

[RAYOS GAMMA PARA DESCIFRAR] EL LADO OSCURO DEL UNIVERSO

Miguel A. Sánchez Conde
[Investigador Senior 'Talento' Comunidad de Madrid]

Instituto de Física Teórica IFT UAM/CSIC & Departamento de Física Teórica
Universidad Autónoma de Madrid

Colegio Arturo Soria – Madrid, 29 de noviembre de 2021

¿cuál es mi historia?

BADAJOS



ALMENDRALEJO



BADAJOS



ESTOCOLMO



MADRID



TENERIFE



CALIFORNIA

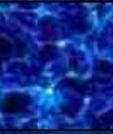


TENERIFE



GRANADA





[RAYOS GAMMA PARA DESCIFRAR] EL LADO OSCURO DEL UNIVERSO

Miguel A. Sánchez Conde
[Investigador Senior 'Talento' Comunidad de Madrid]

Instituto de Física Teórica IFT UAM/CSIC & Departamento de Física Teórica
Universidad Autónoma de Madrid

Colegio Arturo Soria – Madrid, 29 de noviembre de 2021



*"Qué es entonces esta bóveda azul, que ciertamente existe
y nos impide ver las estrellas durante el día"*

[Flammarion "L'Atmosphere: Météorologie Populaire" -- Paris, 1888]

Esto no es algo nuevo...



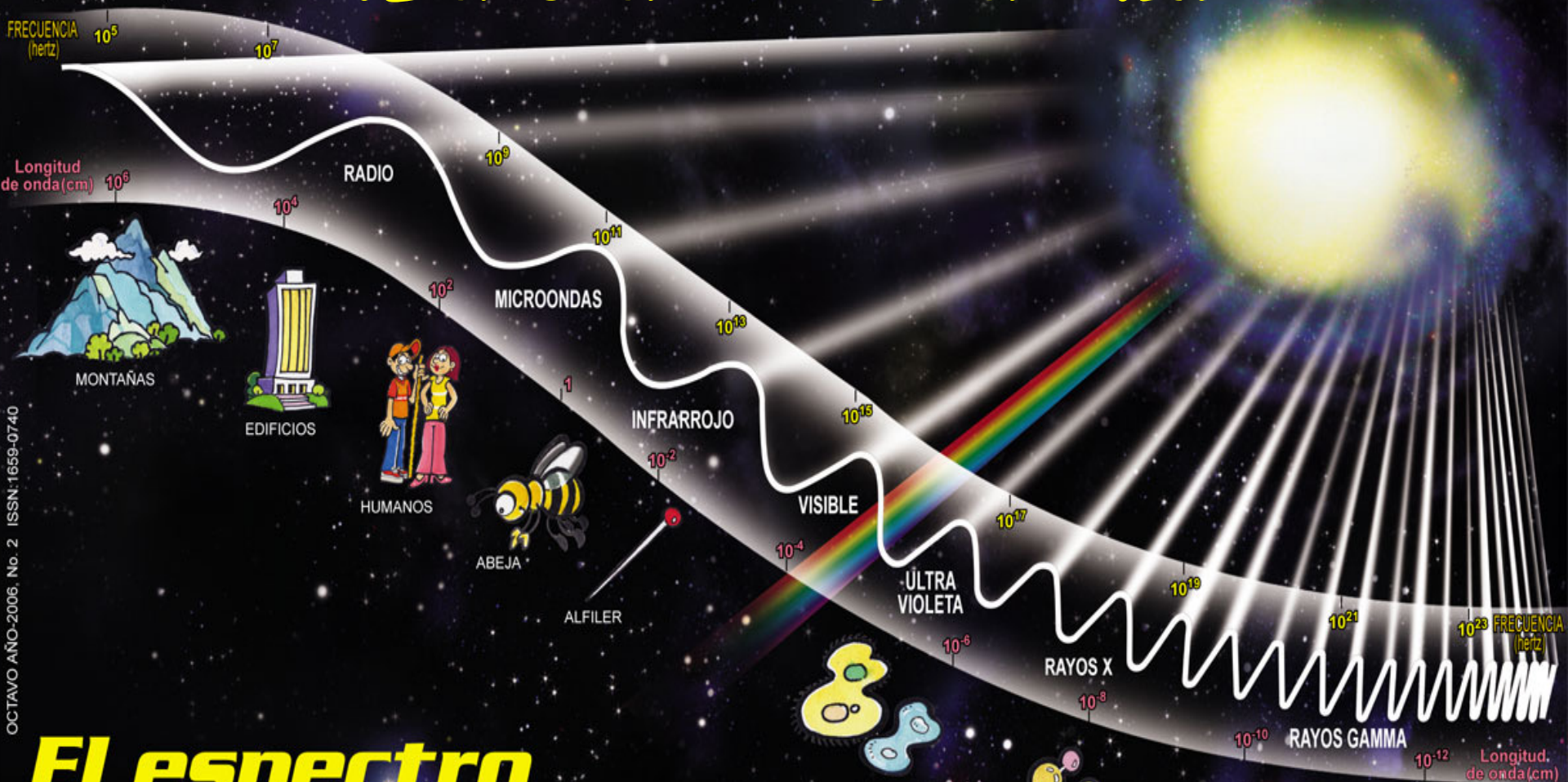
**... pero hemos hecho
algunos progresos últimamente**



Los astrofísicos
intentamos
conocer mejor el
Universo



¡La clave es la luz!



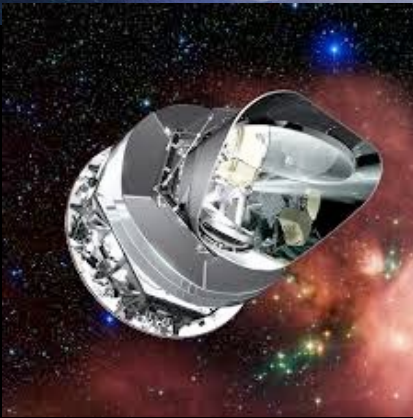
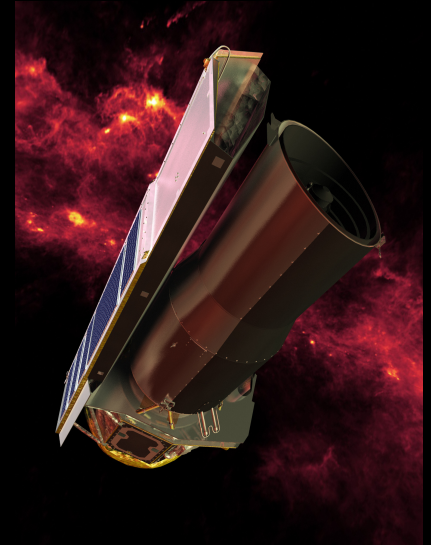
OCTAVO AÑO-2006, No. 2 ISSN: 1659-0740

