

Física de Rayos Cósmicos a la escala del GeV



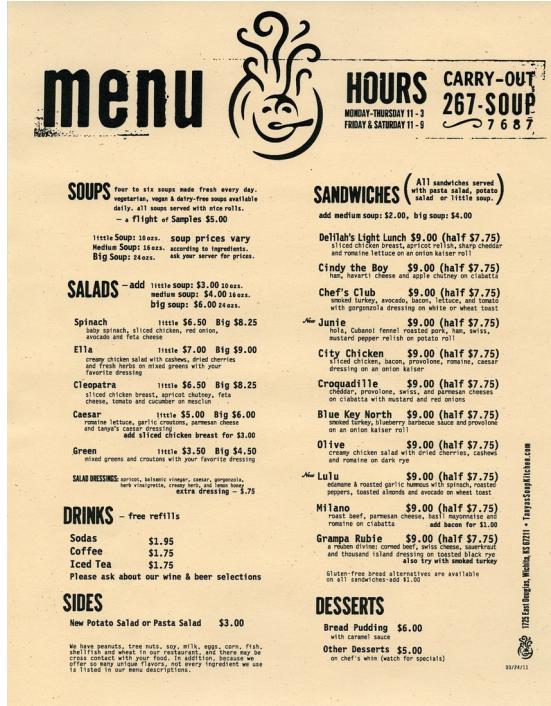
CAMPOS Y CUERDAS

Campos y Cuerdas - 10 Marzo 2017

Parte
III

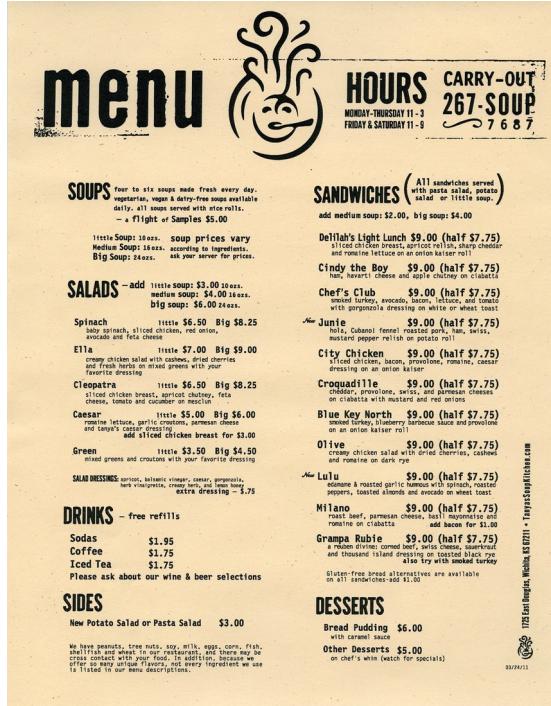


Programa



- ¿Qué son los rayos cósmicos?
- Propagación de rayos cósmicos
- Fuentes astrofísicas
- Materia Oscura

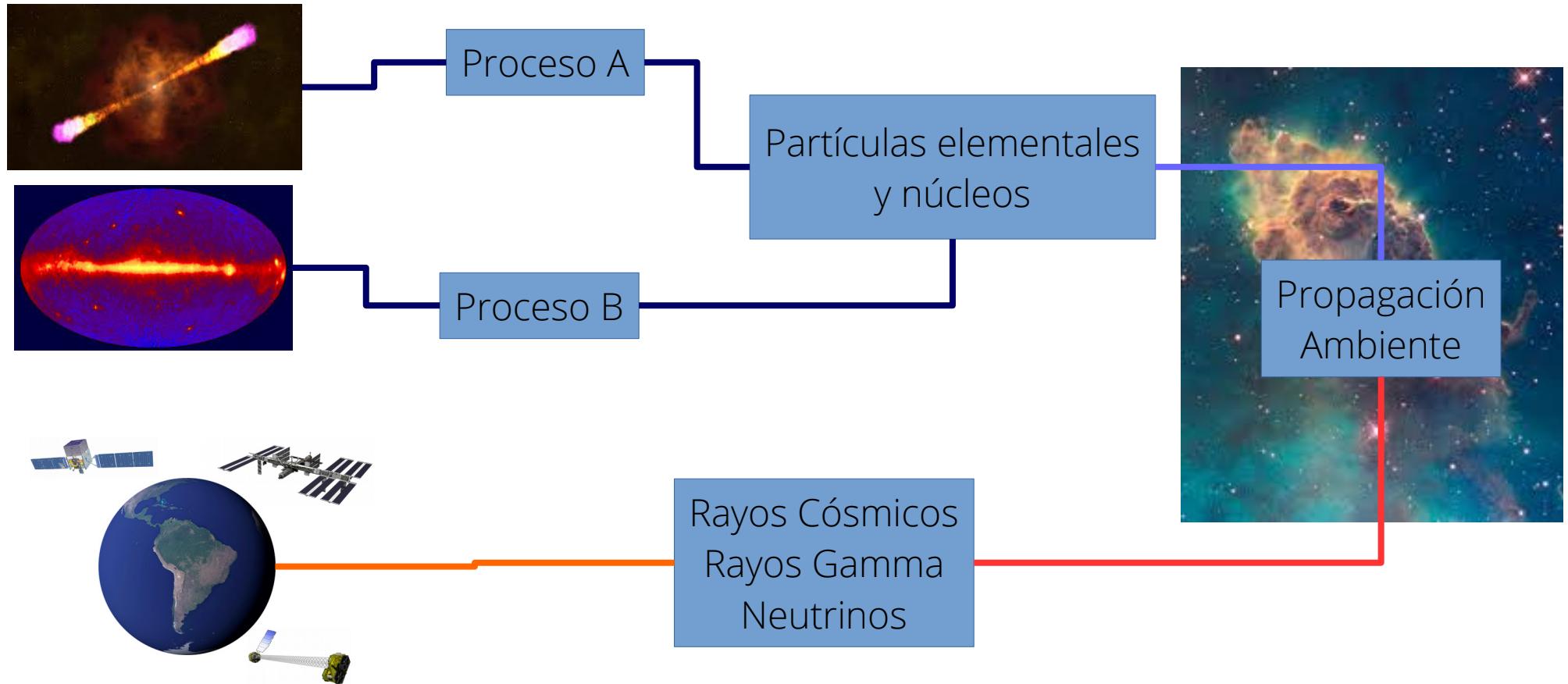
Programa



- ¿Qué son los rayos cósmicos?
- Propagación de rayos cósmicos
- Fuentes astrofísicas
- Materia Oscura

HOY

Rayos cósmicos



Propagación de rayos cósmicos

L_z

R

$$b(\epsilon) = b_0 \epsilon^2$$

$$D(\epsilon) = K_0 \epsilon^\delta$$

Ecuación de transporte (estática)

La ecuación estática sin términos de convección es:

$$-D(\epsilon) \nabla^2 \psi - \partial_\epsilon (b(\epsilon) \psi) = s(\vec{x}, \epsilon)$$

La función de Green corresponde a la solución para una fuente puntual:

$$-D(\epsilon) \nabla^2 G - \partial_\epsilon (b(\epsilon) G) = \delta^3(\vec{x} - \vec{x}_s) \delta(\epsilon - \epsilon_s)$$

La solución para una fuente arbitraria se obtiene haciendo la convolución:

$$\psi(\vec{x}, \epsilon) = \int_{\epsilon}^{\infty} d\epsilon_s \int d^3 x_s s(x_s, \epsilon_s) G(\vec{x}, \vec{x}_s, \epsilon, \epsilon_s)$$

Fuentes astrofísicas

de electrones y positrones

Primarios: Remanentes de supernova y pulsars

- Secundarios: Interacción RC nucleares con el medio interestelar

Fuentes astrofísicas

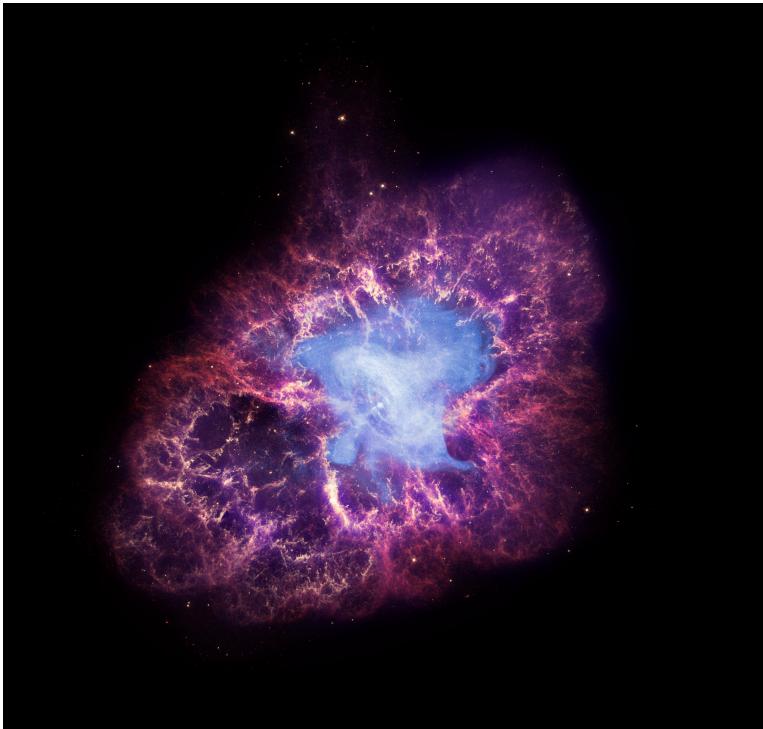
de electrones y positrones

Primarios: Remanentes de supernova y pulsars

- Secundarios: Interacción RC nucleares con el medio interestelar

*Esto lo vimos en
la clase anterior*

Rayos cósmicos primarios

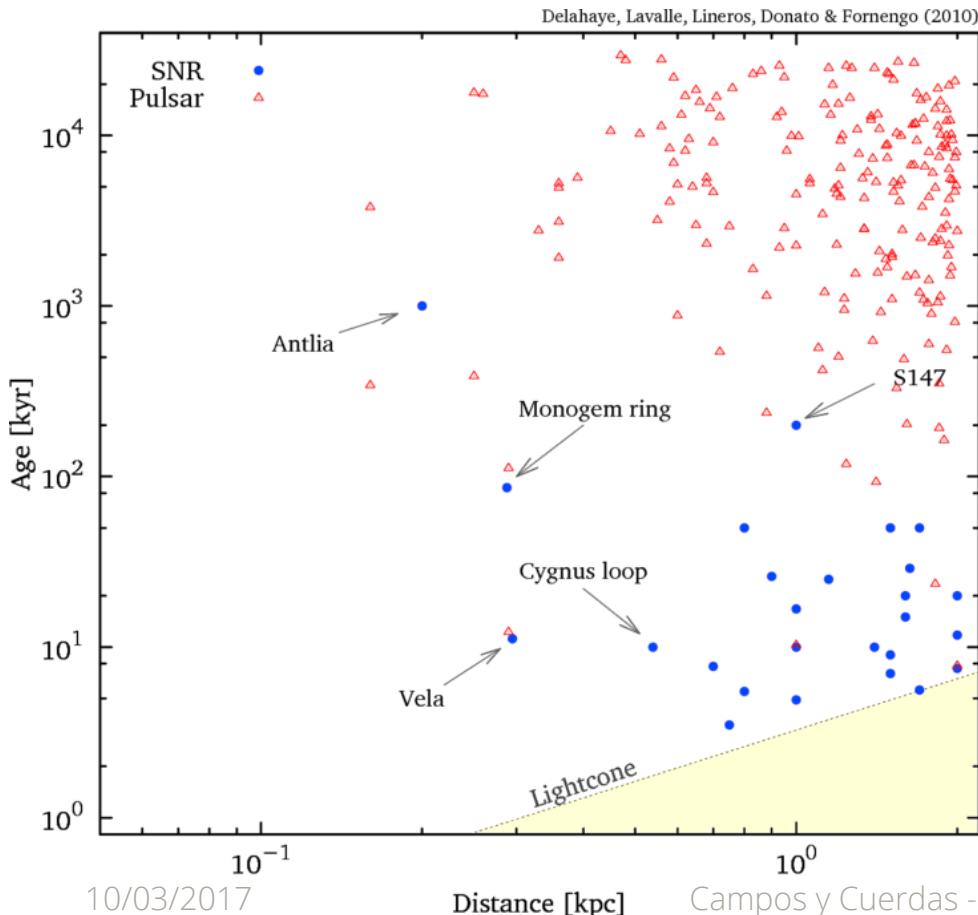


Son generados por la actividad astrofísica.

