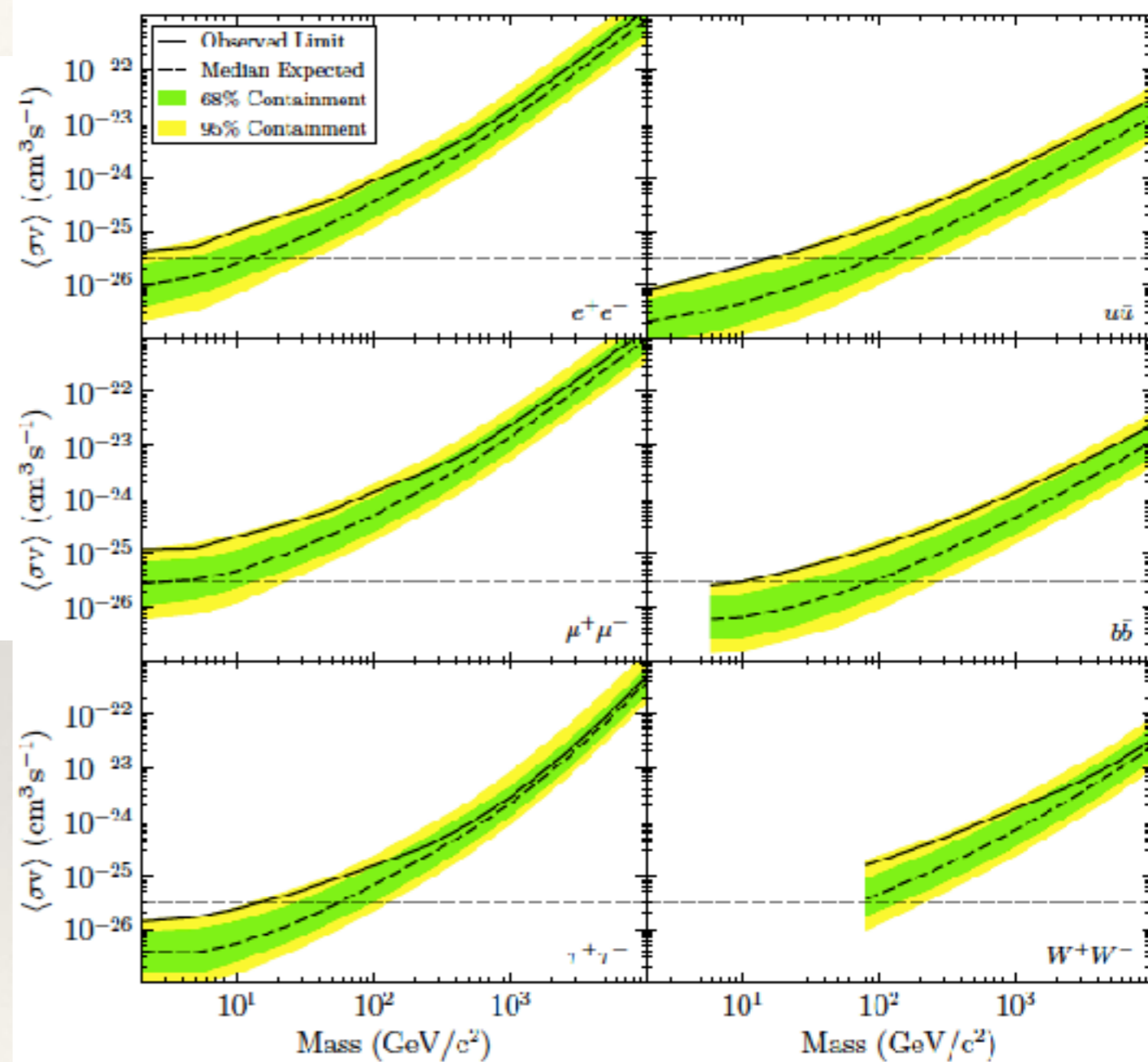


# Detección indirecta en dSph's

No signal



DM constraints



$$\phi(\Delta\Omega) = \frac{1}{4\pi} \frac{\langle\sigma v\rangle}{2m_\chi} \left( \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN_\gamma}{dE_\gamma} dE_\gamma \right) J_{\Delta\Omega}$$

común a todas las dSphs

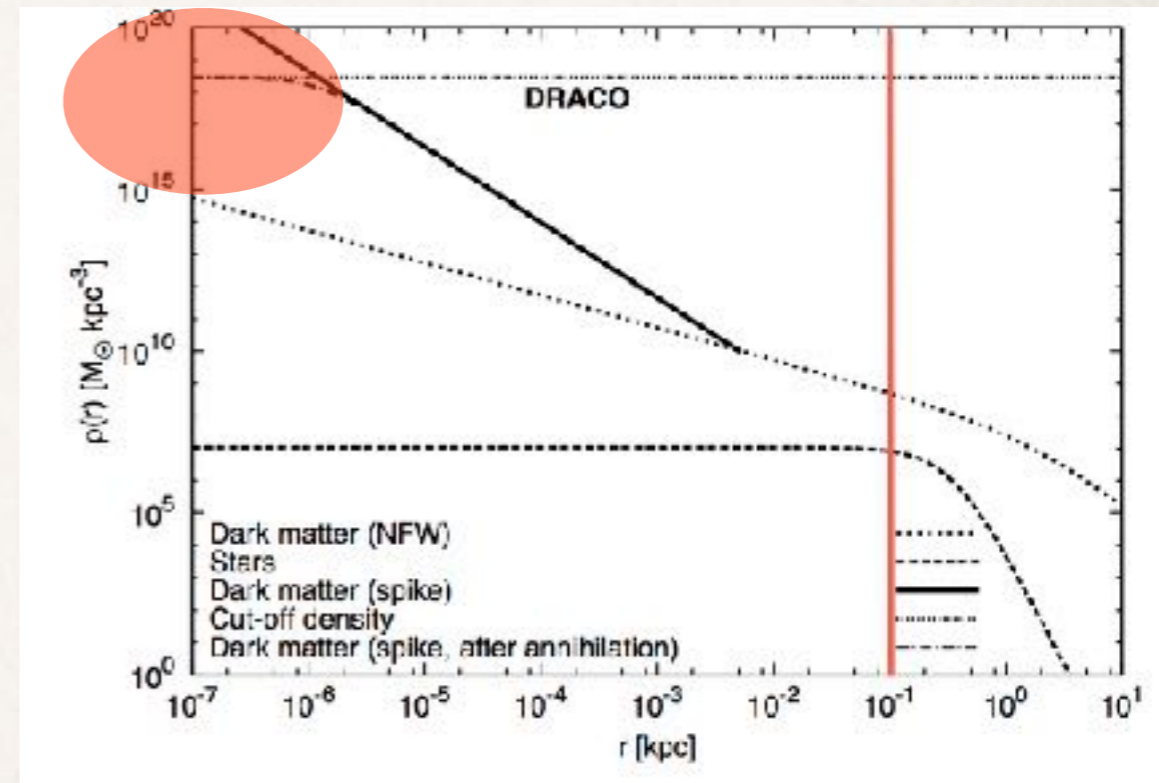
# J-factor en presencia de un agujero negro...

$$\dot{n}_\chi = \langle \sigma v \rangle n_\chi^2 \quad n_\chi = \frac{n_\chi}{1 + n_\chi \Delta t}$$

Core debido a la aniquilación



$$\rho_{\max} = 3 \times 10^{18} \left( \frac{m_\chi}{100 \text{ GeV}} \right) \left( \frac{10^{-26} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}}{\langle \sigma v \rangle} \right) M_\odot \text{ kpc}^{-3}$$