El espectro electromagnético



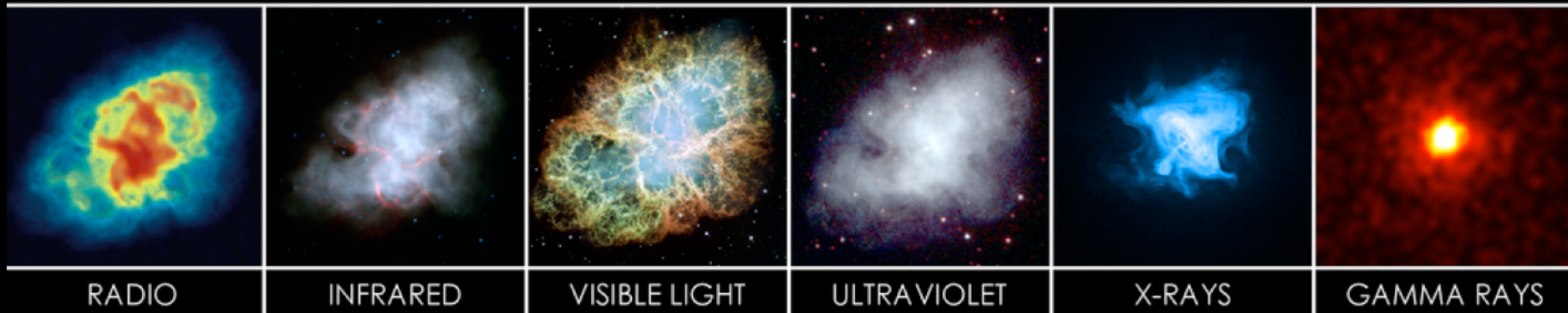
ESCALA

"Gafas" para todo tipo de luz ☺

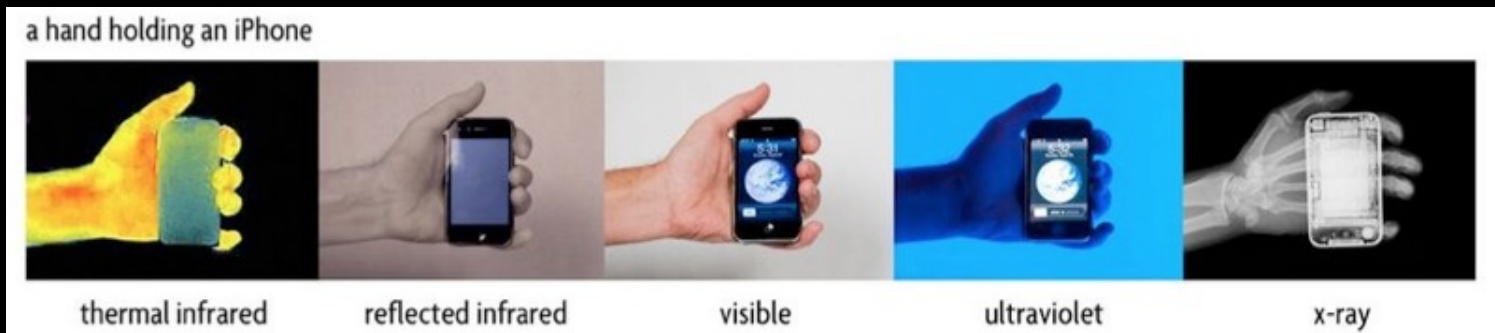


"Gafas" para todo tipo de luz ☺

CRAB NEBULA



Observando el mismo objeto a **distintas energías** obtenemos más información acerca de su **naturaleza** y los **procesos físicos** que en él operan.






Milky Way • Gamma Rays
Fermi/NASA

This image shows the Milky Way galaxy as a bright, horizontal band of light against a dark blue background, representing the emission of gamma rays.



Milky Way • X-Rays
ROSAT All Sky Survey

This image shows the Milky Way galaxy as a bright, horizontal band of light against a green background, representing the emission of X-rays.




Milky Way • Visible Light
DSS2/Wikisky

This image shows the Milky Way galaxy as a bright, horizontal band of light against a dark background, representing the emission of visible light.



Milky Way • Infrared
IRAS/NASA

This image shows the Milky Way galaxy as a bright, horizontal band of light against a dark orange background, representing the emission of infrared light.



Milky Way • Radio
Haslam et al

This image shows the Milky Way galaxy as a bright, horizontal band of light against a dark purple background, representing the emission of radio waves.

With which eyes do you observe the universe?

Pese a los progresos, quedan muchas incógnitas.

Hablaré de uno de los **misterios no resueltos** más grandes de nuestro tiempo.

Y de su **conexión** con los rayos gamma.

Todos los mundos...



Ocho en el Sistema Solar.

Más de 4.500 orbitando
alrededor de otras estrellas
(y subiendo).

A wide-field photograph of the night sky, showing a dense field of stars. The stars vary in color, including bright white and yellow stars, blue stars, and a prominent red star. The background is a dark, star-filled expanse, likely representing the Milky Way galaxy. A yellow text box is overlaid on the image.

Todas las estrellas...

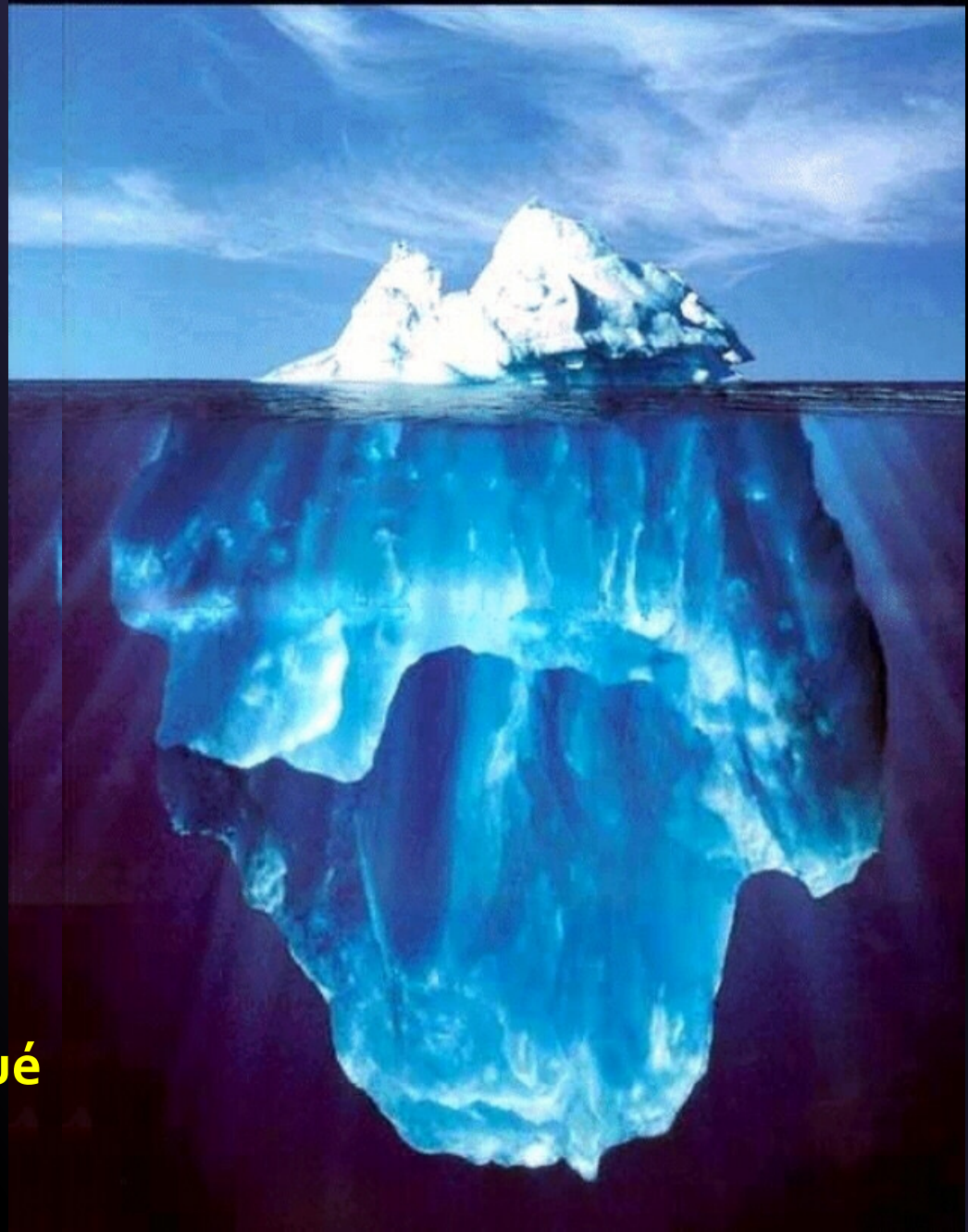
100.000 millones sólo en nuestra galaxia.

A deep-field image of the universe showing a vast field of galaxies. The galaxies are scattered across the frame, appearing in various shapes and colors, including yellow, orange, blue, and purple. Some are bright and clear, while others are faint and distant. The background is a dark, starry space.

Todas las galaxias...

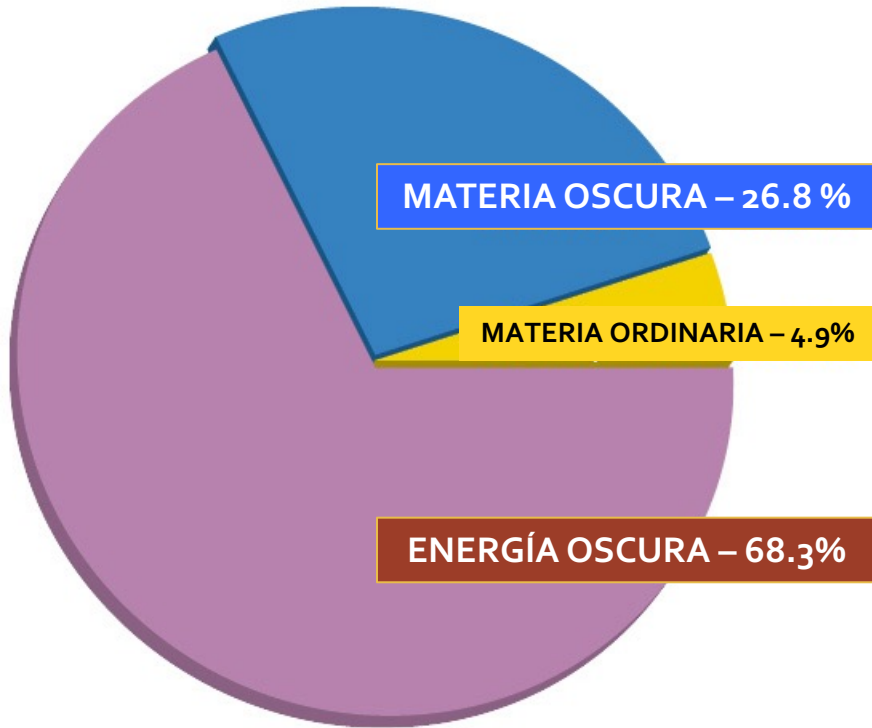
Miles de millones en el Universo observable.