A la escala del GeV, las fuentes típicas son:

- Remanentes de supernova
- Pulsares

Rayos cósmicos primarios



La diferencia con otras fuentes es que son discretas en el tiempo.

A una distancia de 2 kpc:

- 20 SNRs
- 200 Pulsars

$$\Gamma_{\text{SN}} \sim 3/\text{siglo}$$

Ecuación de transporte

(tiempo dependiente)

En este caso la ET se modifica:

$$\partial_t \psi - D(\epsilon) \nabla^2 \psi - \partial_\epsilon (b(\epsilon) \psi) = s(t, \vec{x}, \epsilon)$$

Y la función de Green se obtiene de la misma manera:

$$\partial_t G - D(\epsilon) \nabla^2 G - \partial_\epsilon (b(\epsilon) G) = \delta(t - t_s) \delta^3(\vec{x} - \vec{x}_s) \delta(\epsilon - \epsilon_s)$$

Ecuación de transporte

(tiempo dependiente)

La función de Green tiempo dependiente es más amigable:

$$G(t, t_s, \vec{x}, \vec{x}_s, \epsilon, \epsilon_s) = \delta(t - t_s - \tau_c) G(\vec{x}, \vec{x}_s, \epsilon, \epsilon_s)$$

Donde el tiempo de enfriamiento es:

$$\tau_c(\epsilon, \epsilon_s) = \int_{\epsilon}^{\epsilon_s} \frac{d\varepsilon}{b(\varepsilon)}$$

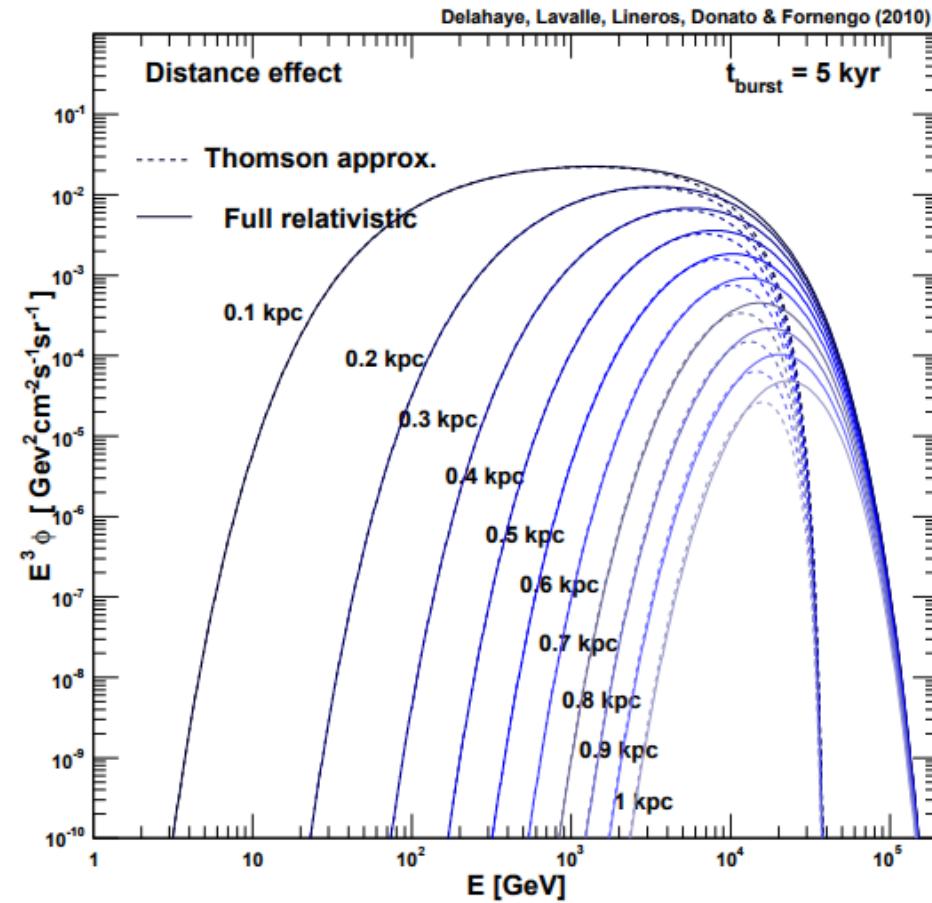
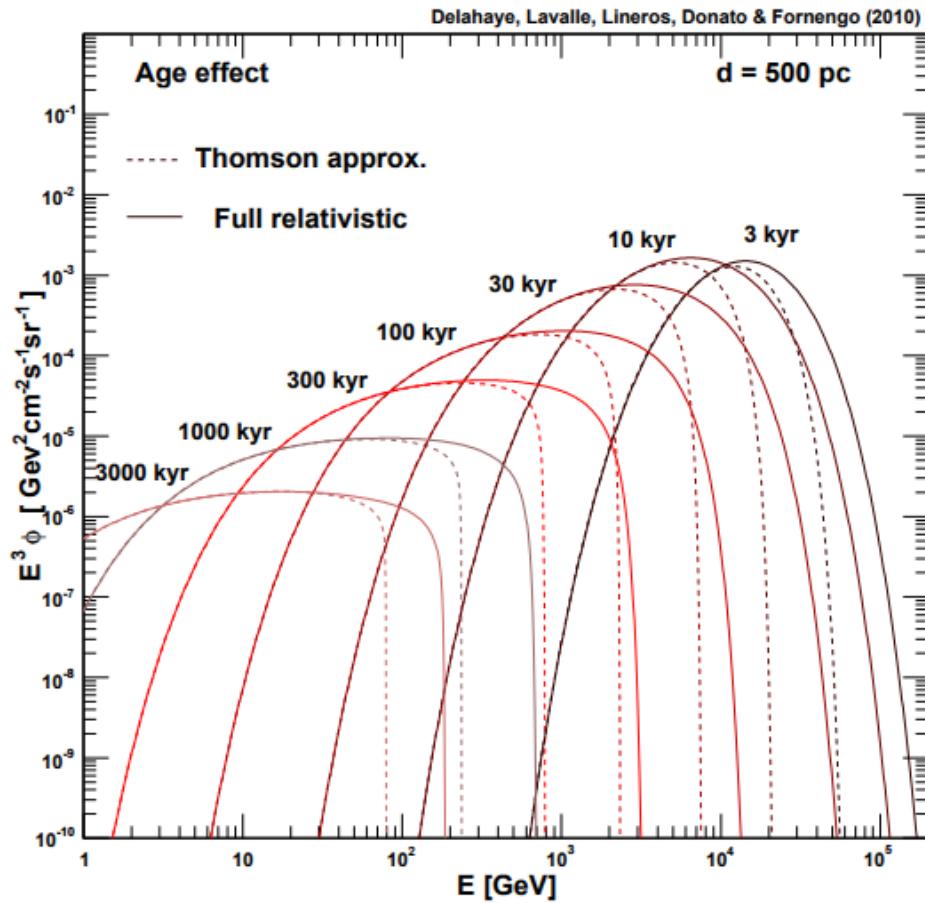
Ecuación de transporte

(tiempo dependiente)

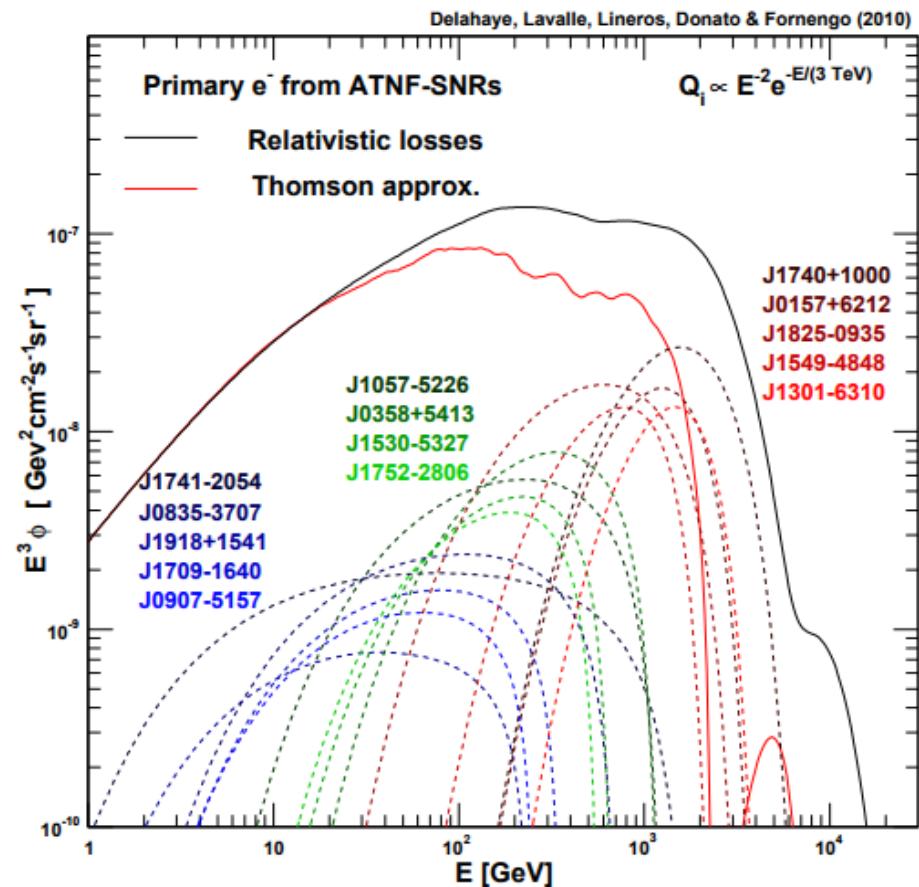
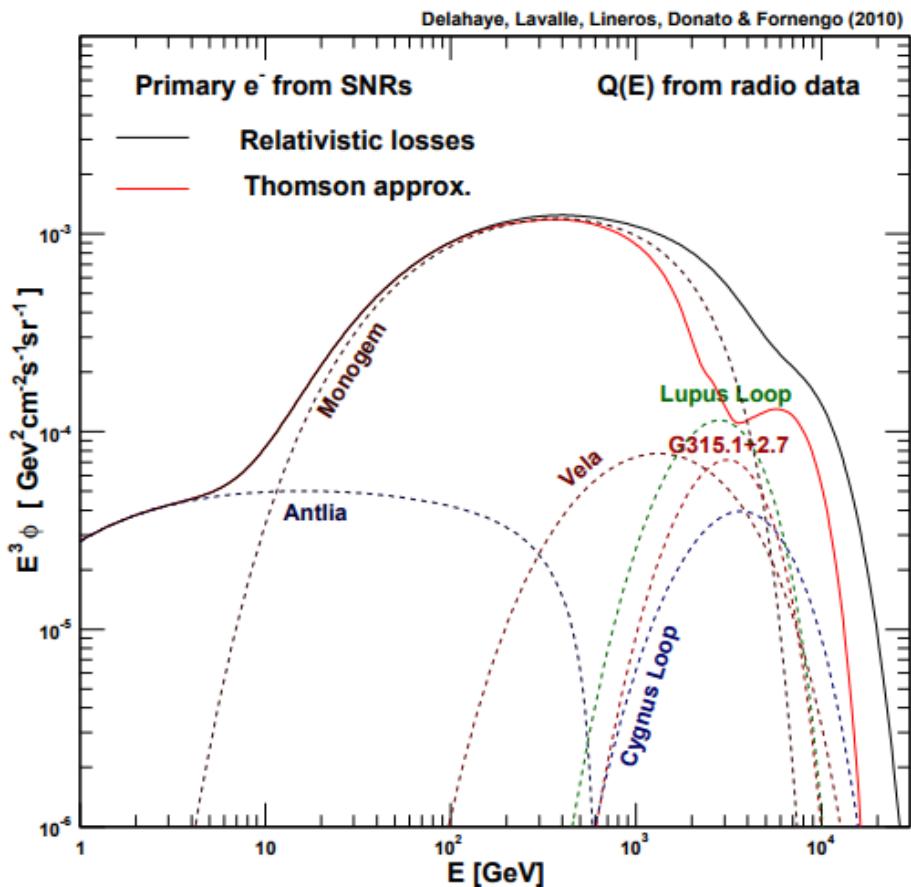
Y la solución general para cualquier fuente:

$$\psi(t, \vec{x}, \epsilon) = \int_{-\infty}^t dt_s \int_{\epsilon}^{\infty} d\epsilon_s \int d^3x_s s(t_s, x_s, \epsilon_s) G(t, t_s, \vec{x}, \vec{x}_s, \epsilon, \epsilon_s)$$

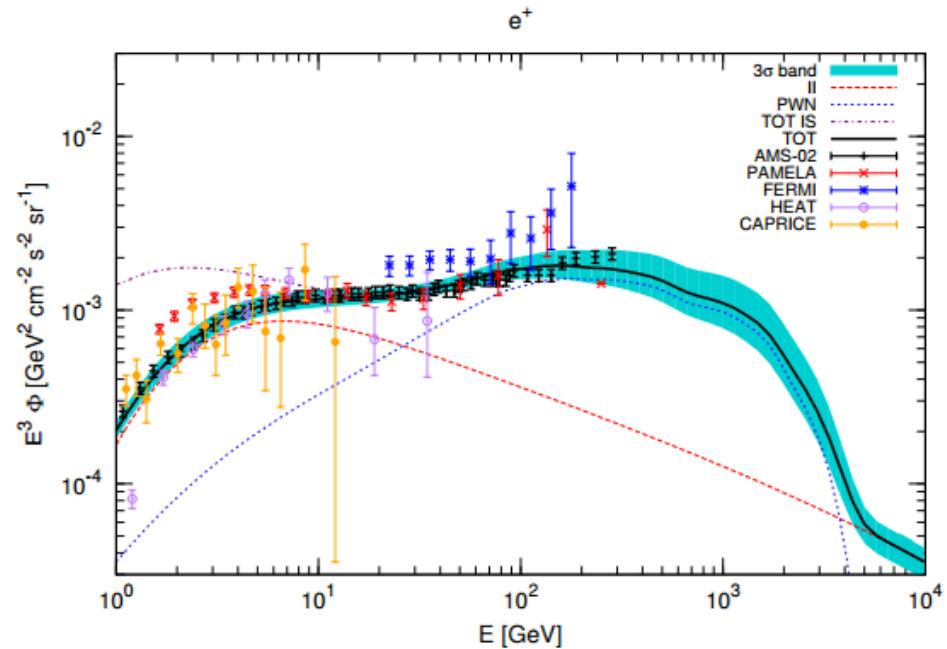
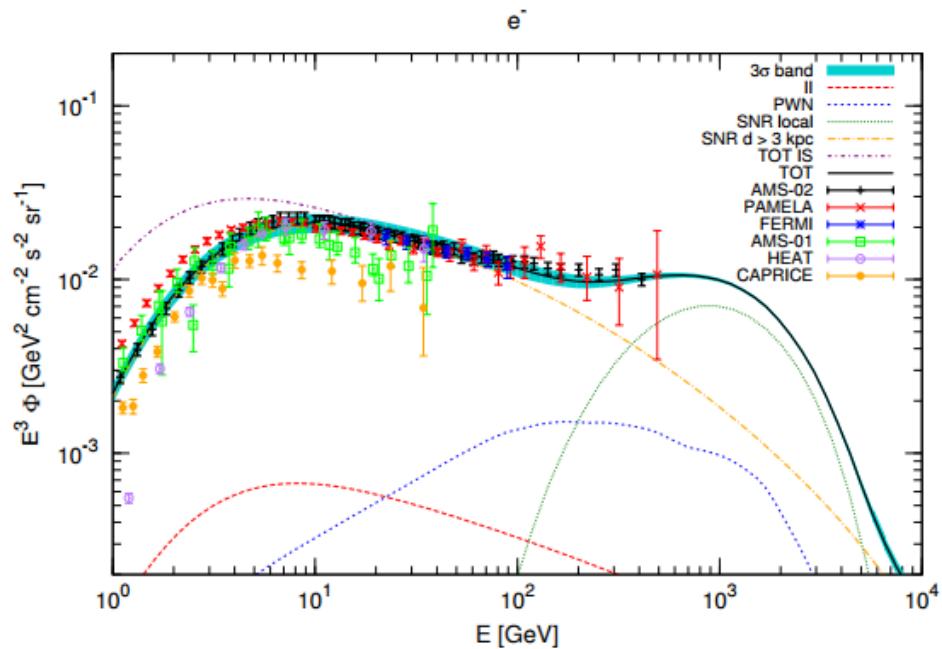
Soluciones tiempo dependiente