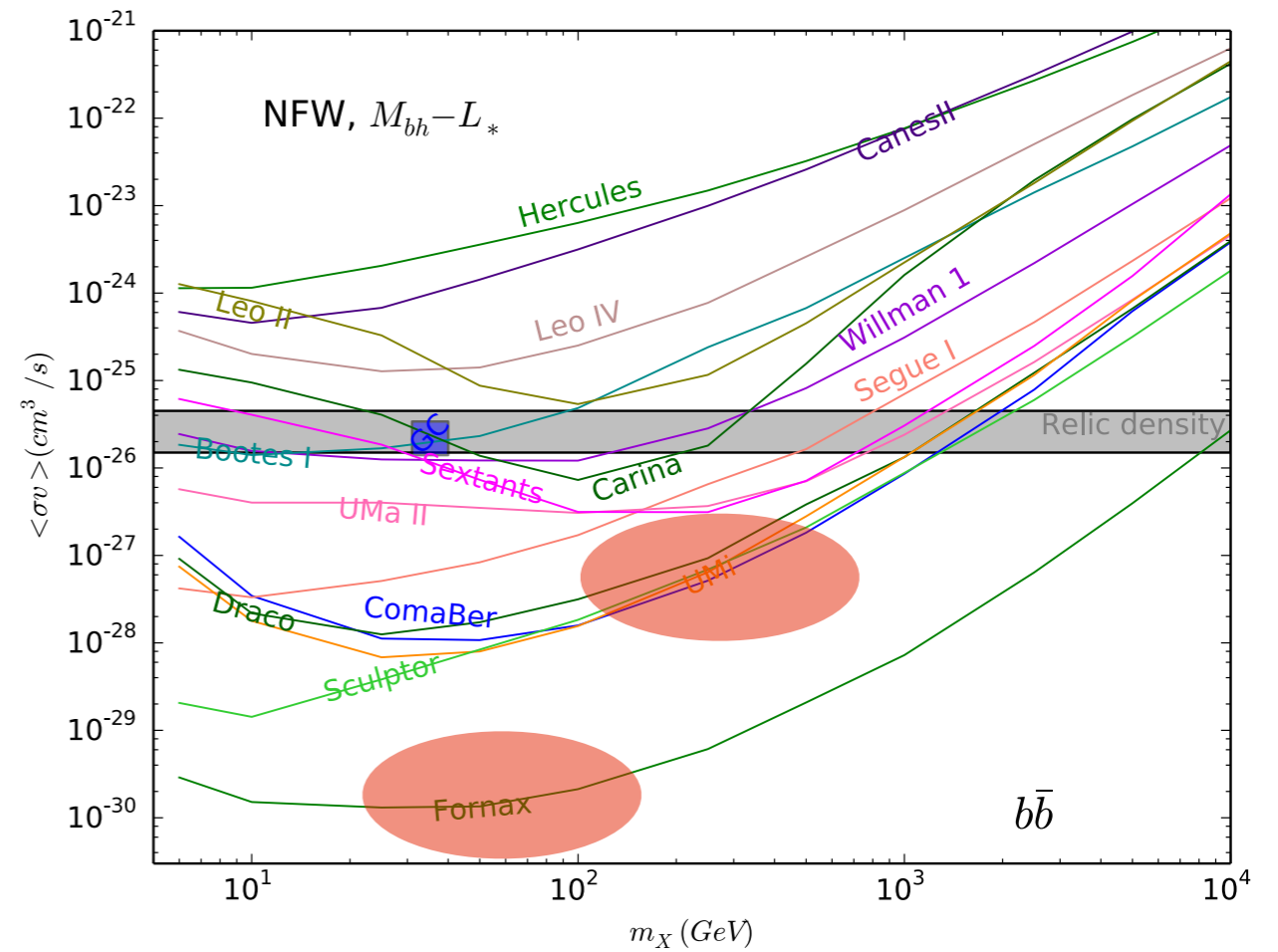
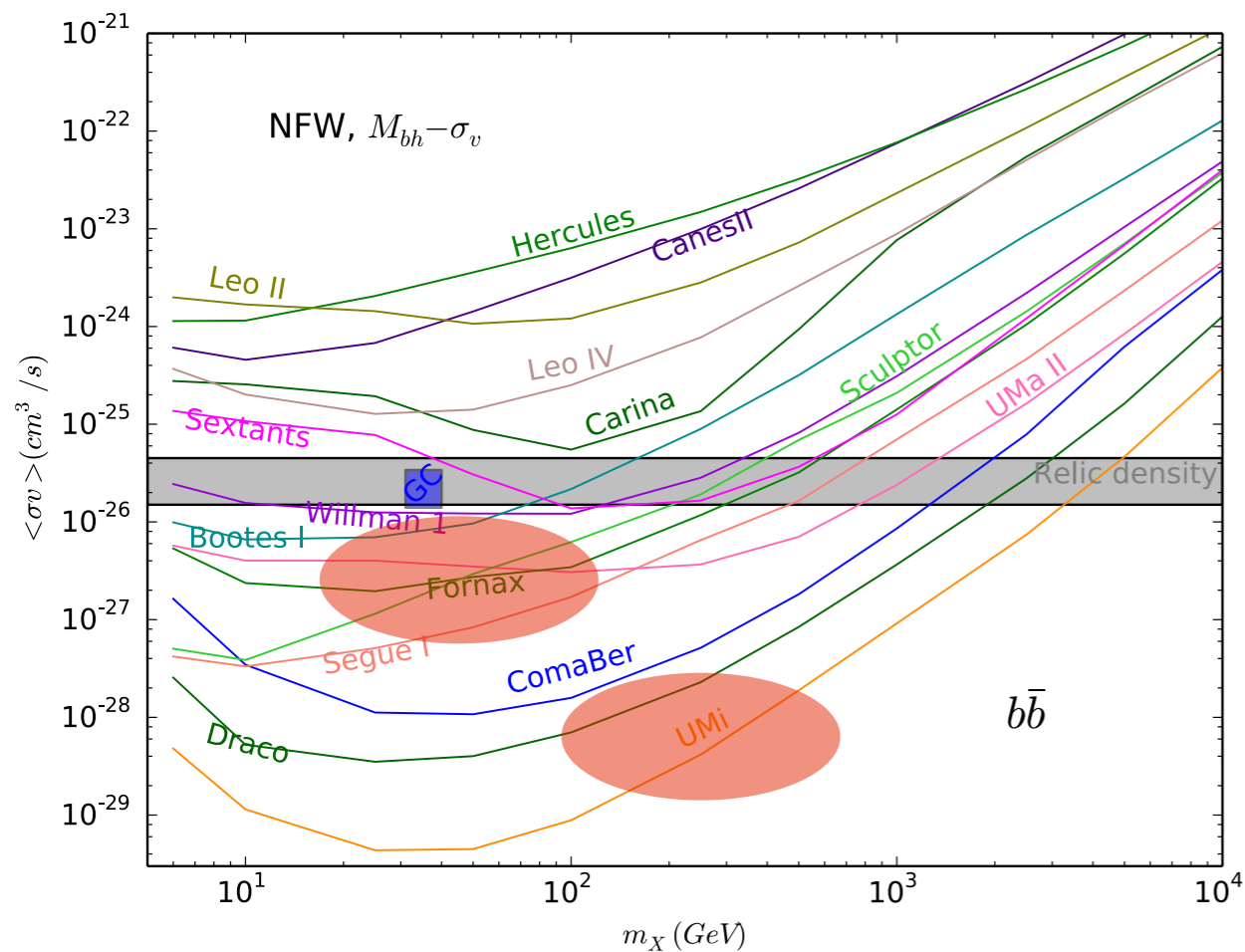
AXGM, S.Profumo, F. Queiroz 20

$$J_{\Delta\Omega} = \int_{\Delta\Omega} \int_{l_{os}} \rho^2(r(l, \theta), \langle \sigma v \rangle, m_\chi) dl d\Omega$$

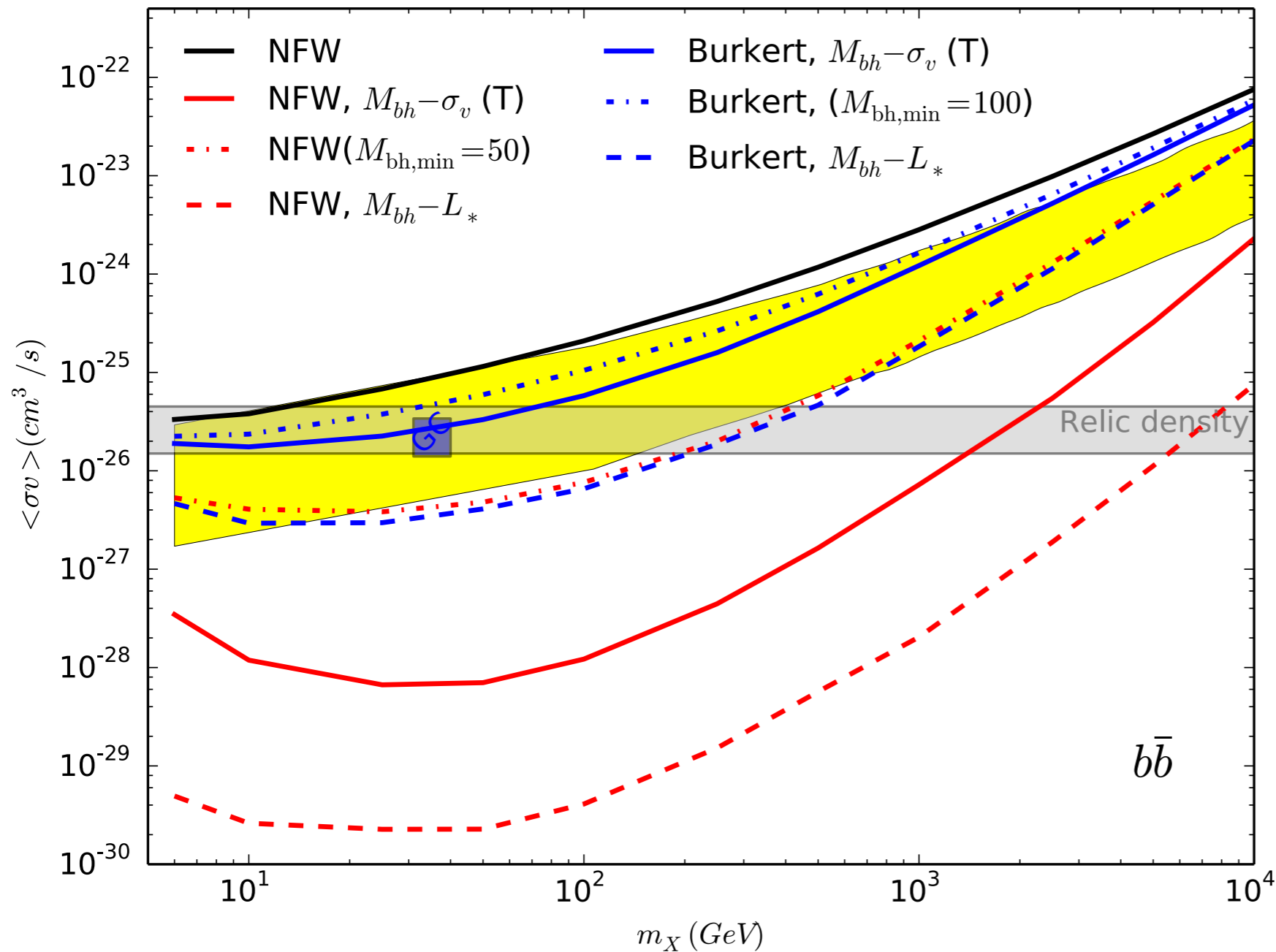
# Usamos las restricciones de FERMI como base