Todo ello
representa sólo una
pequeña fracción
del Universo.

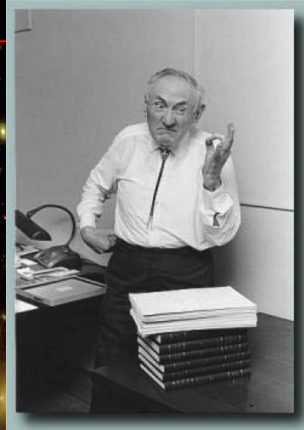


Y todavía no sabemos de qué
está constituido el resto.

El pastel cósmico



Primeras evidencias de materia oscura



Masa "invisible"
en la vecindad solar
[J. Oort 1932]

Las galaxias en el cúmulo de Coma se mueven a velocidades **demasiado** elevadas
[F. Zwicky, ~1933]

BULLETIN OF THE ASTRONOMICAL INSTITUTES OF THE NETHERLANDS.

1932 August 17

Volume VI.

No. 238.

COMMUNICATION FROM THE OBSERVATORY AT LEIDEN.

The force exerted by the stellar system in the direction perpendicular to the galactic plane and some related problems, by *J. H. Oort*.

Notations.

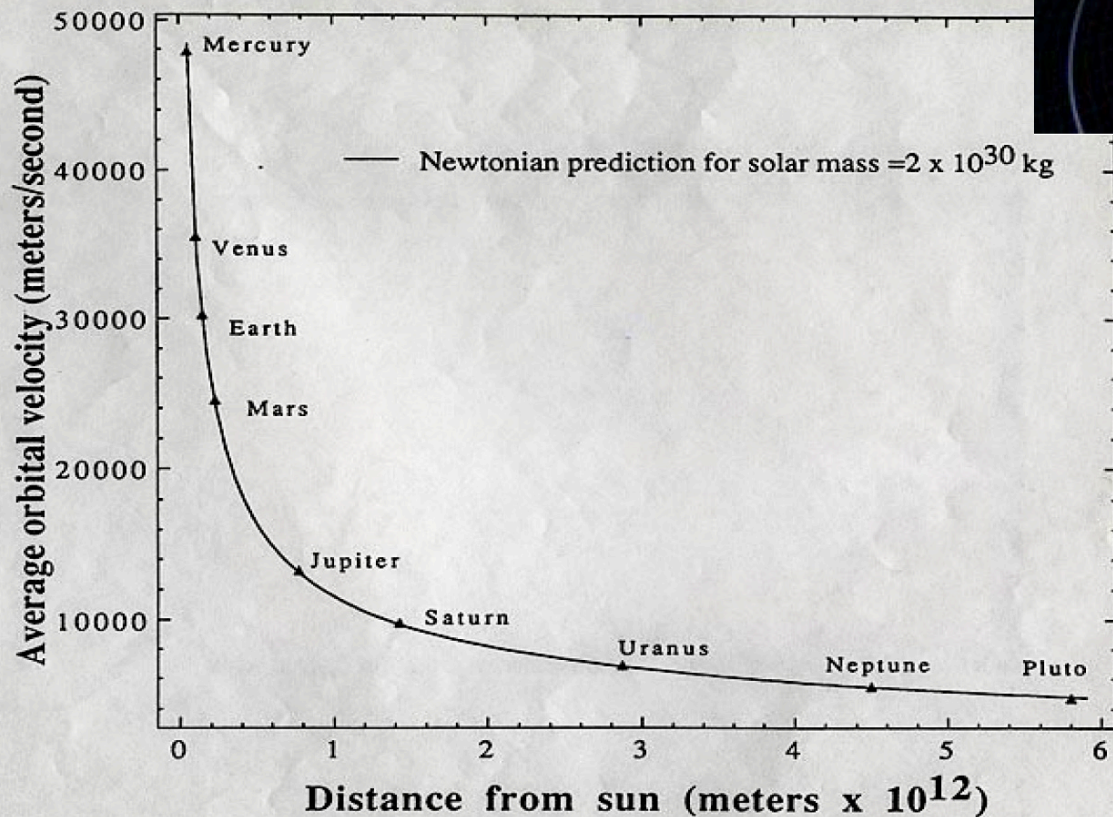
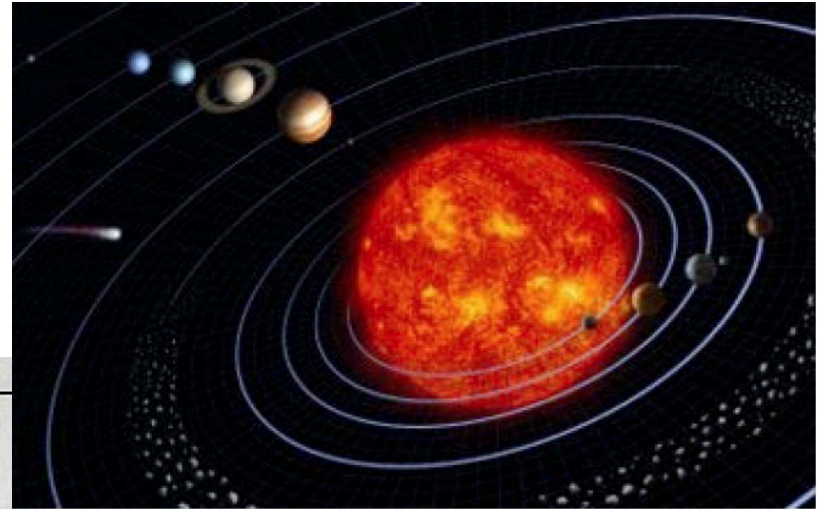
- z distance from the galactic plane,
- Z velocity component perpendicular to the galactic plane,
- Z_0 the value of Z for $z = 0$,
- l the modulus of a Gaussian component of the distribution of Z (formula (5), p. 253),
- $K(z)$ the acceleration in the direction of z ,
- Δ the star-density,
- ρ the distance of a star from the sun,
- $\Phi(M)$ the number of stars per cubic parsec between $M - \frac{1}{2}$ and $M + \frac{1}{2}$,
- $A(m)$ the number of stars per square degree between $m - \frac{1}{2}$ and $m + \frac{1}{2}$,
- b galactic latitude,
- ϖ distance to the axis of rotation of the galactic system,
- δ $\partial \log \Delta / \partial \varpi$.

4. From VAN RHIJN's tables in *Groningen Publication* No. 38 the density distribution $\Delta(z)$ has been computed for four intervals of visual absolute magnitude (Table 13 and Figure 1). Figures 2 and 3 show $\log \Delta(z)$ for A stars and yellow giants, as derived by LINDBLAD and PETERSSON.

5. With the aid of the data contained in the two preceding sections I have computed the acceleration $K(z)$ between $z = 0$ and $z = 600$. The computations were made by successive approximations; the B stars were eliminated first. The results are in Table 14 and Figure 4, $K'(z)$ giving the values finally adopted. The good agreement between the practically independent values of $K(z)$ derived from the separate absolute magnitude groups is a strong argument in favour of the approximate correctness of the data up to $z = 400$. The result may be summarized by stating that the absolute value of $K(z)$ increases proportionally with z from $z = 0$ to $z = 200$; between $z = 200$ and $z = 500$ it remains practically constant and equal to $3.8 \cdot 10^{-9}$.