Flujos provenientes de primarios

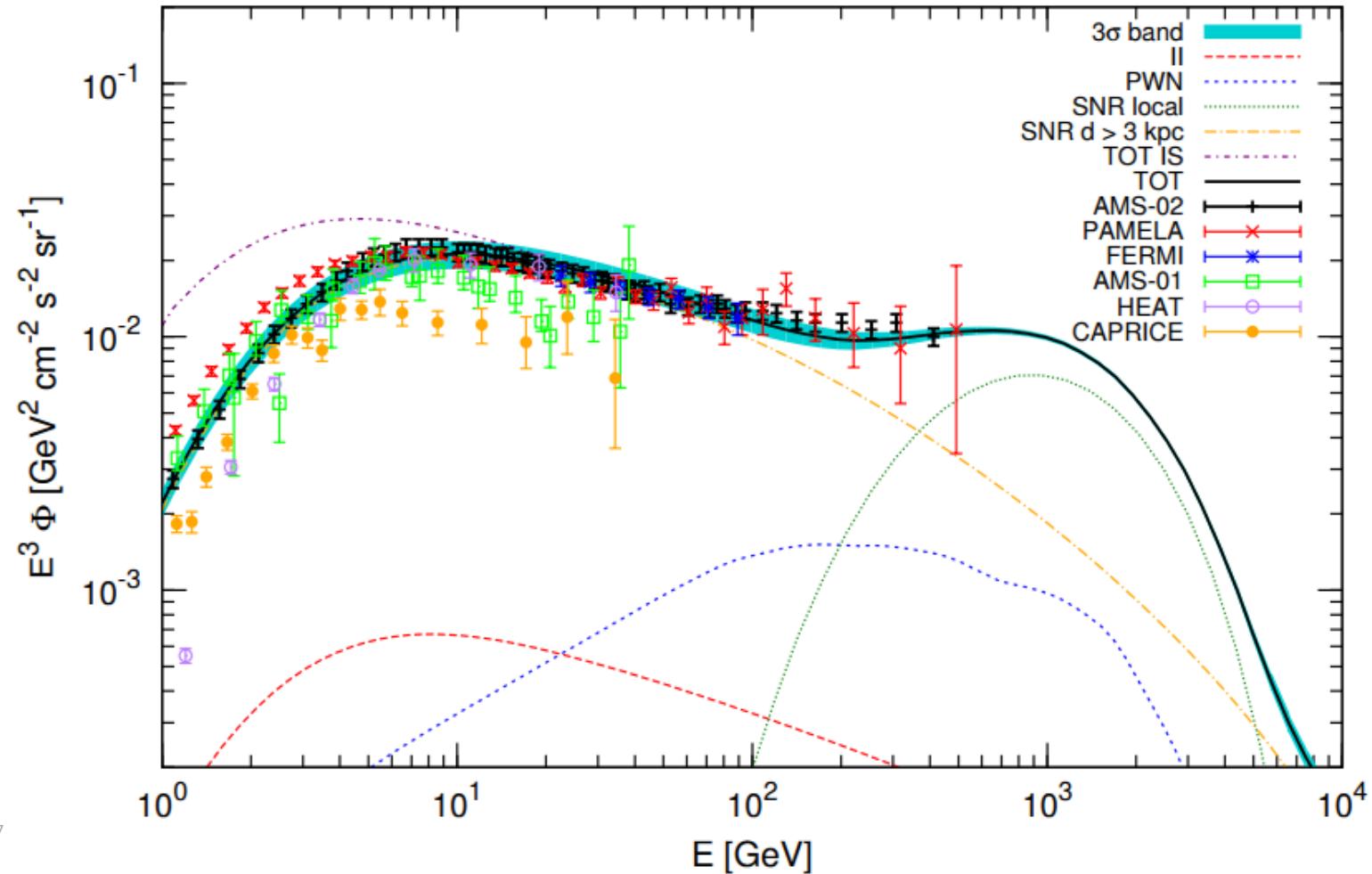


Flujos totales



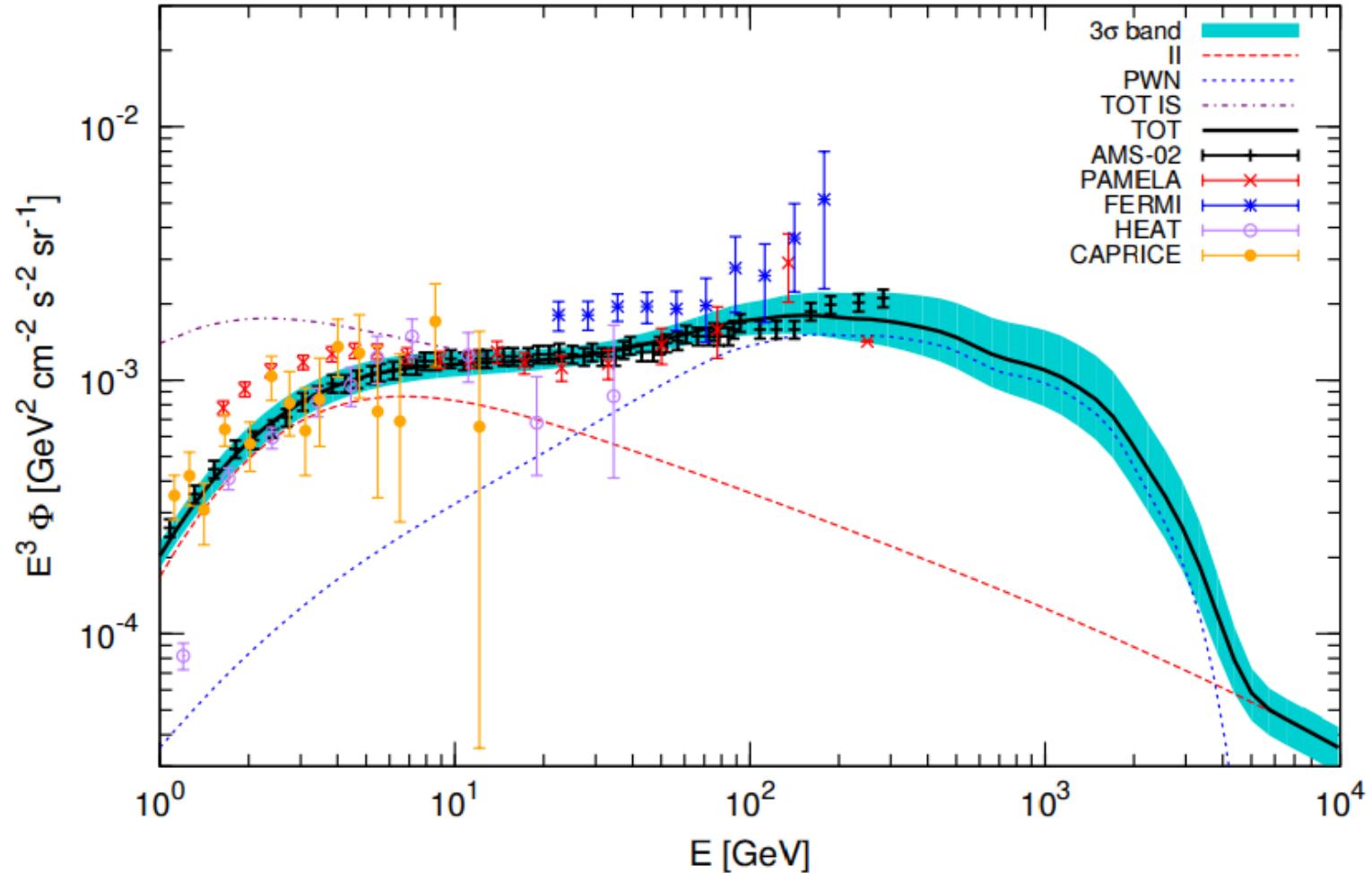
Flujos totales

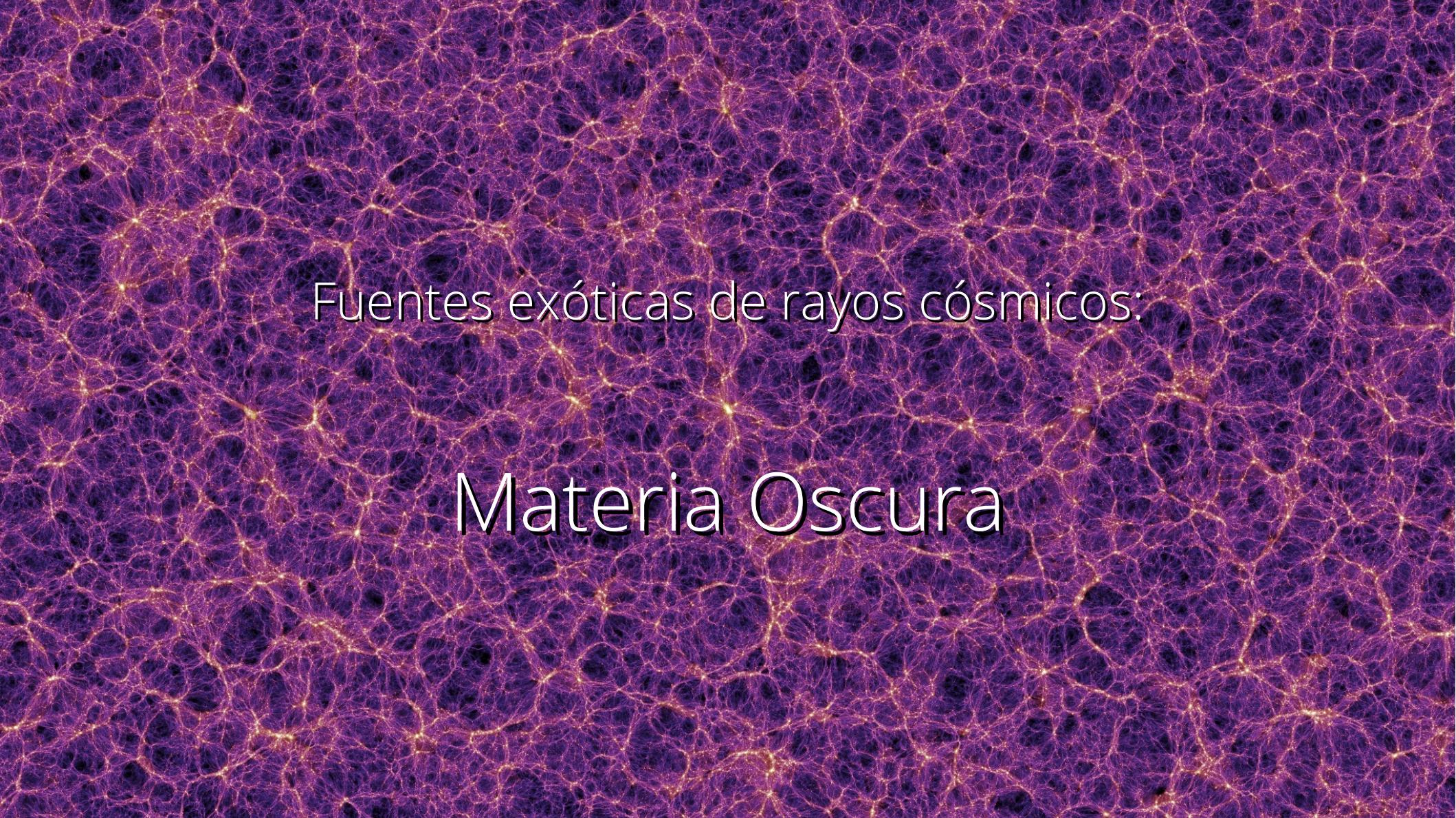
e^-



Flujos totales

e^+



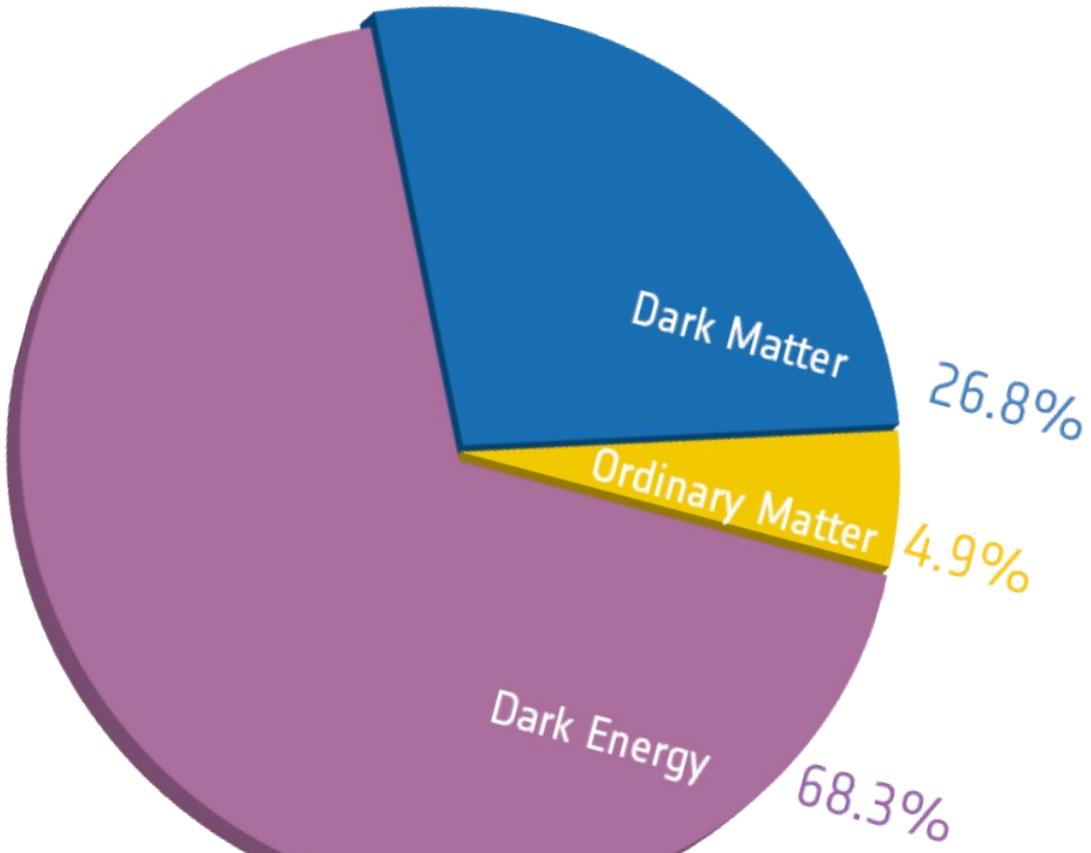


Fuentes exóticas de rayos cósmicos:
Materia Oscura



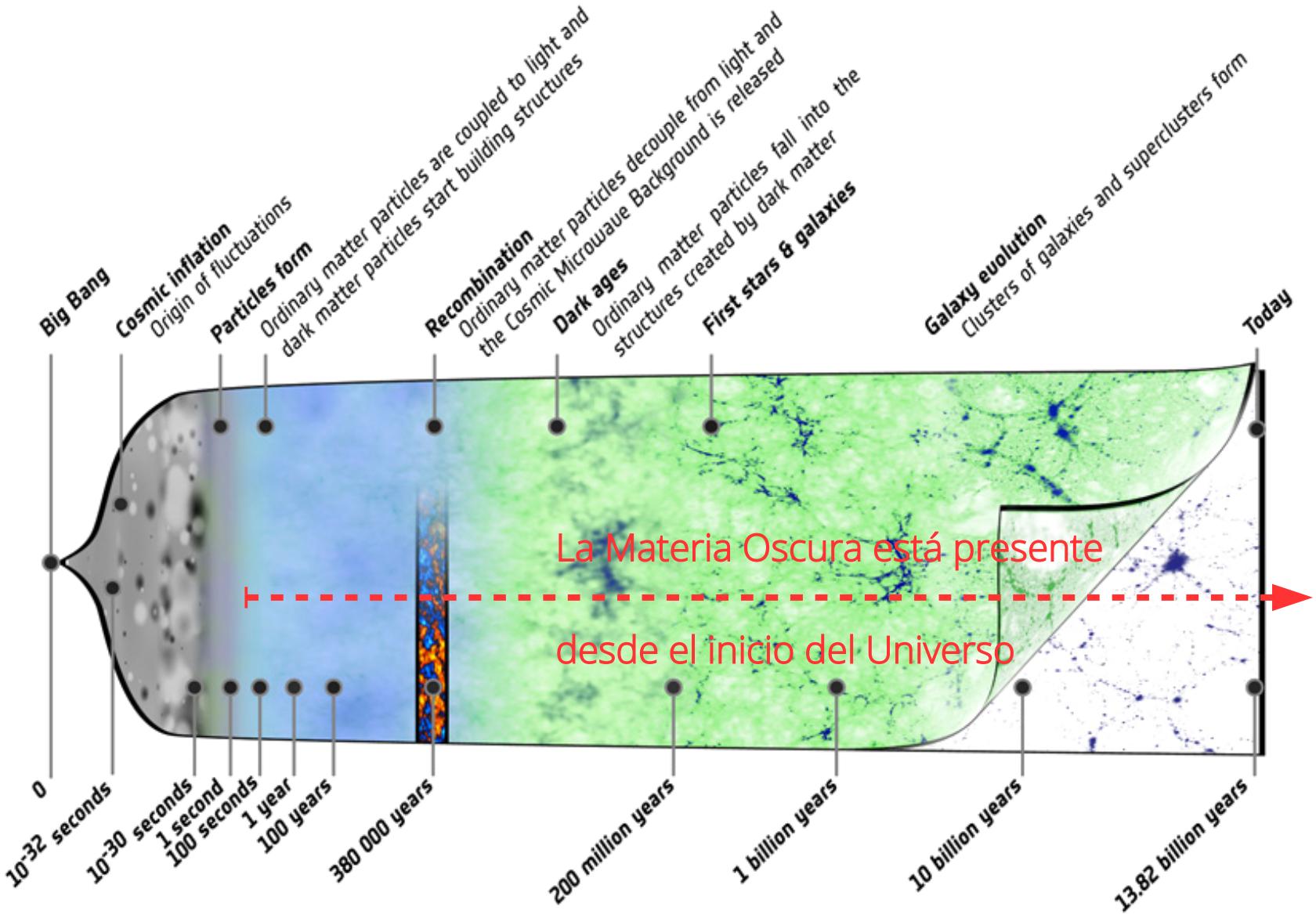
Introducción (muy rápida) a la materia oscura

Los ingredientes del Universo

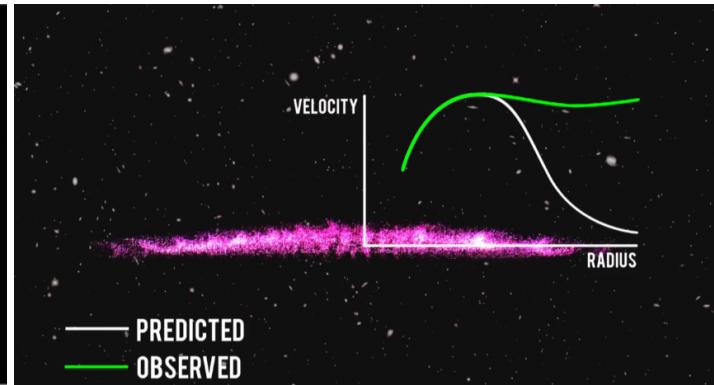
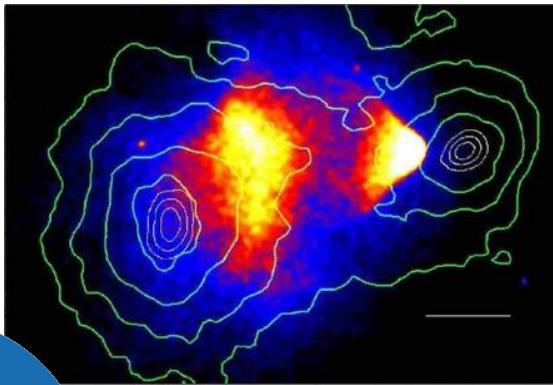
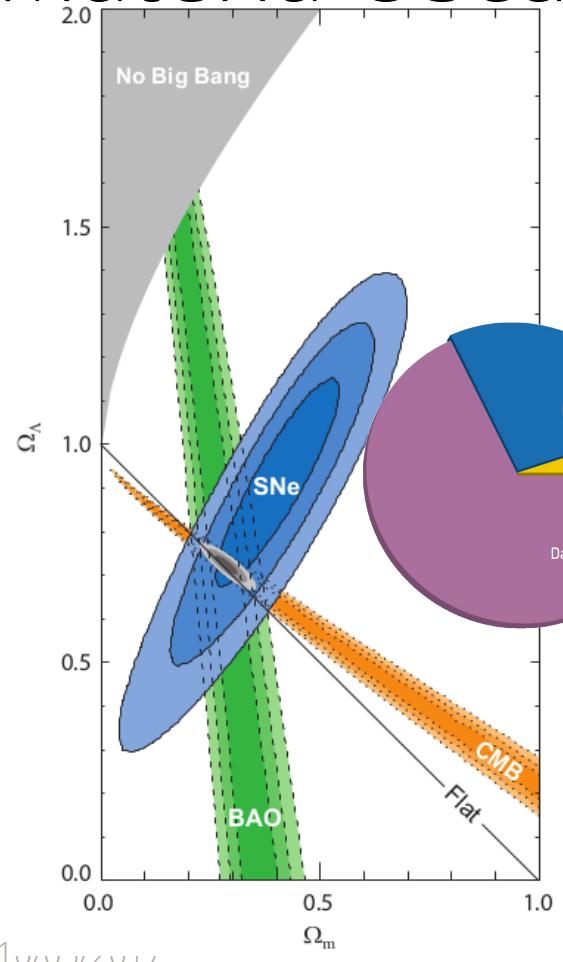