$$\langle \sigma v \rangle J = \langle \sigma v \rangle_{bh} J_{bh} (\langle \sigma v \rangle_{bh}, m_\chi) \quad \forall m_\chi.$$

resolvemos para  $\langle \sigma v \rangle_{bh}$

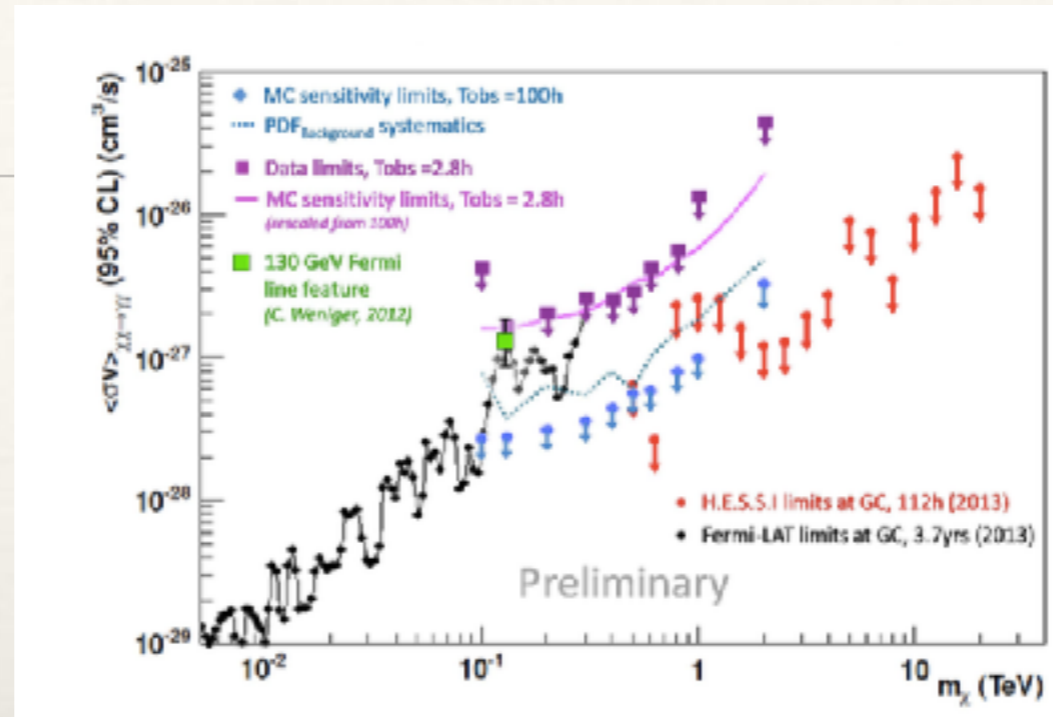


# Todas la galaxias enanas juntas

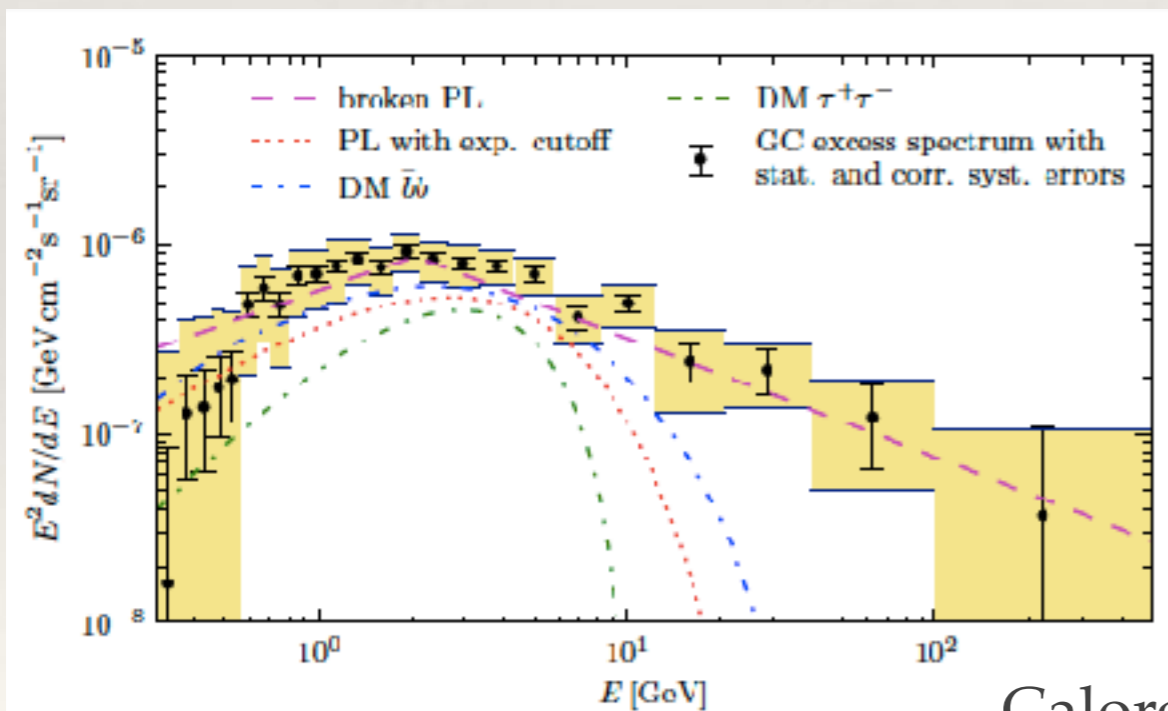


Fermi current analysis  
cover some of the  
scenarios with  
IMBHs.