Uso del movimiento para medir la masa

Viejo argumento muy usado en Astrofísica



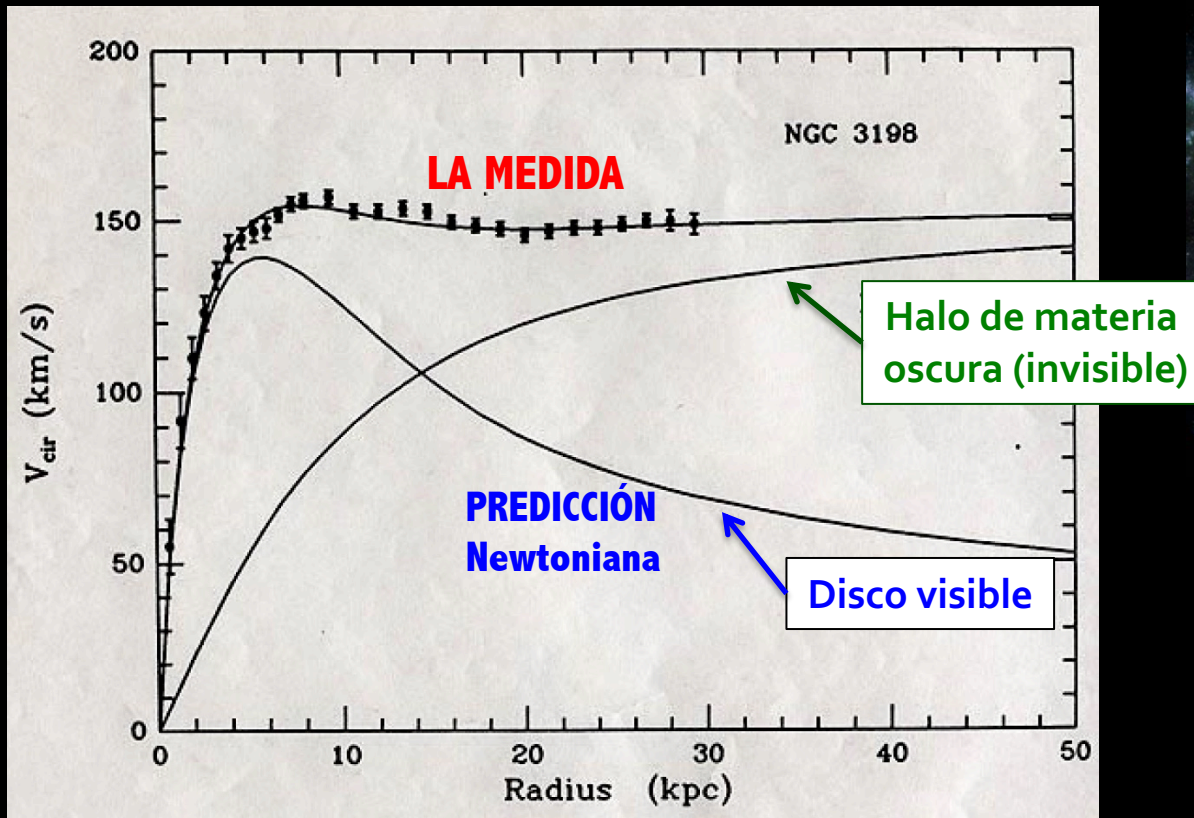
Fuerza gravitación fuerza centrífuga

$$G \frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$M(R) = \frac{V_{\text{rot}}^2 R}{G}$$

Rotación de galaxias espirales

La velocidad de rotación de galaxias espirales requiere una gran cantidad de materia (no visible) en las partes externas de estas galaxias.





(ALGUNAS DE LAS) EVIDENCIAS OBSERVACIONALES DE MATERIA OSCURA

Existen evidencias a todas las escalas.

Escalas galácticas

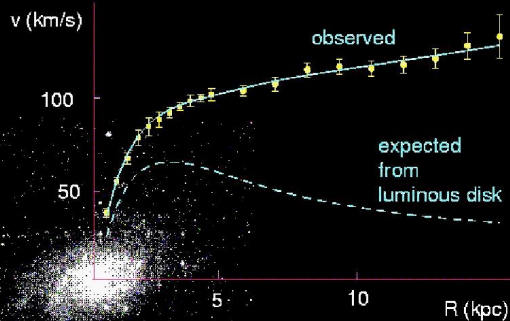
- a) Curvas de rotación de galaxias.
- b) Lente gravitacional débil.
- c) Dispersión de velocidades de galaxias satélites.
- d) Dispersión de velocidades dentro de galaxias enanas.

Cúmulos de galaxias

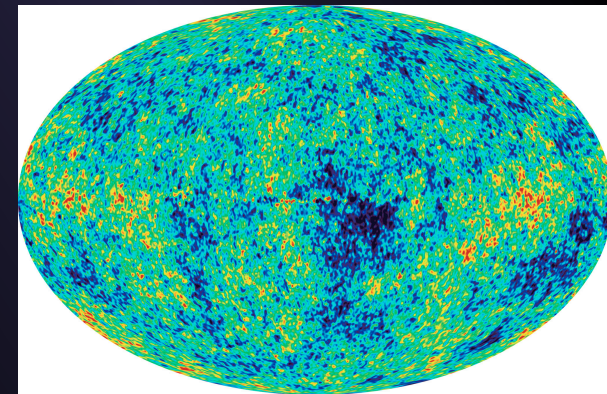
- a) Dispersión de velocidades de galaxias individuales.
- b) Lente gravitacional débil y fuerte.
- c) Flujos de velocidades peculiares.
- d) Emisión en rayos X.

Escalas cosmológicas

- a) Anisotropías CMB
- b) Formación de estructuras
- c) Distribución a gran escala
- d) Oscilaciones acústicas de bariones.
- e) Efecto Sunyaev-Zeldovich



M33 rotation curve



¿De qué podría estar hecha la materia oscura?

La mayor parte de la materia oscura en el Universo no puede estar hecha de átomos.

- Sin candidato viable en el 'Modelo Estándar' de Física de Partículas.
 - ✓ Los neutrinos son demasiado ligeros.
- Un montón de candidatos **más allá del Modelo Estándar** (sólo teorías)

Propiedades

- 1) Oscura.
- 2) Neutra.
- 3) Estable.
- 4) "Fría".
- 5) 5 veces más abundante que la materia ordinaria.