Los ingredientes del Universo





Materia Oscura

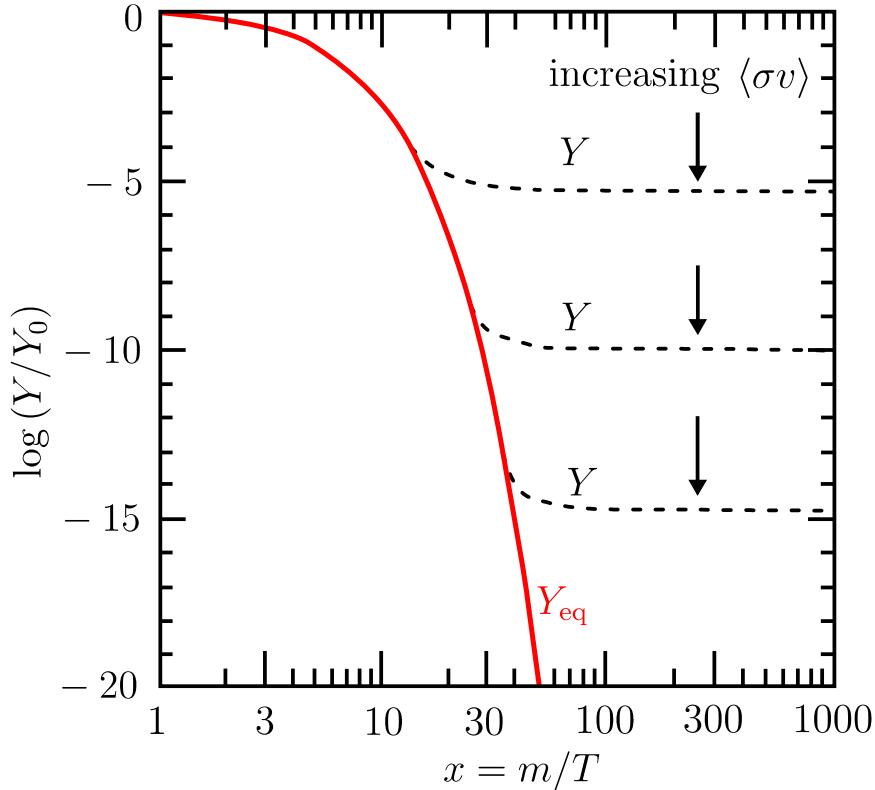


Observaciones que sustentan esta hipótesis:

- Dinámica de (cúmulos de) galaxias
- Formación de estructuras
- Anisotropías del CMB
- Oscilación Acústica de Bariones

$$\Omega_{\text{DM}} h^2 = 0.1196 \pm 0.0031$$

Matéria Oscura tipo WIMP



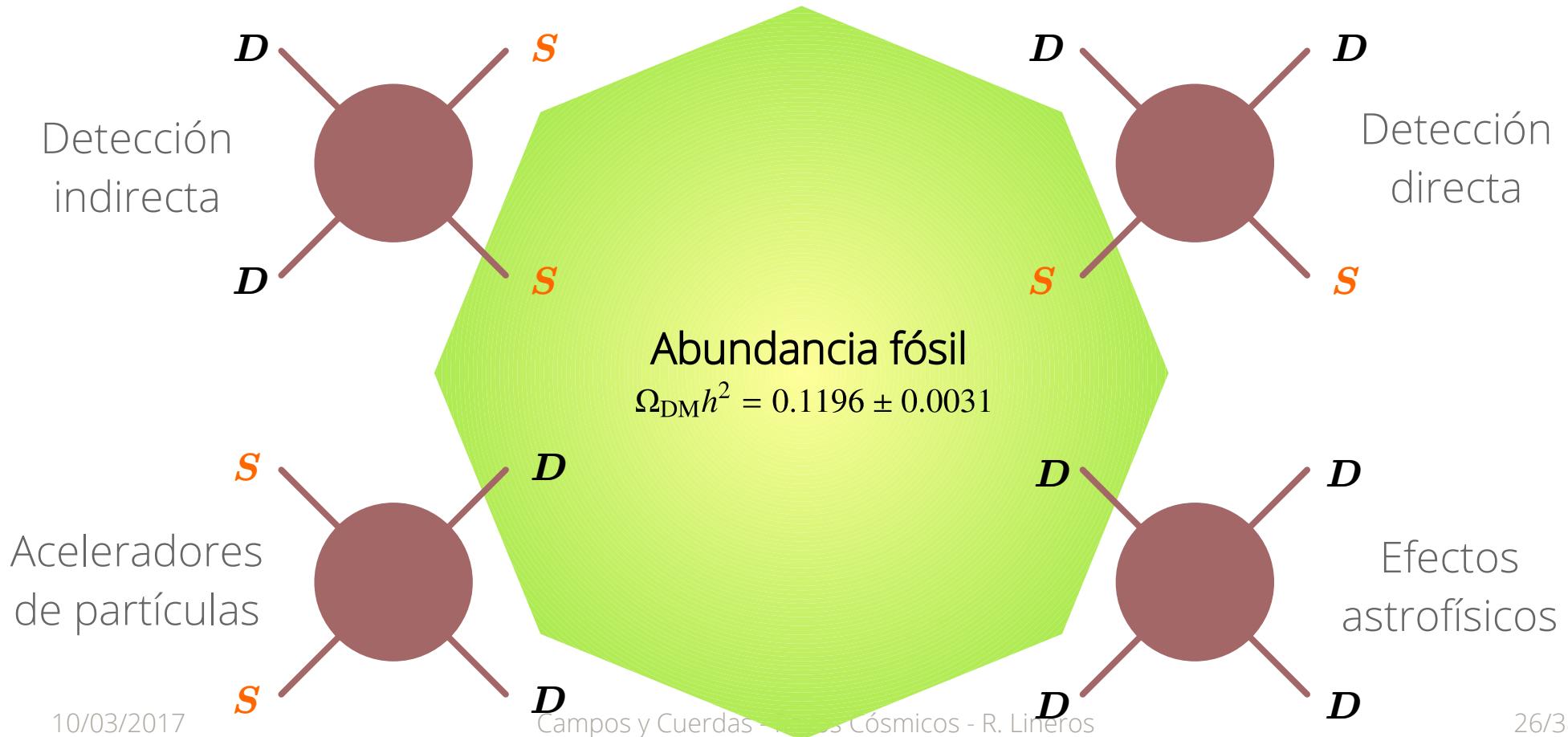
- Remanente **térmico** el Big Bang
- Abundancia **correcta** para
 $\langle\sigma v\rangle \sim 1 \text{ pb} \cdot c$
- Masa en el rango del **GeV-TeV**