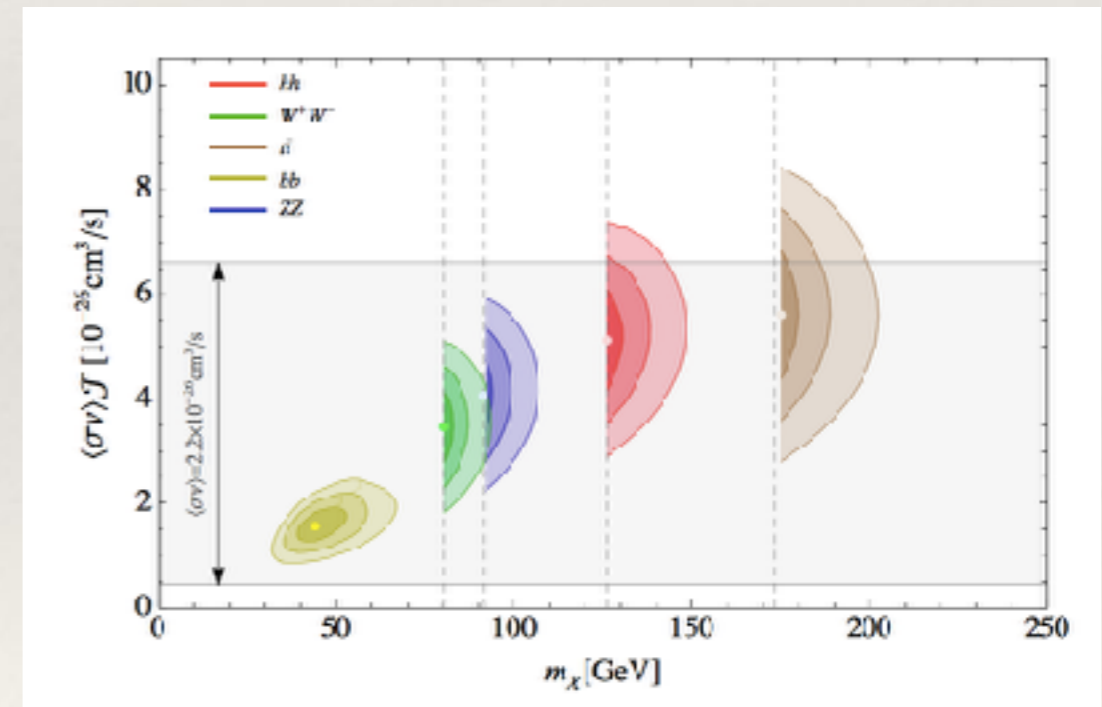
# Detección indirecta en CG



Exceso en 1-3 GeV

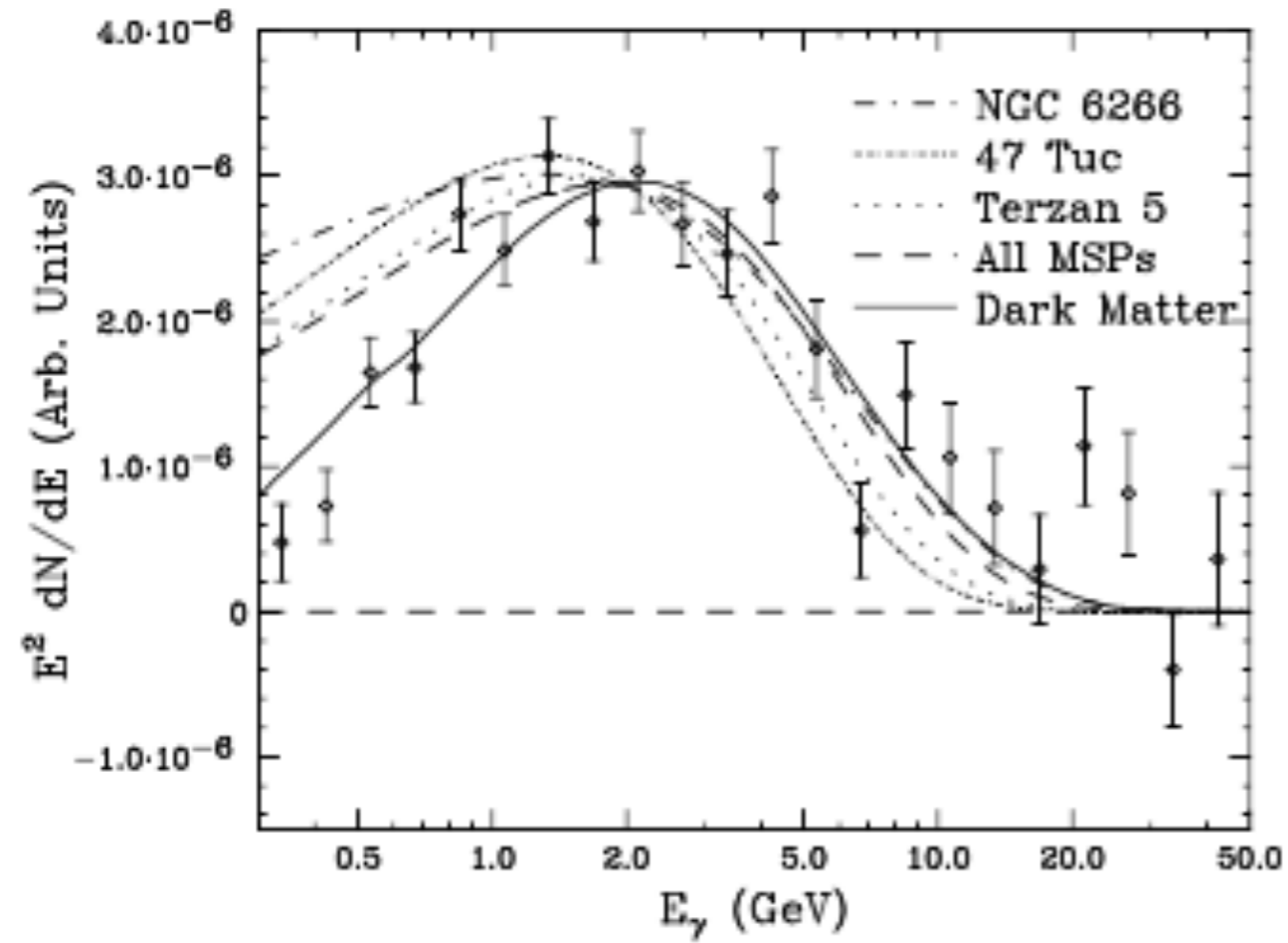


Calore 2014

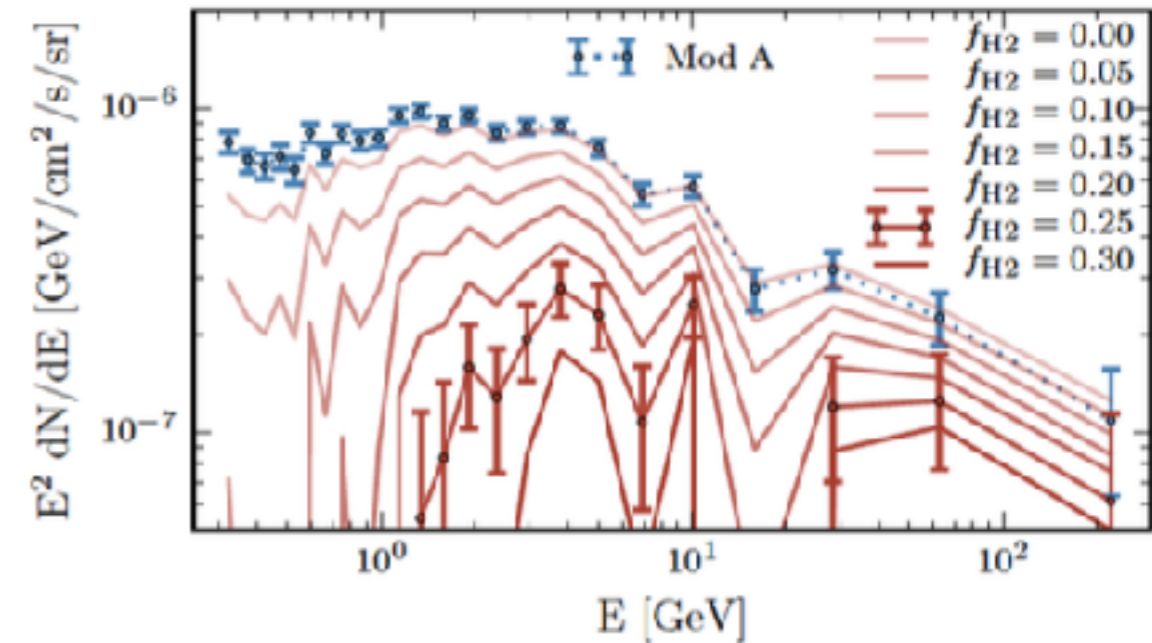


P. Agrawal et. al 2015

# Otras explicaciones

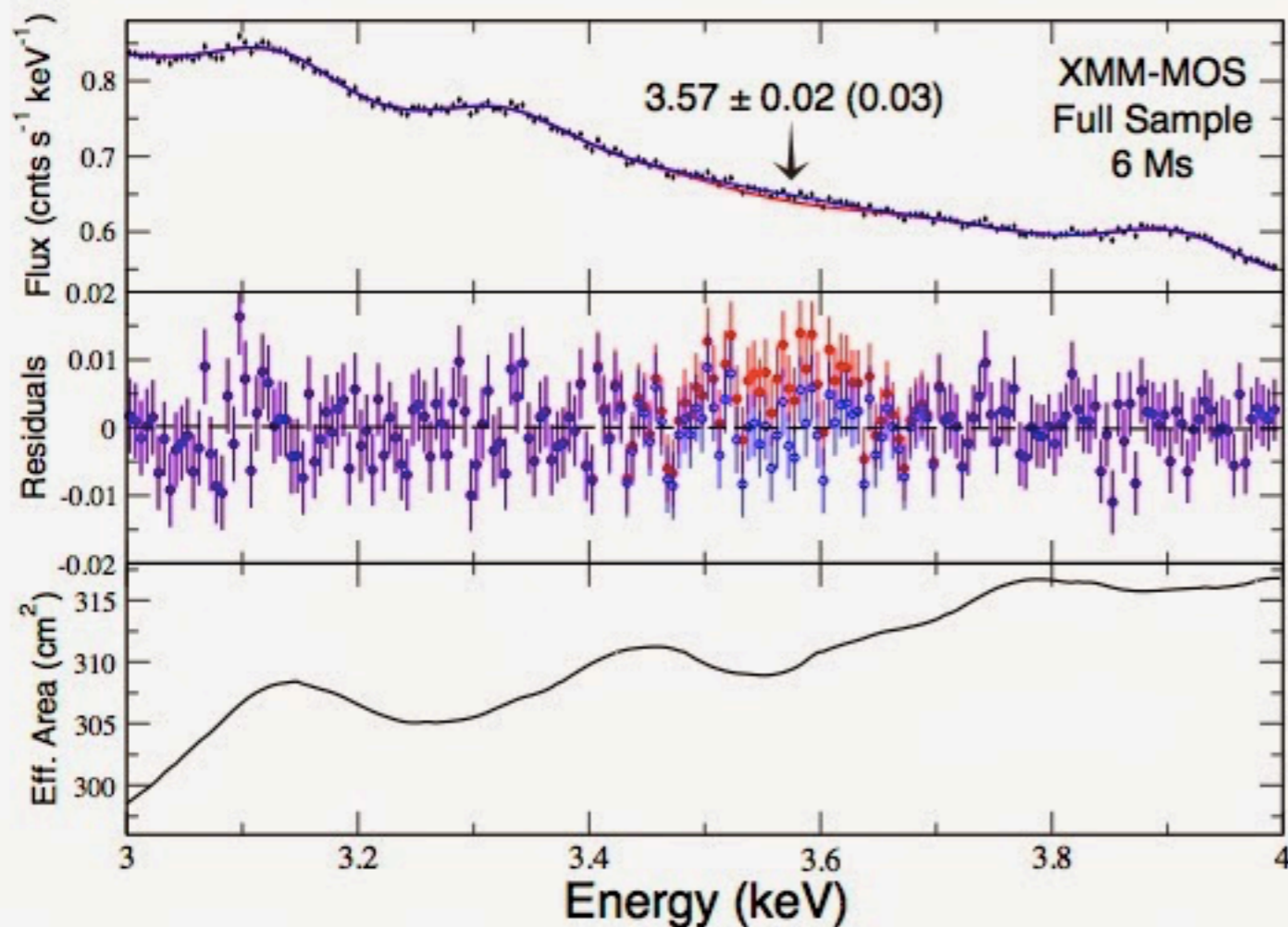


T. Daylan 2015  
Milisecond Pulsars



Carlson 2016. No hay exceso,  
mejores modelos de emisión difusa.

# 3.5 KeV line (73) Cumulos de Galaxias



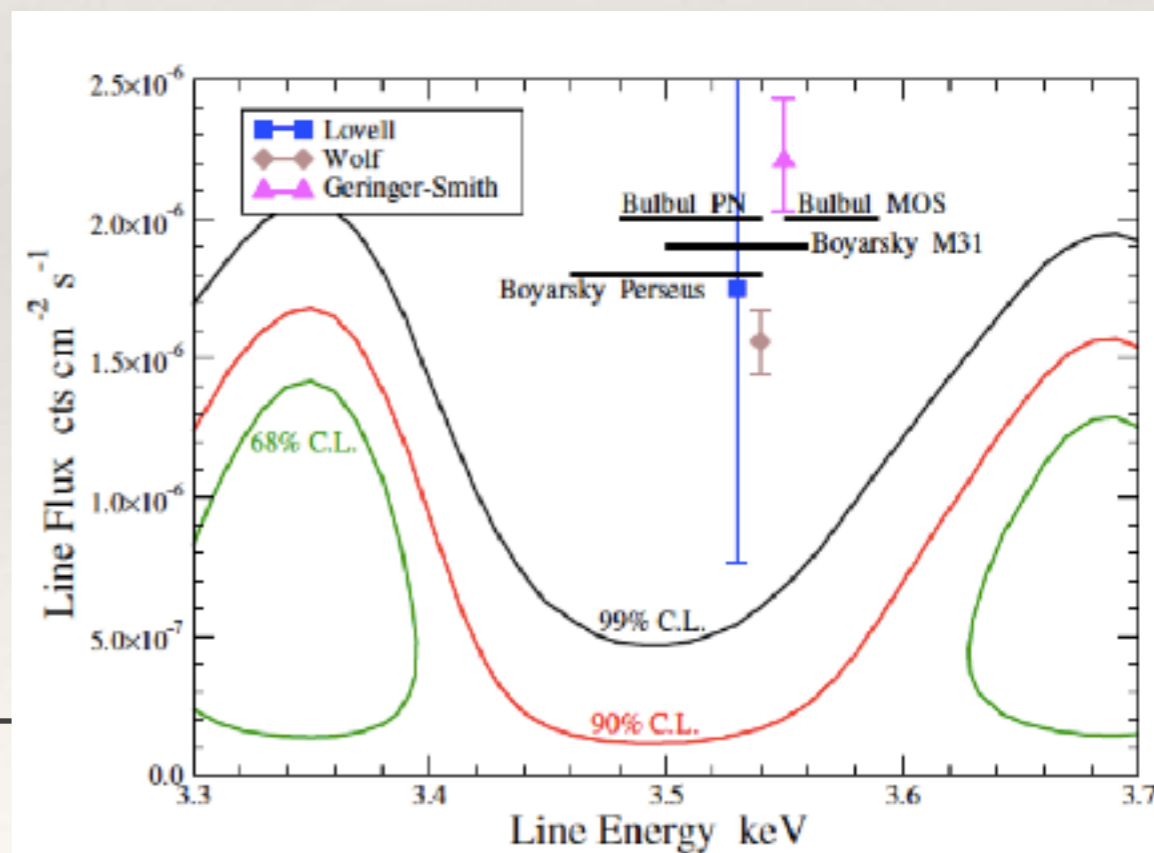
Bulbul+ (2014)

No hay evidencia en dsph's (Draco)

(Jeltema.Profumo 2015)

No hay evidencia en cúmulos individuales  
(Hitomi Collaboration 2016)

Consistente con líneas de KXVIII  
a 3.48 y 3.52 keV  
(Jeltema.Profumo 2014)



---

# Nueva generación de detectores

---

- ❖ Explorarán el rango de MeV y un empales con FERMI:
- ❖ GAMMA-400 (2020) ~ 100 MeV - 3 TeV
- ❖ Propuestas para eliminar el gap entre 0.2 MeV - ~ 100 MeV: **e-ASTROGAM**, GRIPS, PANGU, ACT, and others.

V. Tatischeff et al. 2016

J. Greiner, K., et al. 2011

X. Wu, et al. 2014

S. E. Boggs et al. 2006



# Historia Térmica y CMB

- ❖ Aniquilación de MO inyecta energía en el medio intergaláctico

Energy injected !

$$\frac{dE}{dt dV} = \rho_c^2 c^2 \Omega_\chi^2 (1+z)^6 \frac{\langle \sigma v \rangle}{m_\chi}$$