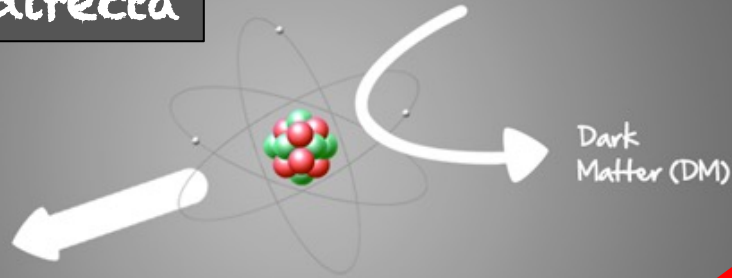


Búsquedas de materia oscura

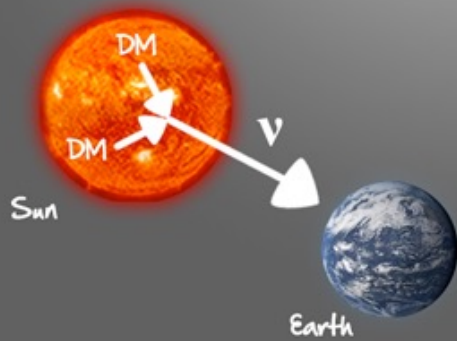


Estrategias de búsqueda de materia oscura

Detección directa

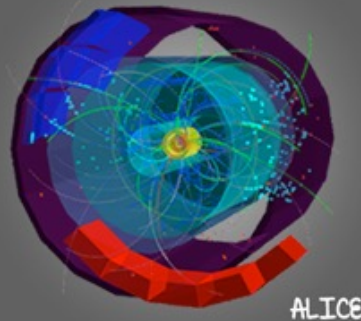


Detección indirecta

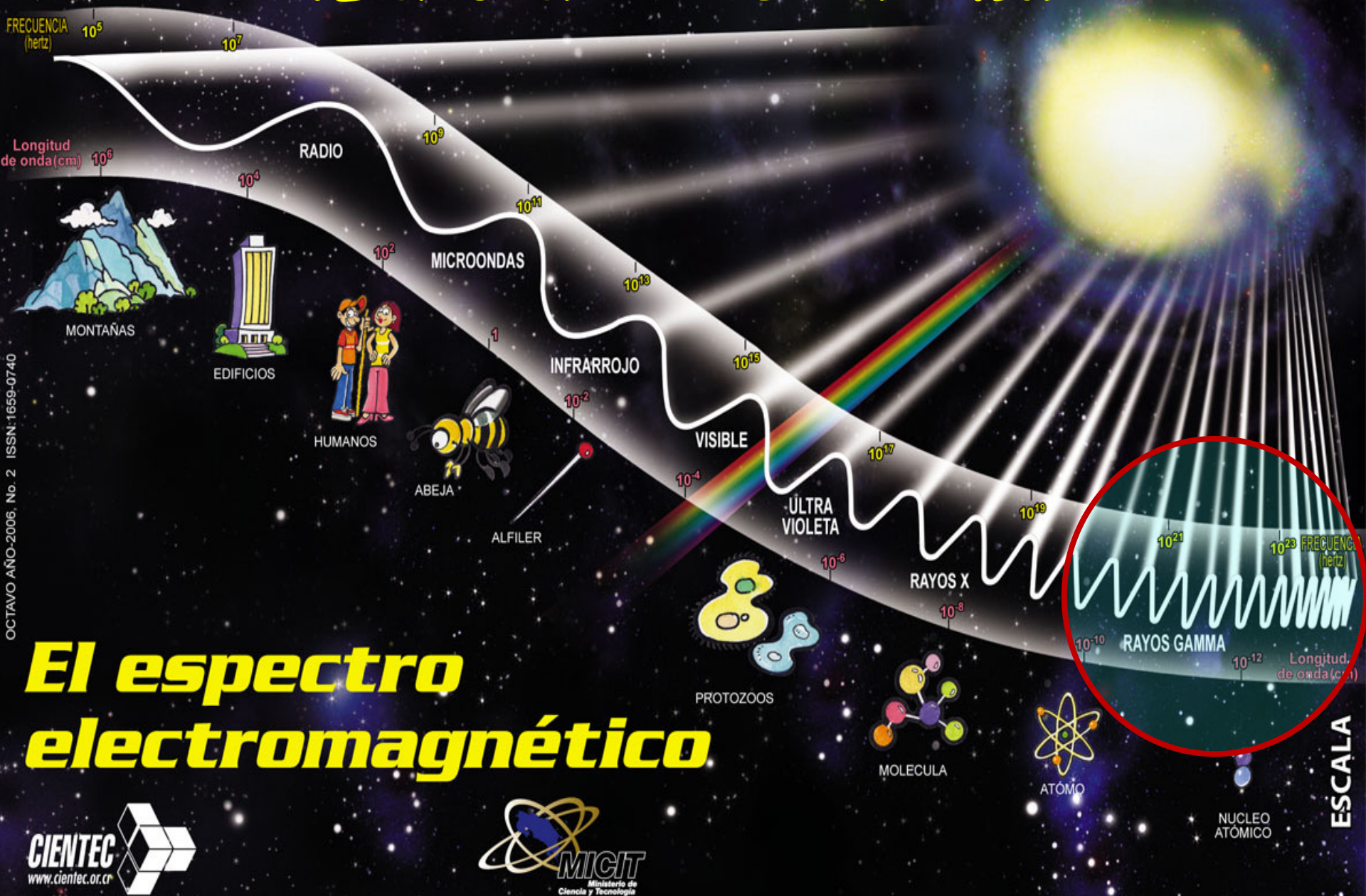


Los rayos gamma son uno de los productos de aniquilación de la materia oscura

Producción directa en el LHC



¡La clave es la luz!



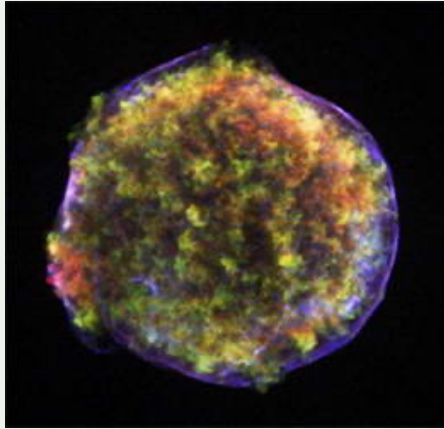
OCTAVO AÑO-2006, No. 2 ISSN: 1659-0740

El espectro electromagnético



ESCALA

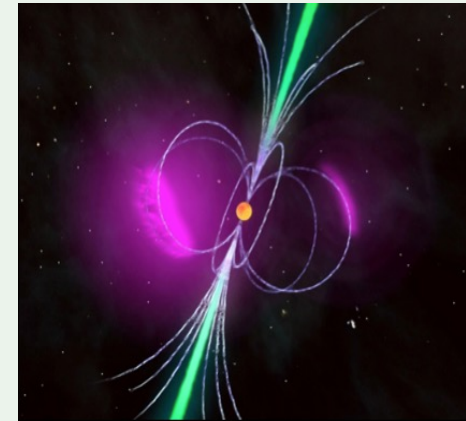
¿Qué fenómenos producen rayos gamma?