Para WIMPs:
10/03/2017

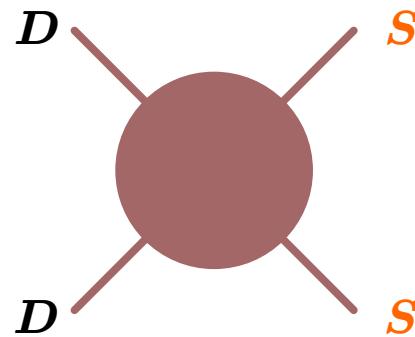
$$\Omega_{\text{DM}} h^2 \simeq 0.1 \frac{3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}}{\langle\sigma v\rangle_{\text{f.o.}}} \quad \text{Campos y Cuerdas - Rayos Ópticos - R. Lineros}$$

$$T_{\text{DM}}^{\text{f.o.}} \simeq \frac{1}{20} m_{\text{DM}} \quad 25/38$$

Búsquedas de Materia Oscura

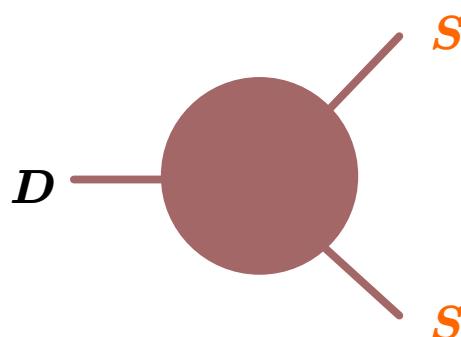


Matéria Oscura como fuente



Aniquilación

$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x})}{m_{\text{DM}}^2} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$



Desintegración

$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \frac{1}{\tau_{\text{DM}}} \frac{\rho_{\text{DM}}(\vec{x})}{m_{\text{DM}}} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$

Materia Oscura como fuente

Sección eficaz de aniquilación

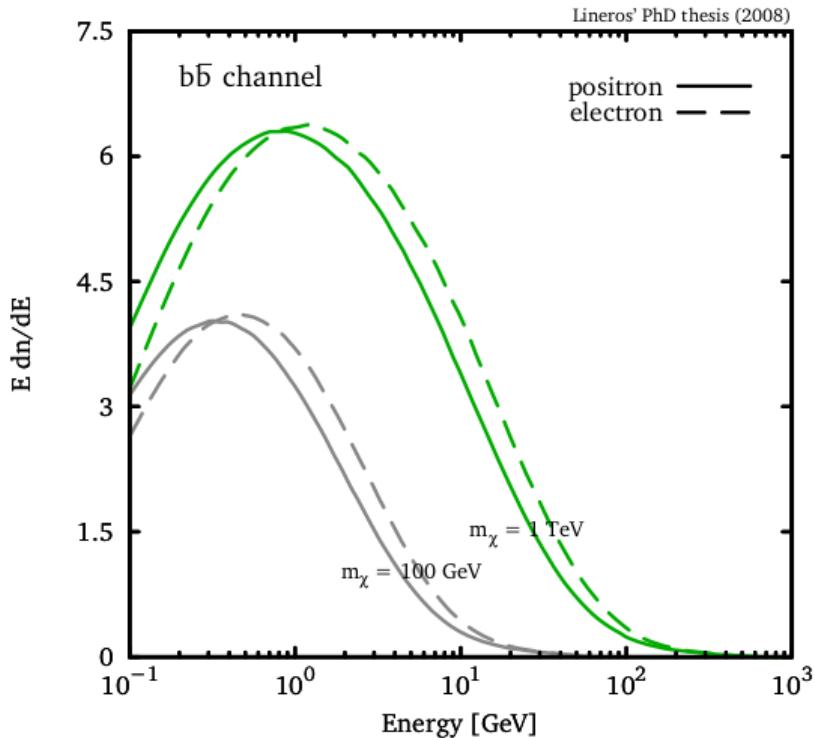
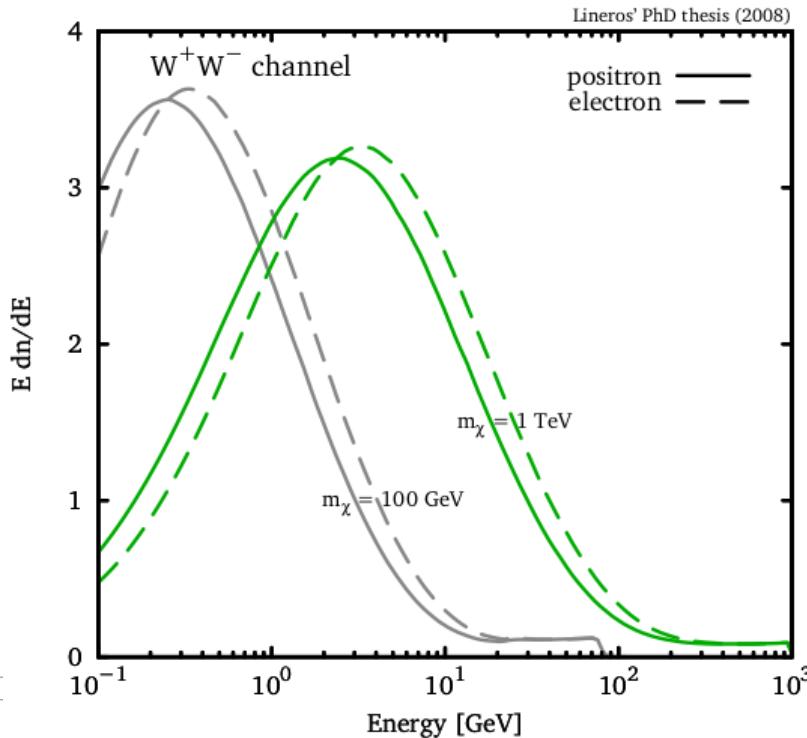
$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x})}{m_{\text{DM}}^2} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$

Espectro de emisión

Densidad de número

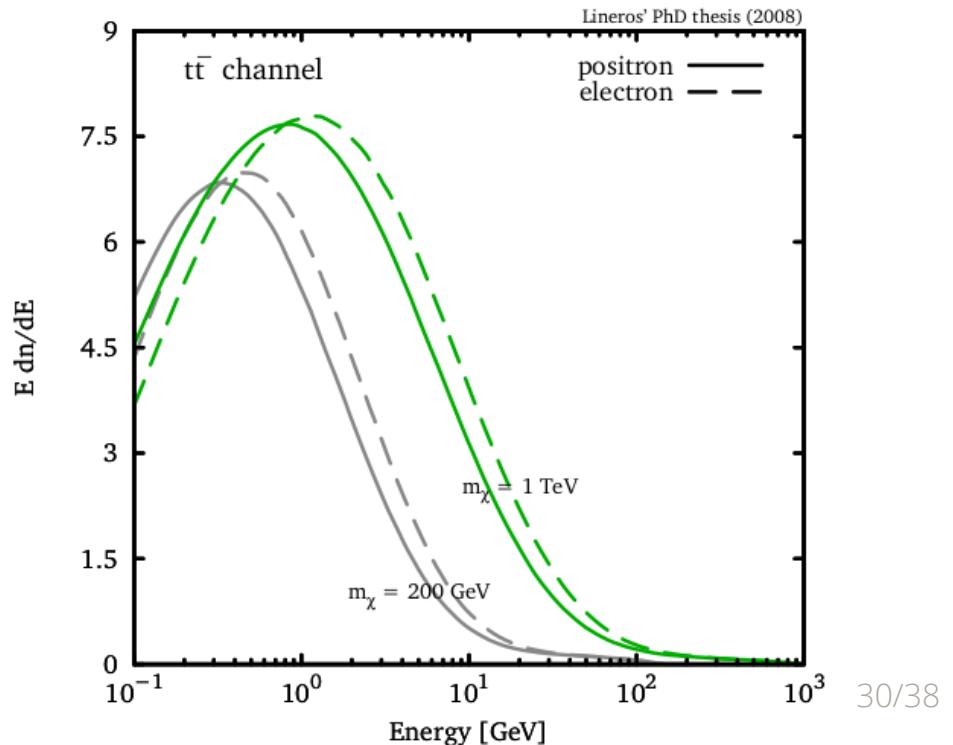
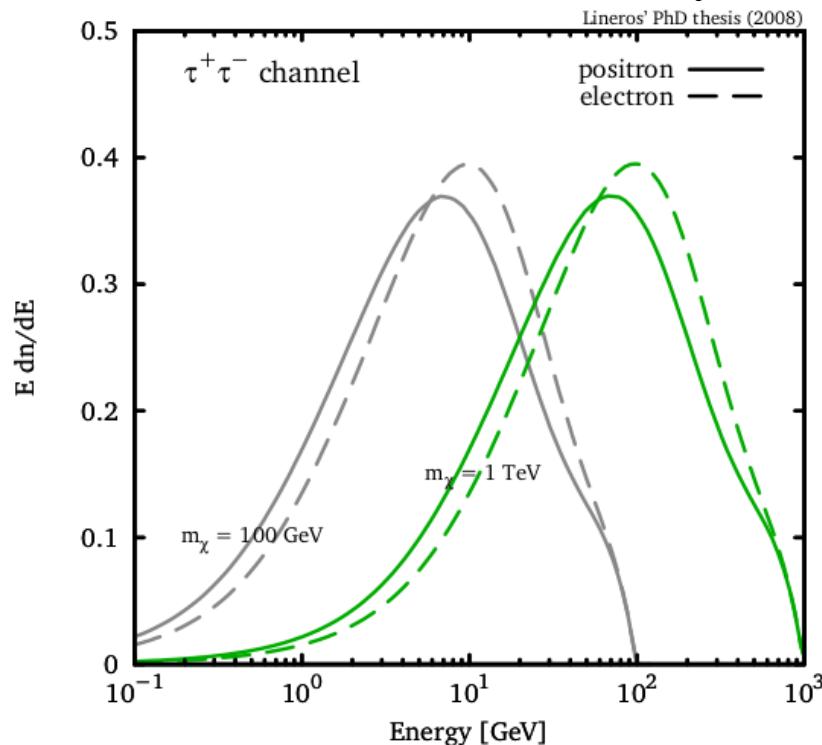
Materia Oscura como fuente

$$\frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon) = \sum_i Br(i \rightarrow X) \frac{dn_{iX}}{d\epsilon}(\epsilon)$$