- ❖ No toda la energía se absorbe

$$\frac{dE}{dt dV}_{\text{absorbed}} = f(z) \frac{dE}{dt dV}_{\text{injected}}$$

- ❖ Función de eficiencia.  $f(z)$

**Mathematica:** <http://nebel.rc.fas.harvard.edu/epsilon>

**Python:** <https://github.com/JavierReynoso/feff.git>

T. R. Slatyer, Phys. Rev. D93, 023527 (2016),  
1506.03811.

# Gamma-rays from DM

$$m_{\pi^0} \lesssim m_\chi \lesssim 1 \text{ GeV}$$

## ❖ 6 canales de aniquilación

$$\chi\chi \rightarrow \gamma\gamma$$

$$\chi\chi \rightarrow \gamma\pi^0$$

$$\chi\chi \rightarrow \pi^0\pi^0$$

$$\chi\chi \rightarrow \bar{l}l \quad (l = e, \mu)$$

$$\chi\chi \rightarrow \pi^+\pi^-$$

## ❖ Espectro de energía

$$\frac{dN}{dE}_{\gamma\gamma} = 2\delta(E - m_\chi)$$

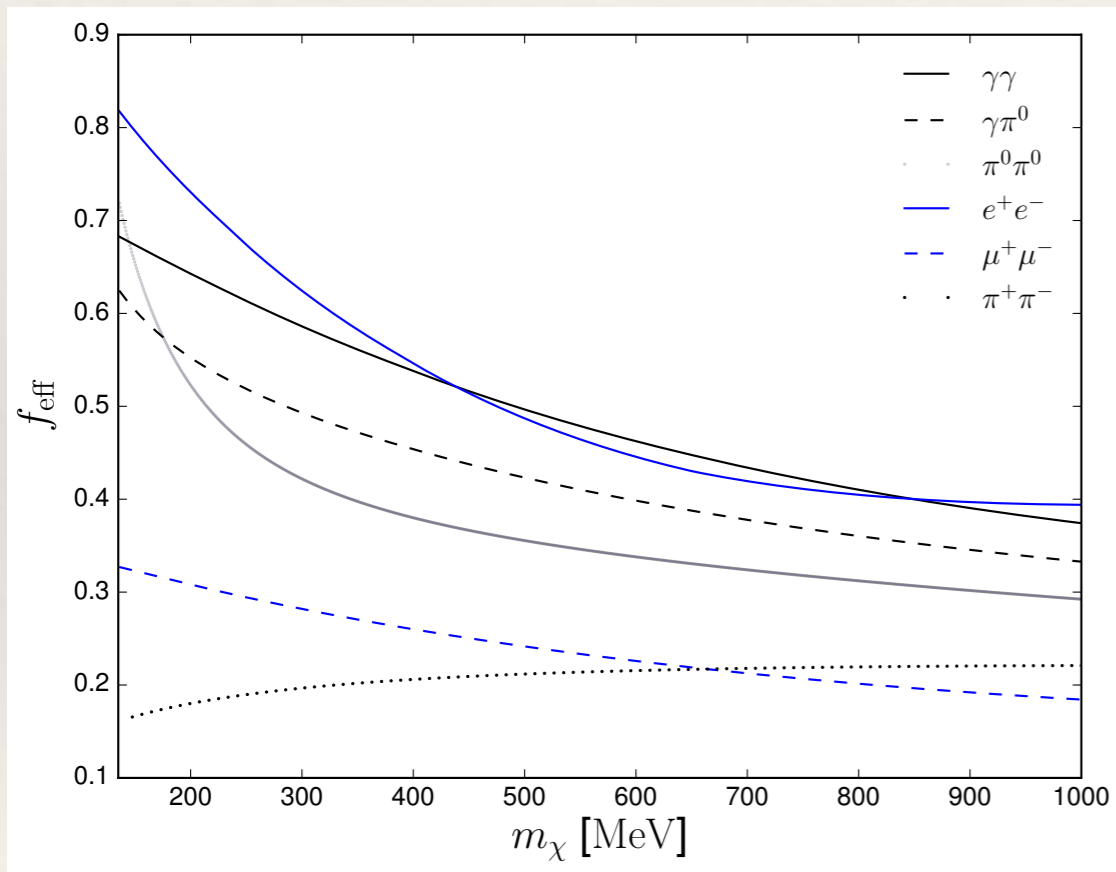
$$\frac{dN}{dE}_{\gamma\pi^0} = \delta\left(E - \left(m_\chi - \frac{m_{\pi^0}^2}{4m_\chi}\right)\right) + \frac{2}{m_\chi - \frac{m_{\pi^0}^2}{4m_\chi}}$$

$$\frac{dN}{dE}_{\pi^0\pi^0} = \frac{4}{\sqrt{\frac{s}{4} - m_{\pi^0}^2}}$$

$$\frac{dN}{dE}_{\bar{l}l} = \frac{\alpha}{\pi} \left(\frac{1 - (1 - y)^2}{y}\right) \left(\ln \frac{s(1 - y)}{m_l^2}\right)$$

# Thermal history and CMB constraints

DM canales de aniquilación  $\longrightarrow$   $\frac{dN^{e^- (e^+)}}{dE}$   $\frac{dN^{(\gamma)}}{dE}$   $\longrightarrow$   $f_{\text{eff}}$   
 se obtiene



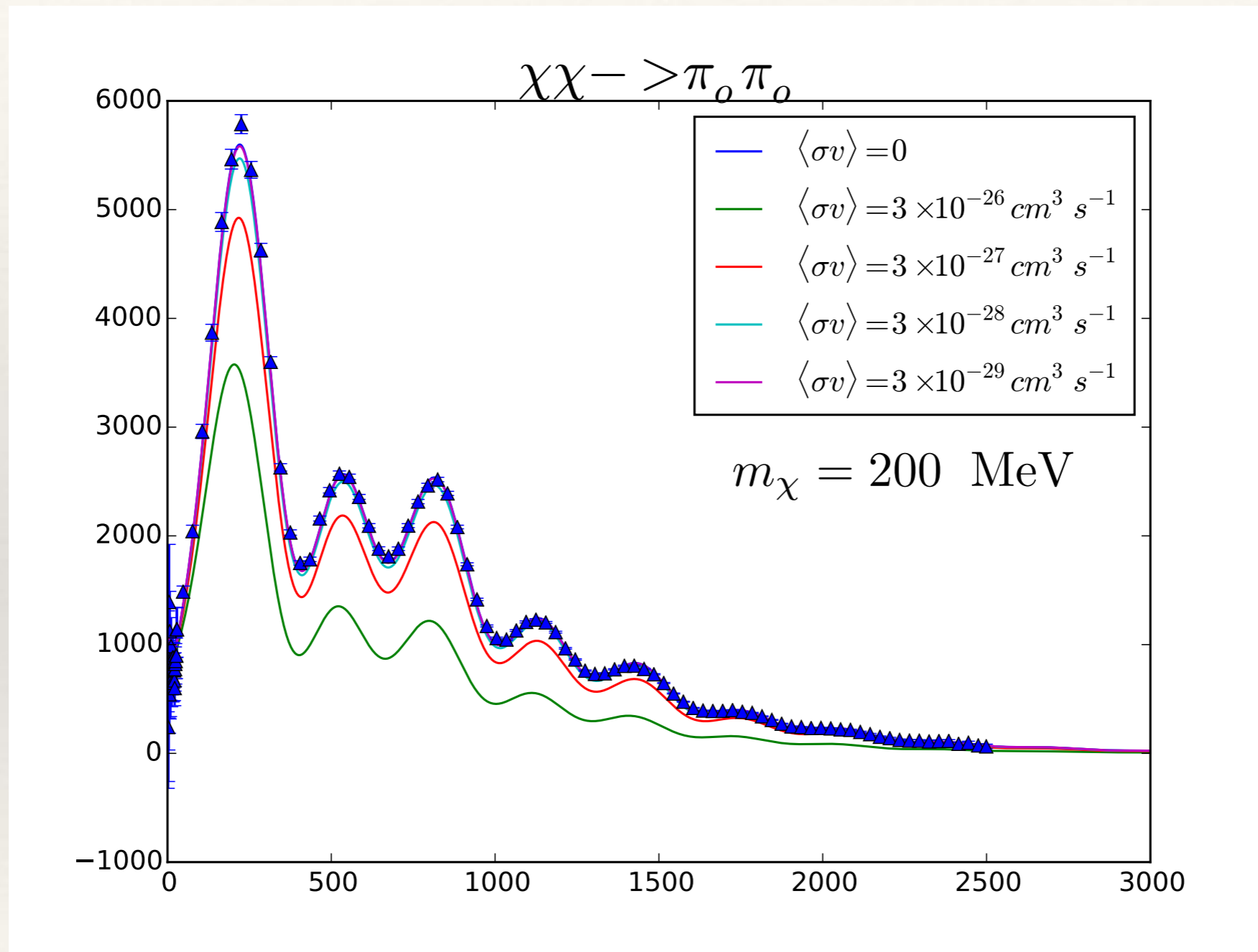
$$P_{\text{ann}} \equiv f_{\text{eff}} \frac{\langle \sigma v \rangle}{m_\chi}$$