Explosiones



Acreción



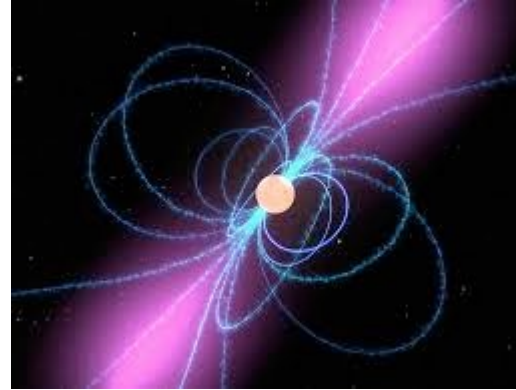
Campos magnéticos
muy intensos

**LAS FUENTES ASTROFÍSICAS
MÁS ENERGÉTICAS Y 'VIOLENTAS'**

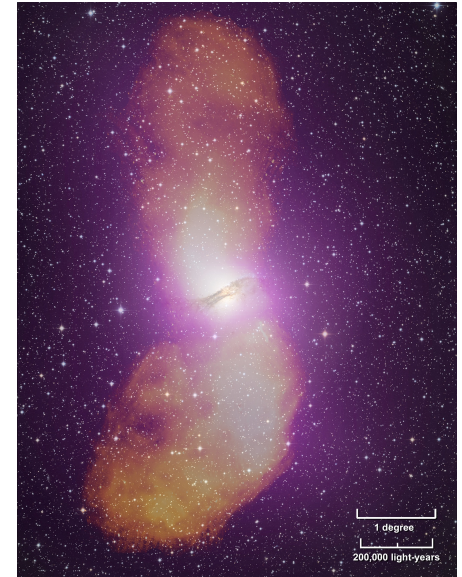
El "bestiario" de los rayos gamma



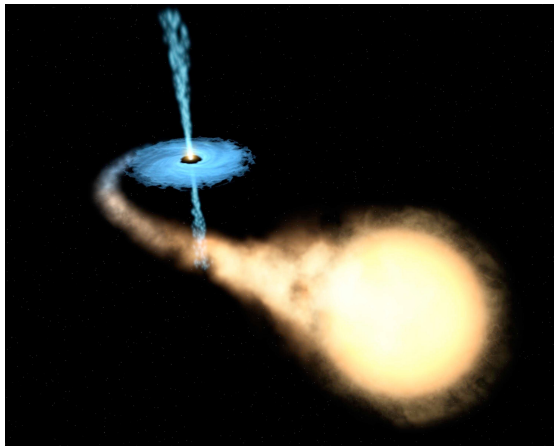
Agujeros negros



Púlsares



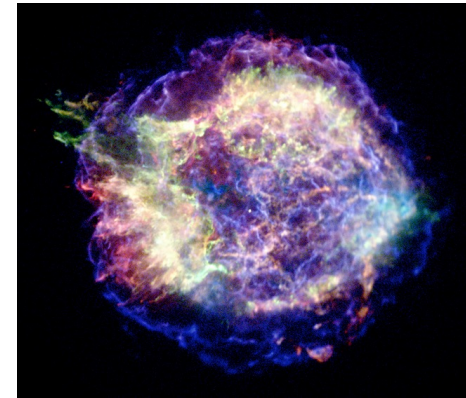
Radio galaxias



Sistemas binarios



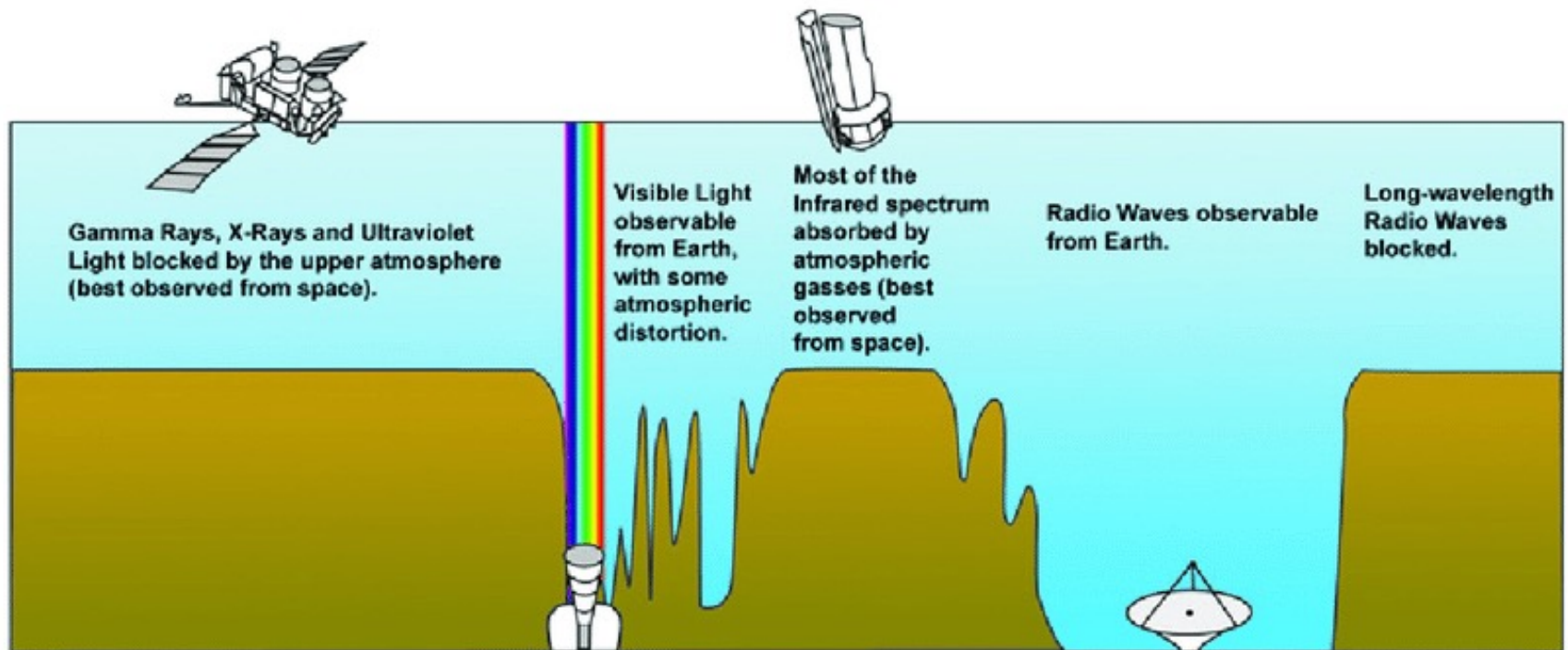
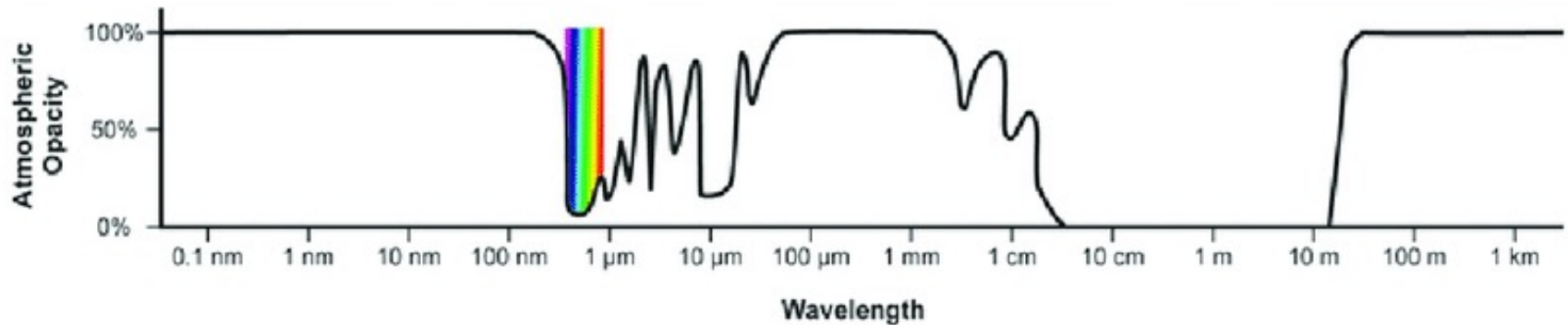
Galaxias con alta formación estelar



Remanentes de supernova

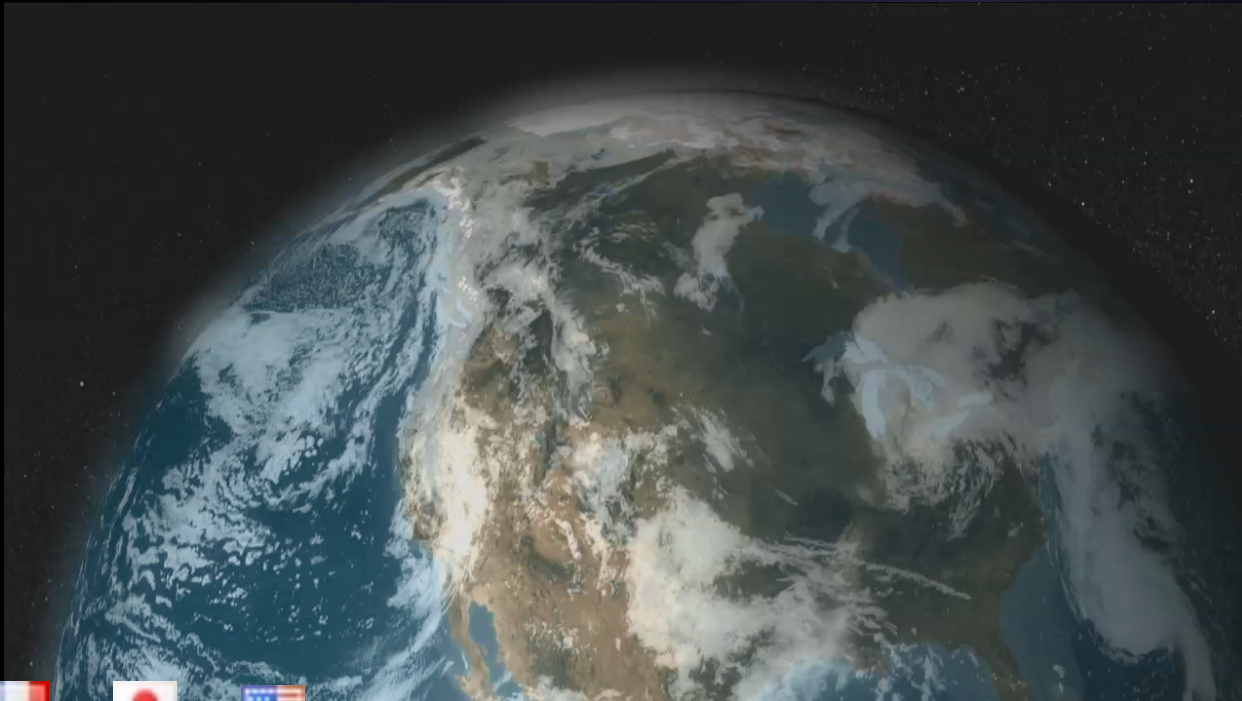
+ ¿materia oscura?