Materia Oscura como fuente

$$\frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon) = \sum_i Br(i \rightarrow X) \frac{dn_{iX}}{d\epsilon}(\epsilon)$$



Solución de Ecuación de Transporte

La función de halo para la materia oscura a la posición de la Tierra:

$$\tilde{I}_\odot(\lambda) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n \text{ impar}}^{\infty} A_{i,n} J_0(k_{r,i} r_\odot) \exp\left(-\frac{1}{4} g_{i,n}^2 \lambda^2\right)$$

Donde:

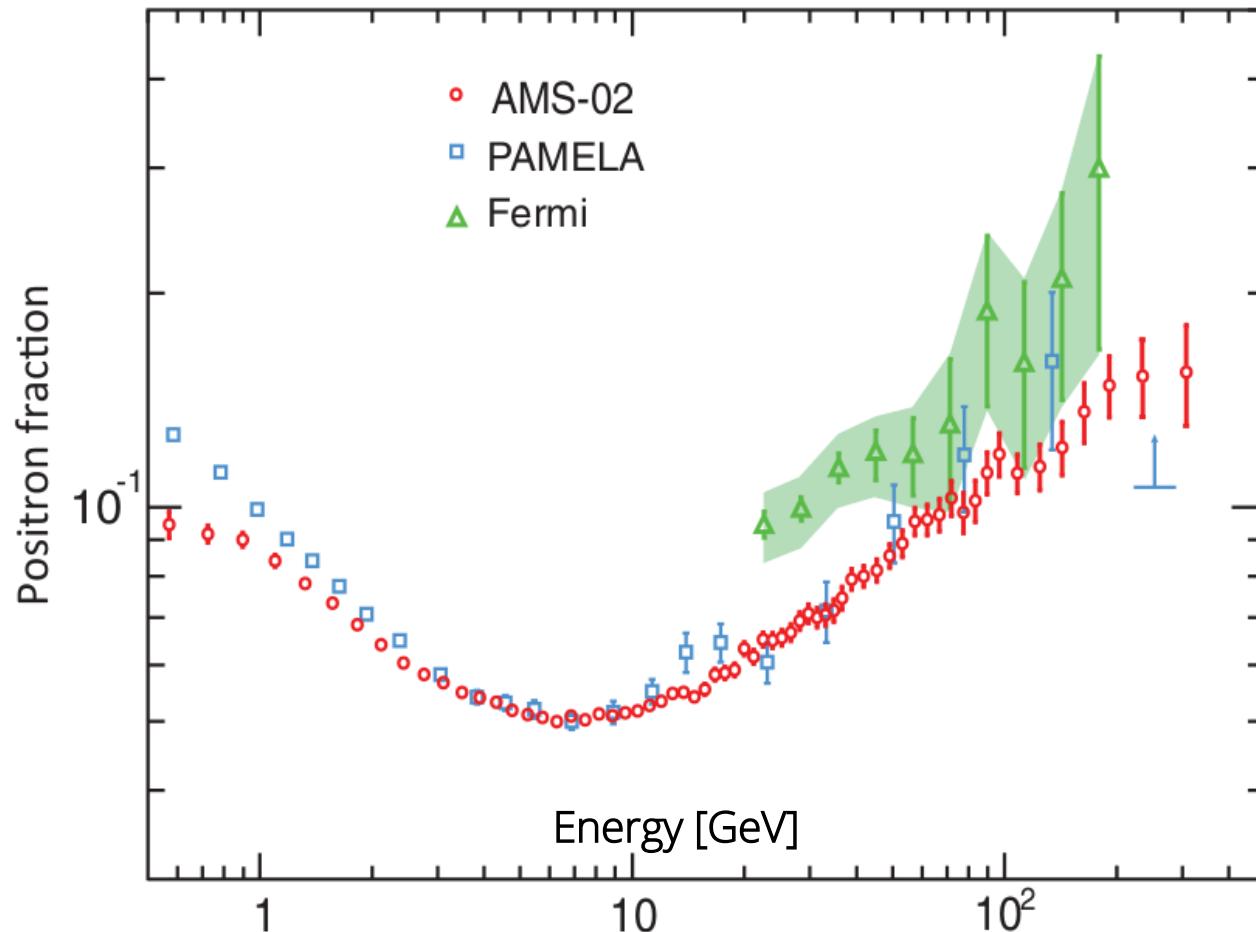
$$A_{i,n} = \frac{2}{L_z R^2 J_1(k_{r,i} R)} \int_0^R r dr \int_{-L}^L dz f(r, z) J_0(k_{r,i} r) \cos(k_{z,n} z)$$

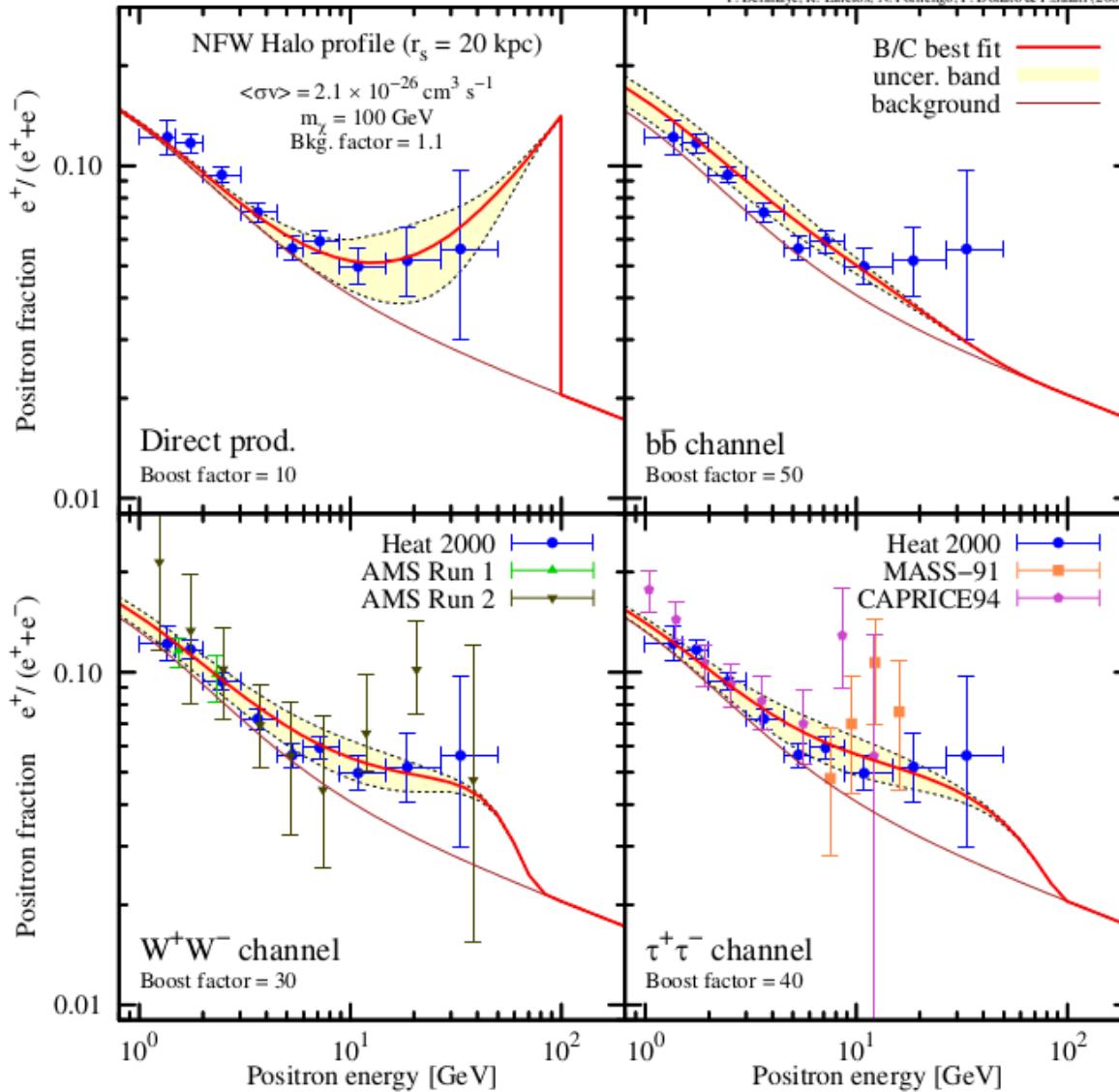
$$f(r_\odot, z_\odot) = 1 \quad k_{r,i} = \frac{\alpha_{0,i}}{R} \quad k_{z,n} = \frac{n\pi}{2L}$$