$$\langle \sigma v \rangle < \frac{m_\chi}{f_{\text{eff}}} P_{\text{ann}}$$

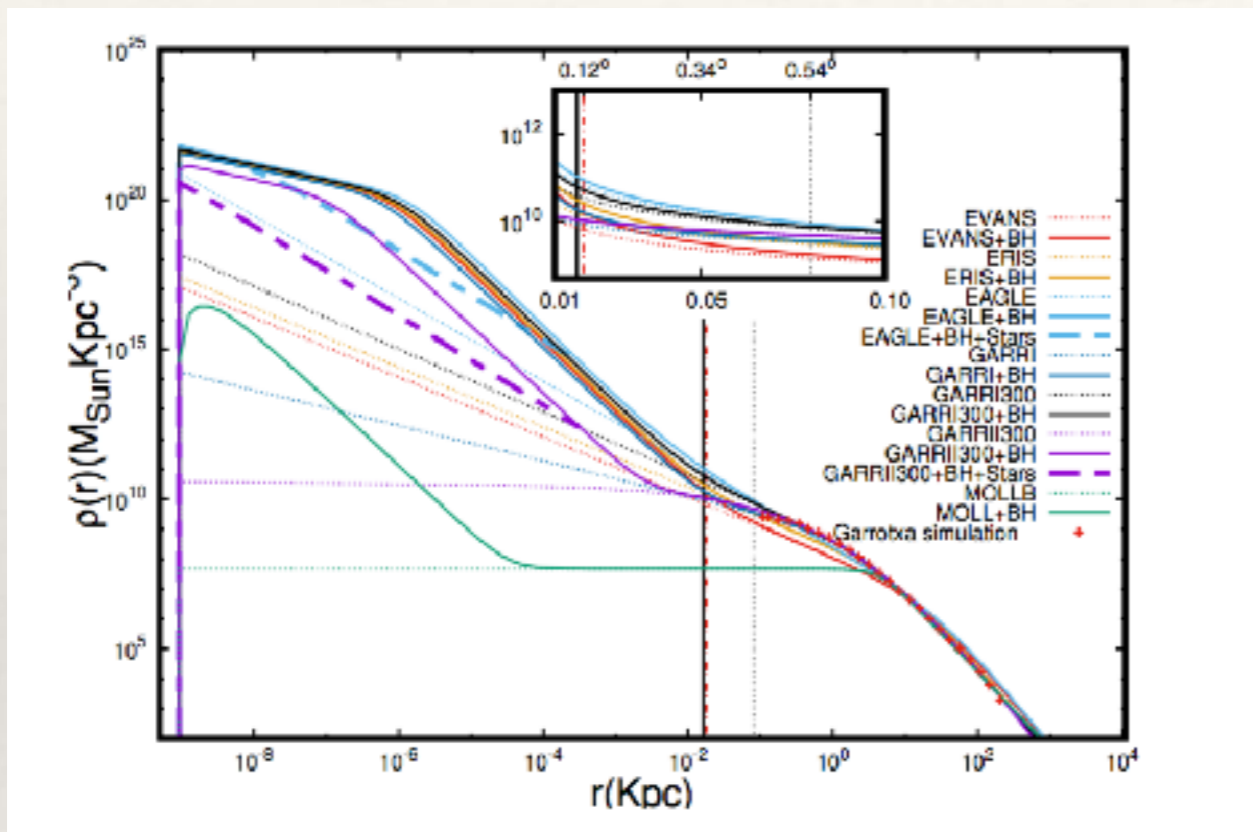
$$P_{\text{ann}} < 4.1 \times 10^{-28} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ GeV}^{-1}$$

P. A. R. Ade et al. 2016

# Historia Térmica y CMB



# Detección



$$\phi = J(\Delta\Omega) \cdot \frac{1}{4\pi} \frac{\langle\sigma v\rangle}{2m_\chi^2} \int dE \frac{dN}{dE} \gamma$$

$$\log_{10}(J_{\text{Draco}}/\text{GeV}^2\text{cm}^{-5}) = 19.05_{-0.21}^{+0.22} [10]$$

$$\log_{10}(J_{\text{GC}}/\text{GeV}^2\text{cm}^{-5}) \sim 19 - -23 [9]$$

[9] V. Gammaldi, V. Avila-Reese, O. Valenzuela, and A. X. Gonzales-Morales, Phys. Rev. D94, 121301 (2016), 1607.02012.

[10] K. K. Boddy, K. R. Dienes, D. Kim, J. Kumar, J.-C. Park, and B. Thomas, Phys. Rev. D94, 095027 (2016), 1606.07440.

# Detección

$$N_s \sim N_\sigma \sqrt{N_b}$$

$$N_\sigma = 5$$

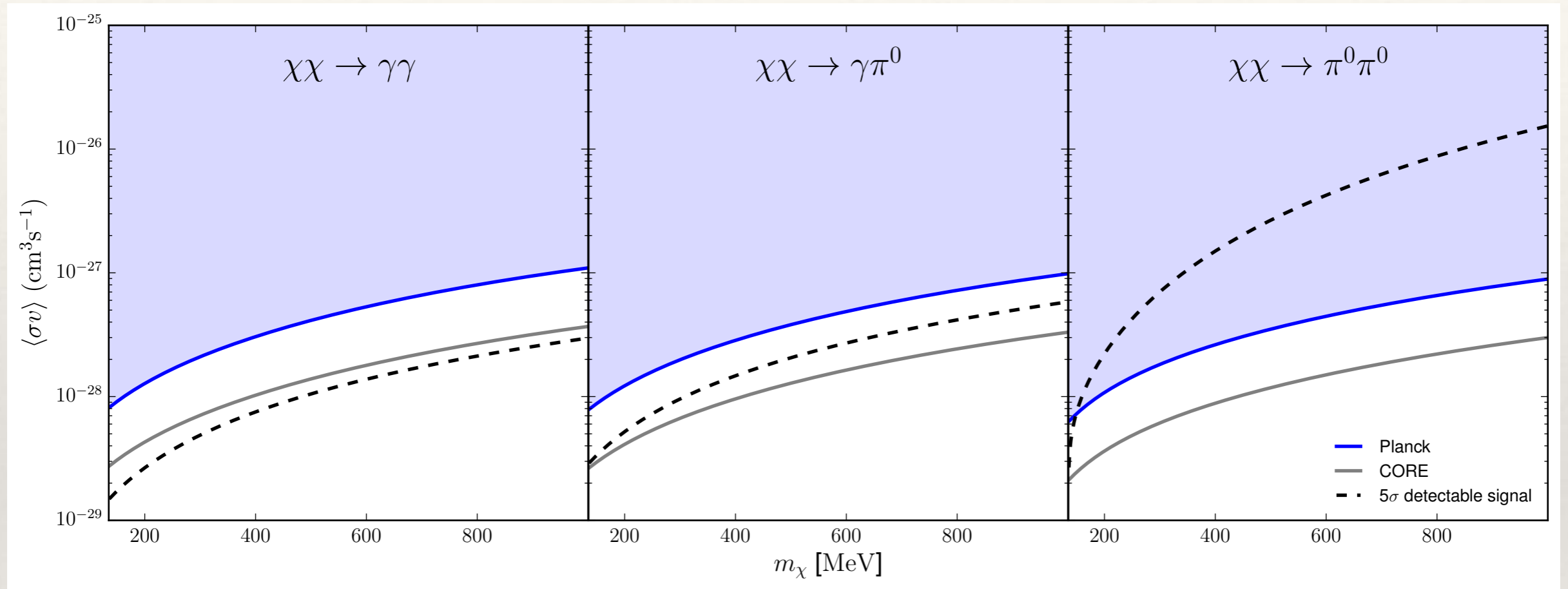
Construimos un detector hipotético  
~ eASTROGAM

$$N_s = \phi \cdot T_{\text{obs}} \cdot A_{\text{eff}}$$

$$N_b \propto \int dE \frac{d\phi_b}{dE}$$

$$\langle \sigma v \rangle > 10 \sqrt{N_b} \frac{1}{\int_{E^-}^{E^+} dE \frac{dN}{dE}} \frac{4\pi}{A_{\text{eff}} T_{\text{obs}} J} m_\chi^2$$

Proyección de restricciones con CORE+ [12]  $P_{\text{ann}} < 1.38 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$   
 Planck [13]  $P_{\text{ann}} < 4.1 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$

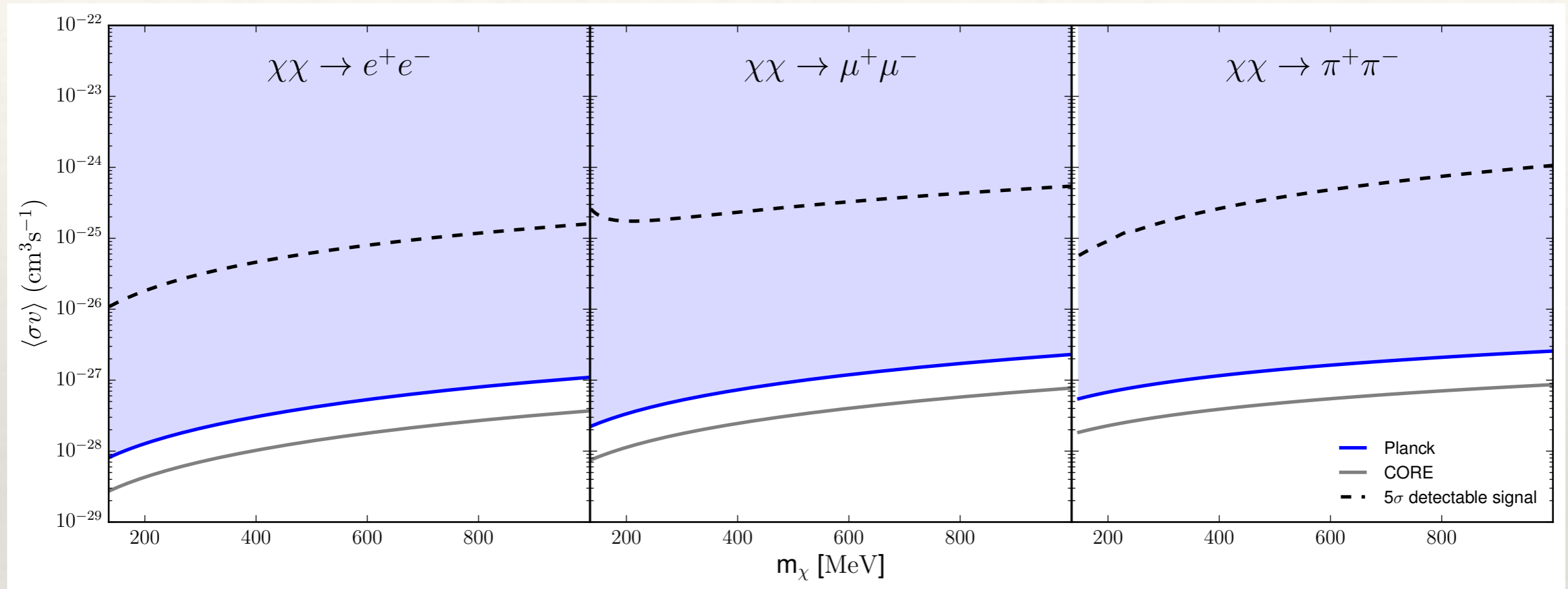


Draco

[12] E. Di Valentino et al. (CORE) (2016), 1612.00021.