Opacidad atmosférica a rayos gamma



Desde el espacio: el satélite Fermi

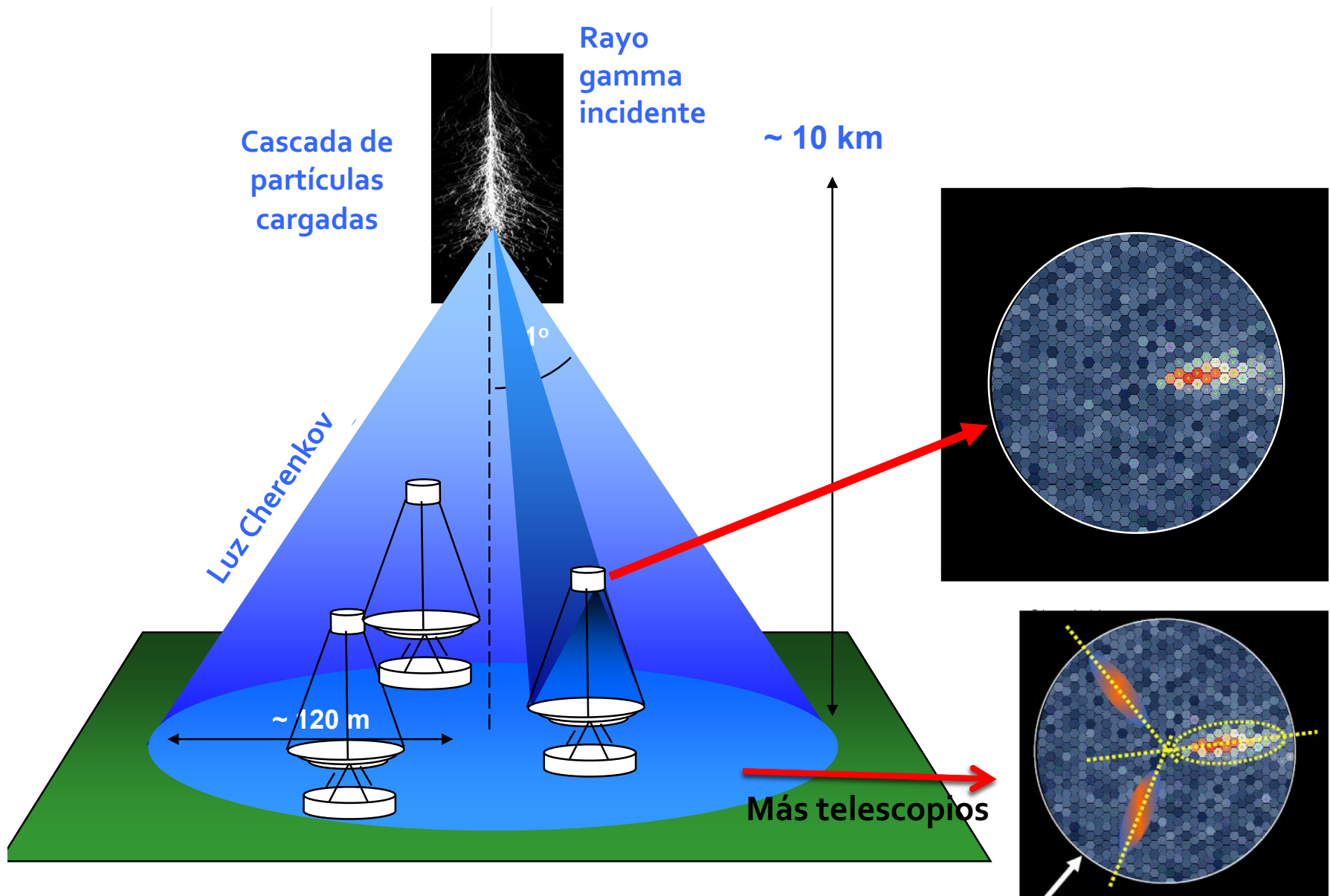
- Lanzado en 2008 por NASA, con colaboración internacional.
- Observa **todo el cielo** en sólo 3 horas con una sensibilidad sin precedentes.
- Del tamaño de un coche pequeño, ¡pero consume como una tostadora!
- Datos **públicos** en ~24 horas.



A large, multi-faceted reflecting telescope (MAGIC-I) is shown at night, illuminated by a bright light source. The telescope's primary mirror is composed of many small, rectangular segments. A secondary mirror is suspended from the top of the primary mirror by a long, curved support structure. The telescope is mounted on a complex metal frame. In the background, a dark, starry sky is visible, and a small white dome is seen on a hillside to the left.

**Pero...
¡También
desde tierra!**

Los "telescopios Cherenkov"



Observatorios actuales de rayos gamma



Fermi

[>2008]



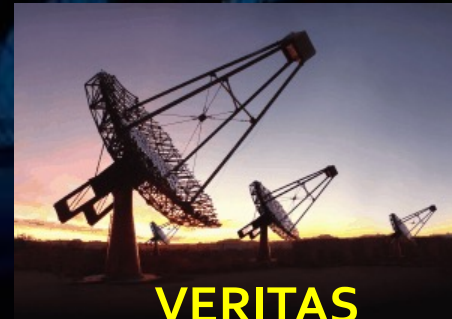
MAGIC

[>2003]



HESS

[>2002]



VERITAS

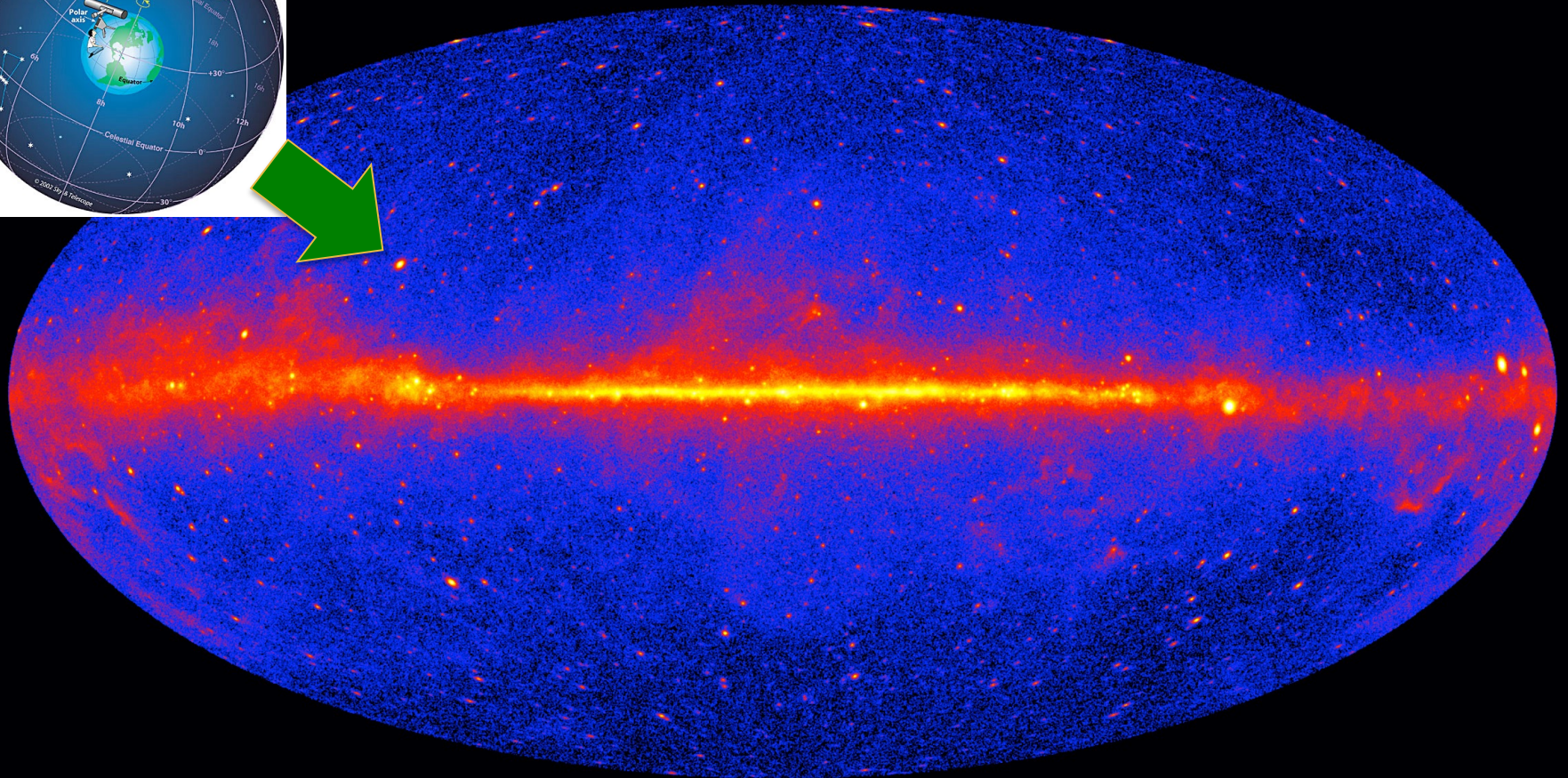
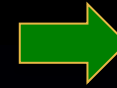
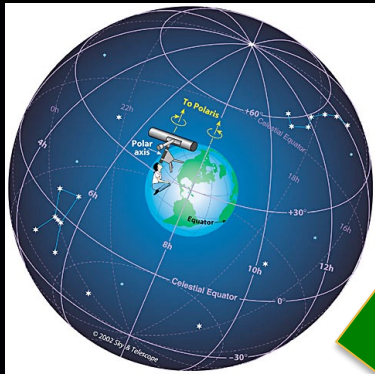
[>2006]