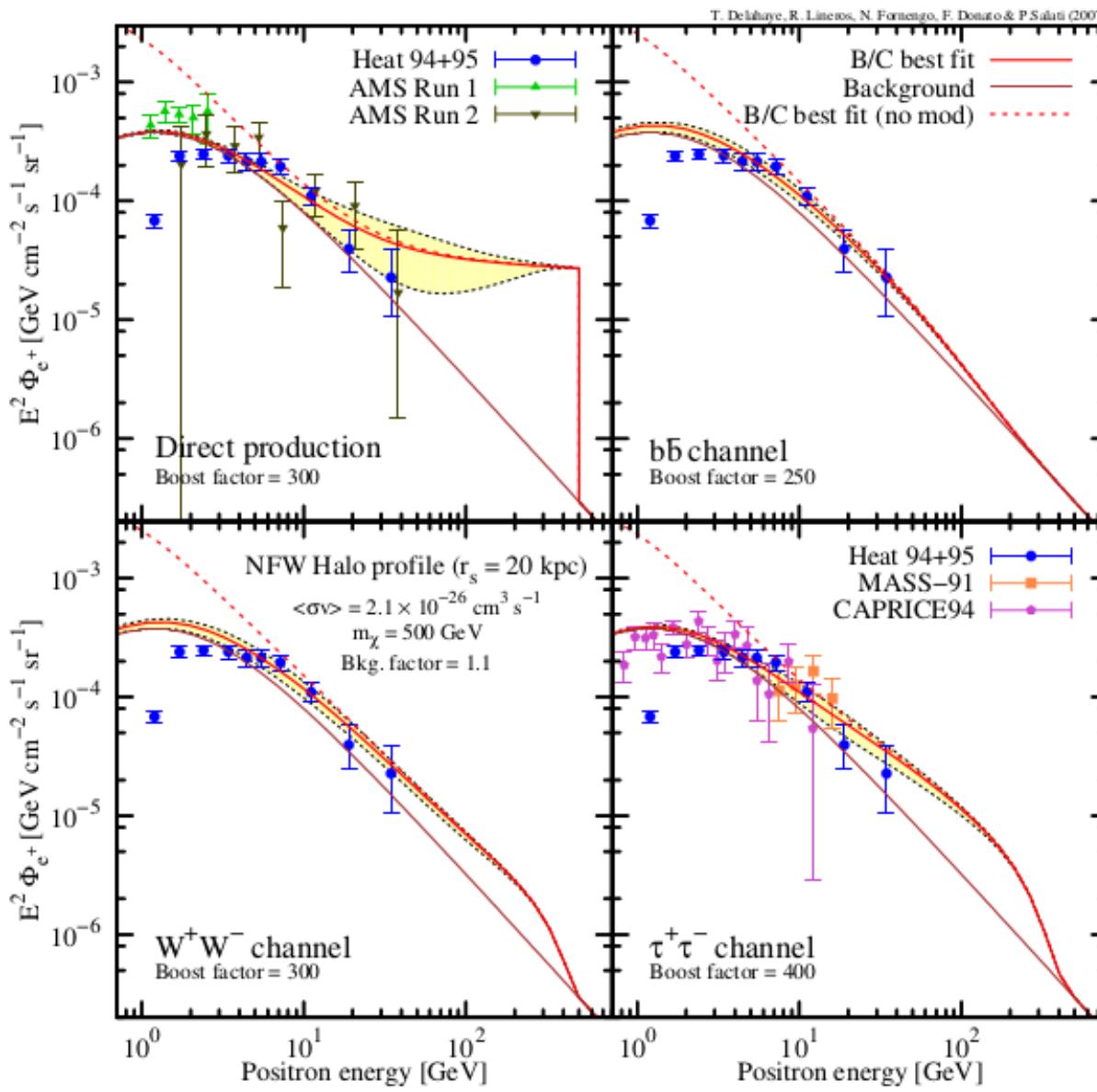
Y el flujo de electrones y positrones

$$\Phi_e(\epsilon) = \frac{\beta c}{4\pi} \left(\eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x}_\odot)}{m_{\text{DM}}^2} \right) \frac{1}{b_0 \epsilon^2} \int_\epsilon^\infty d\epsilon_s \frac{dn_e}{d\epsilon}(\epsilon_s) \tilde{I}_\odot(\lambda(\epsilon, \epsilon_s))$$

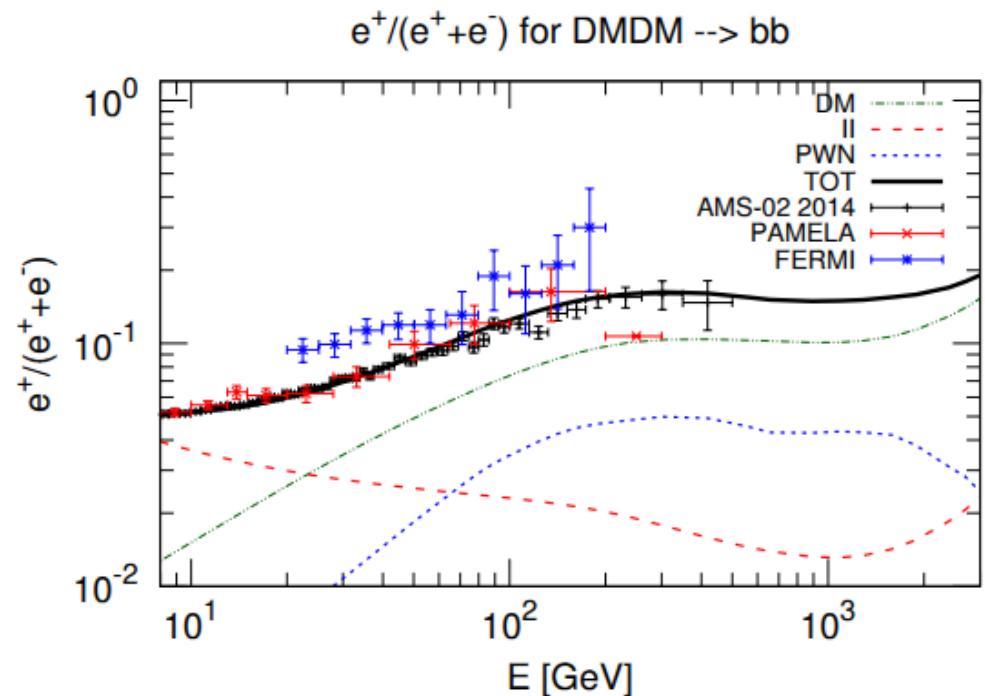
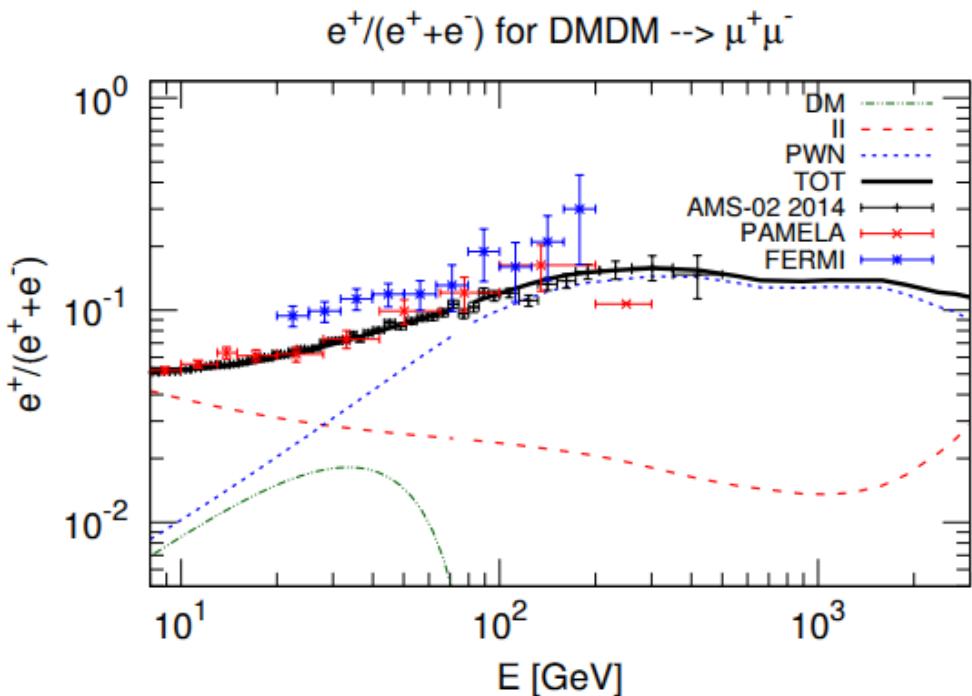
Buscando MO con positrones







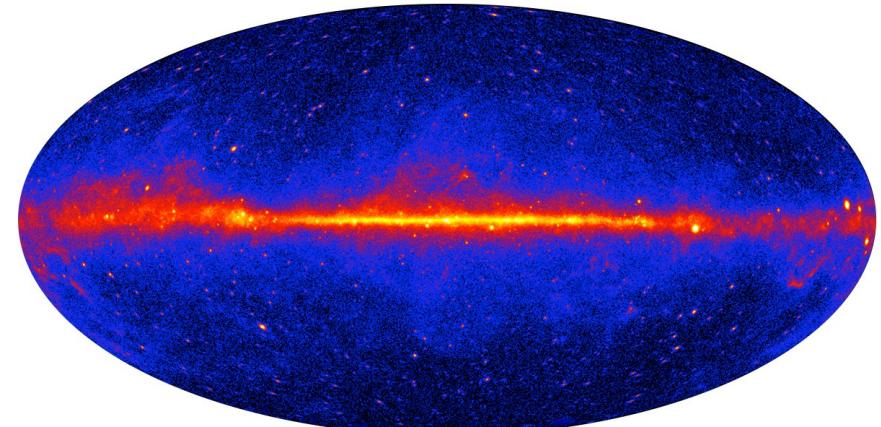
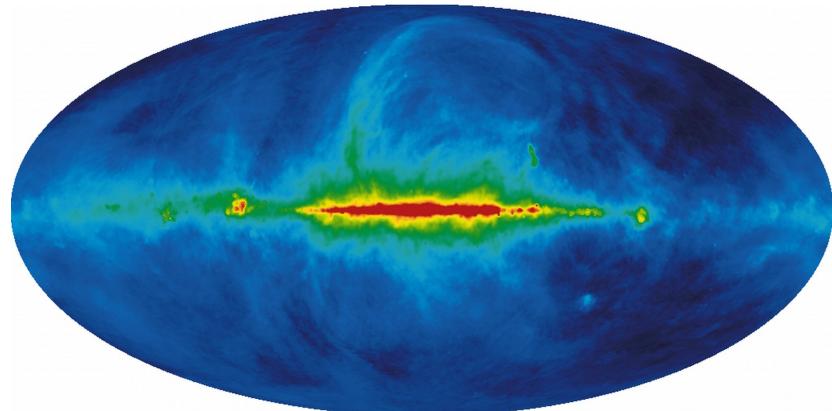
Ajustes de los flujos



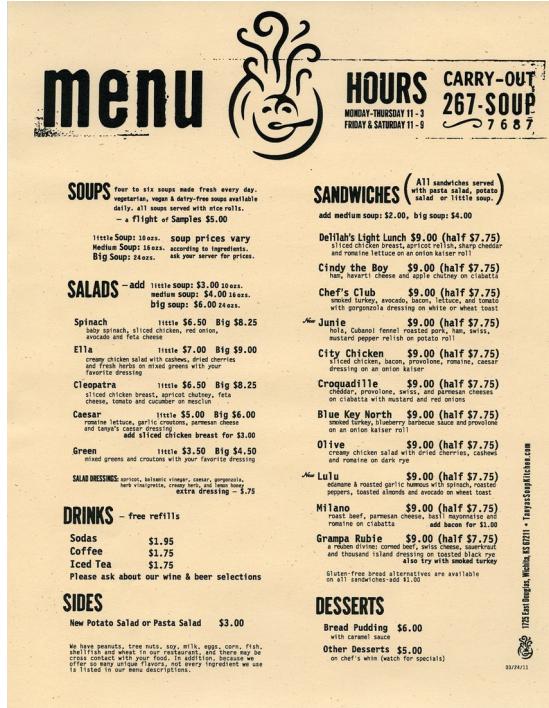
Di Mauro et al. arxiv:1507.07001

Otras señales por estudiar...

- Emisión Radio (Sincrotrón)
- Emisión Rayos X (Scattering Inverso de Compton)
- Emisión de Rayos Gamma (Scattering Inverso de Compton)



Lo que hemos visto:



- ¿Qué son los rayos cósmicos?
- Propagación de rayos cósmicos
- Fuentes astrofísicas
- Materia Oscura

Fin :)