[13] P. A. R. Ade et al. (Planck), Astron. Astrophys. 594, A13 (2016), 1502.01589.

Proyección de restricciones con CORE+ [12]  $P_{\text{ann}} < 1.38 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$   
 Planck [13]  $P_{\text{ann}} < 4.1 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$



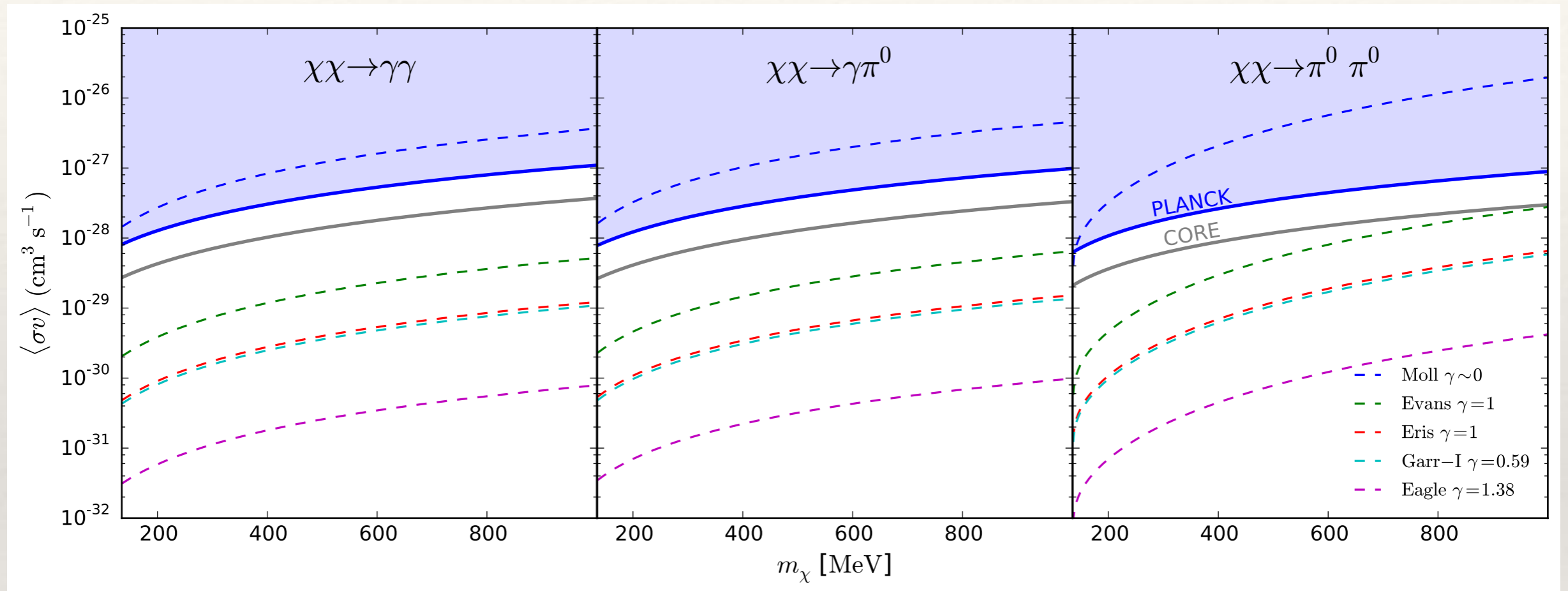
[12] E. Di Valentino et al. (CORE) (2016), 1612.00021.

[13] P. A. R. Ade et al. (Planck), Astron. Astrophys. 594, A13 (2016), 1502.01589.

Draco



Proyección de restricciones con CORE+ [12]  $P_{\text{ann}} < 1.38 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$   
 Planck [13]  $P_{\text{ann}} < 4.1 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$

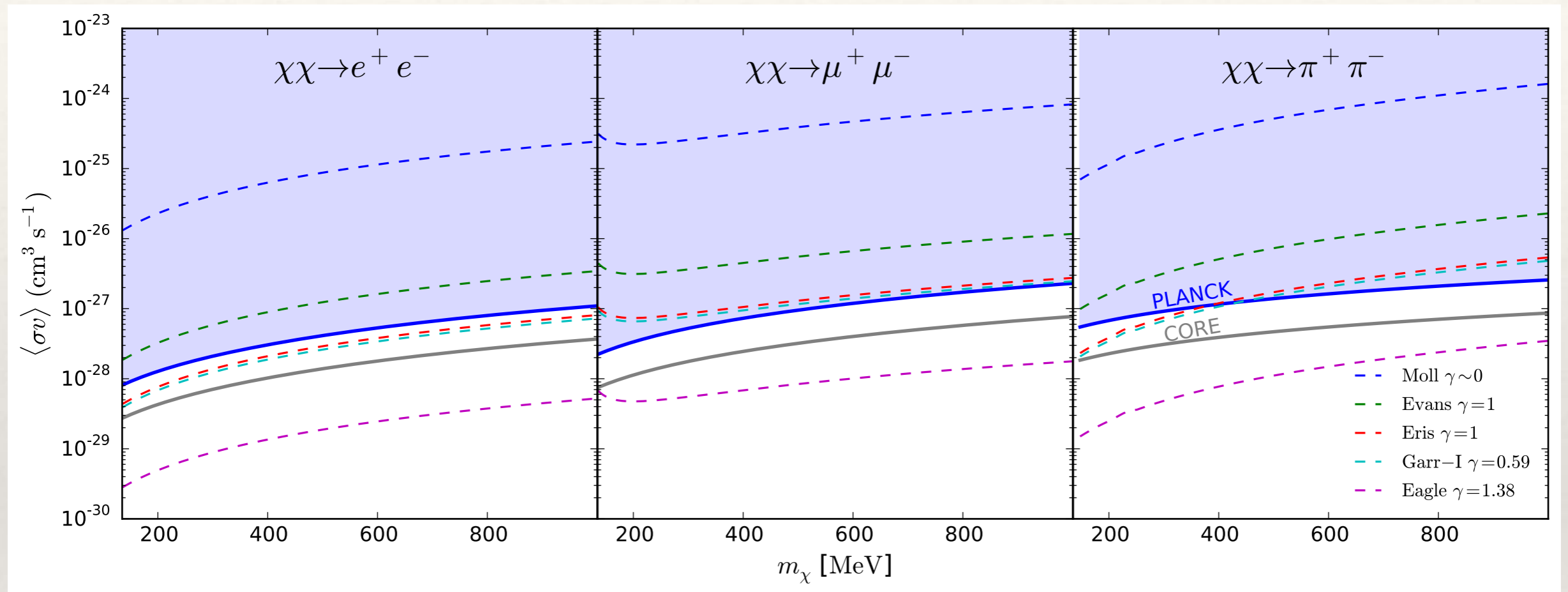


[12] E. Di Valentino et al. (CORE) (2016), 1612.00021.

[13] P. A. R. Ade et al. (Planck), Astron. Astrophys. 594, A13 (2016), 1502.01589.

GC

Proyección de restricciones con CORE+ [12]  $P_{\text{ann}} < 1.38 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$   
 Planck [13]  $P_{\text{ann}} < 4.1 \times 10^{-28} \text{cm}^3 \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$



[12] E. Di Valentino et al. (CORE) (2016), 1612.00021.

[13] P. A. R. Ade et al. (Planck), Astron. Astrophys. 594, A13 (2016), 1502.01589.

GC

---

# Trabajo a futuro

---

- ❖ Restricciones en reionización con observaciones HI-21cm.
- ❖ Restricciones a partir de objetos “raros” como cúmulos globulares que parecen galaxias dSph’s.
- ❖ Cotas que provienen de LSS con Surveys de galaxias (Modelos con interacciones).

---

---

# Gracias