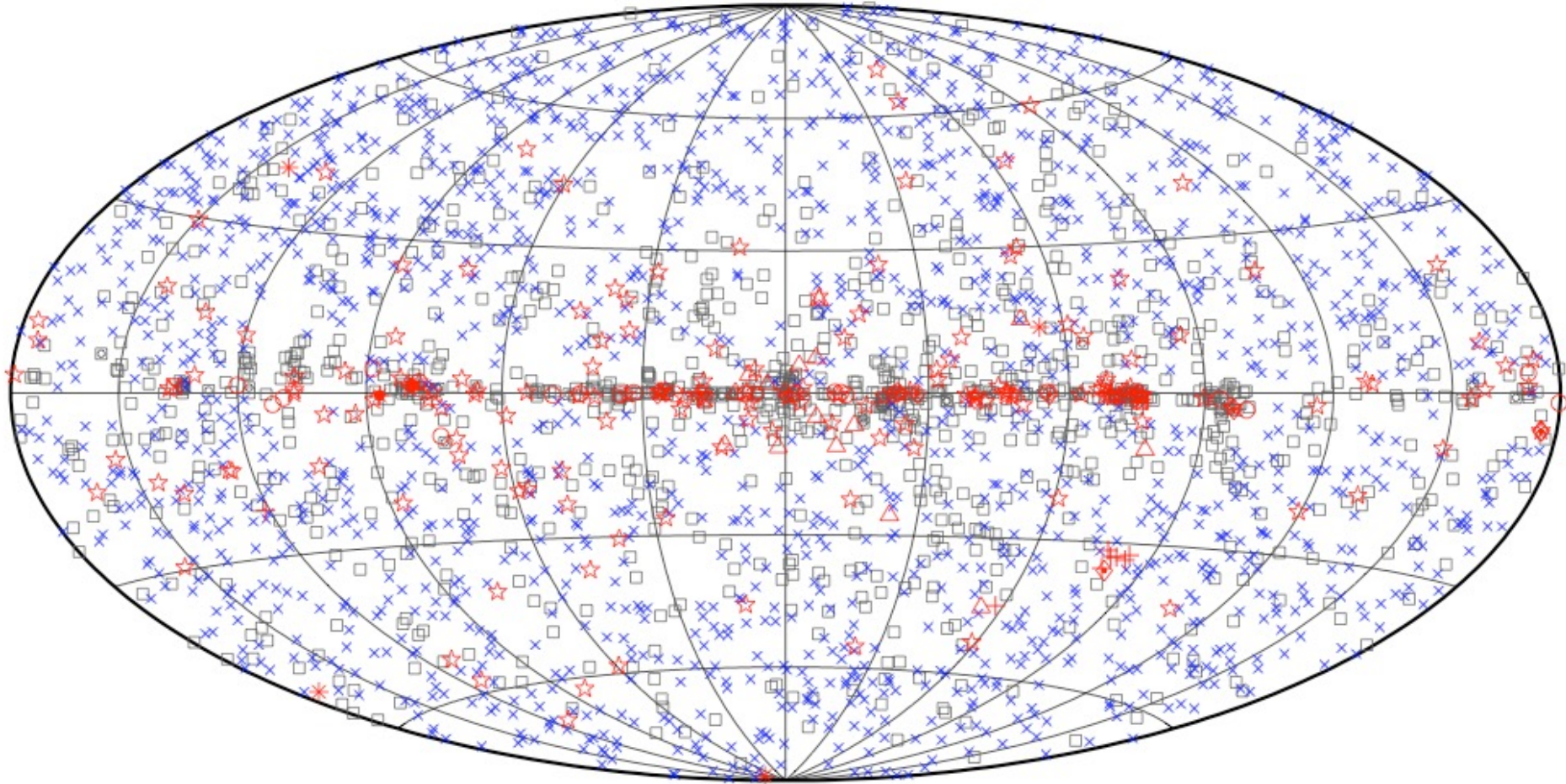
HAWC

[>2015]

El cielo en rayos gamma visto por Fermi



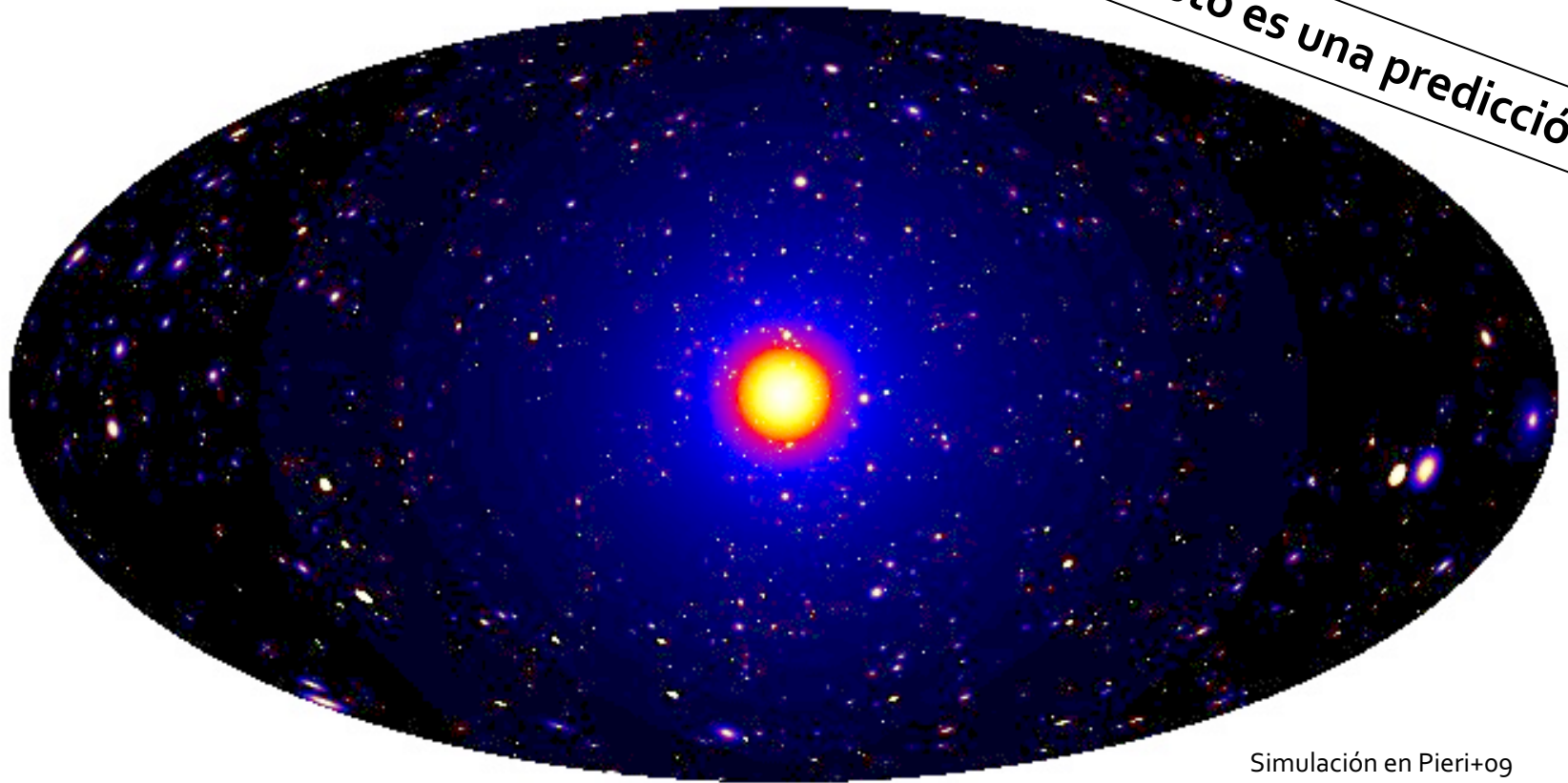
¡Más de 5.000 objetos en la actualidad!



□ No association	⊠ Possible association with SNR or PWN	× AGN
☆ Pulsar	△ Globular cluster	* Starburst Galaxy
⊠ Binary	+ Galaxy	◇ PWN
★ Star-forming region	○ SNR	★ Nova

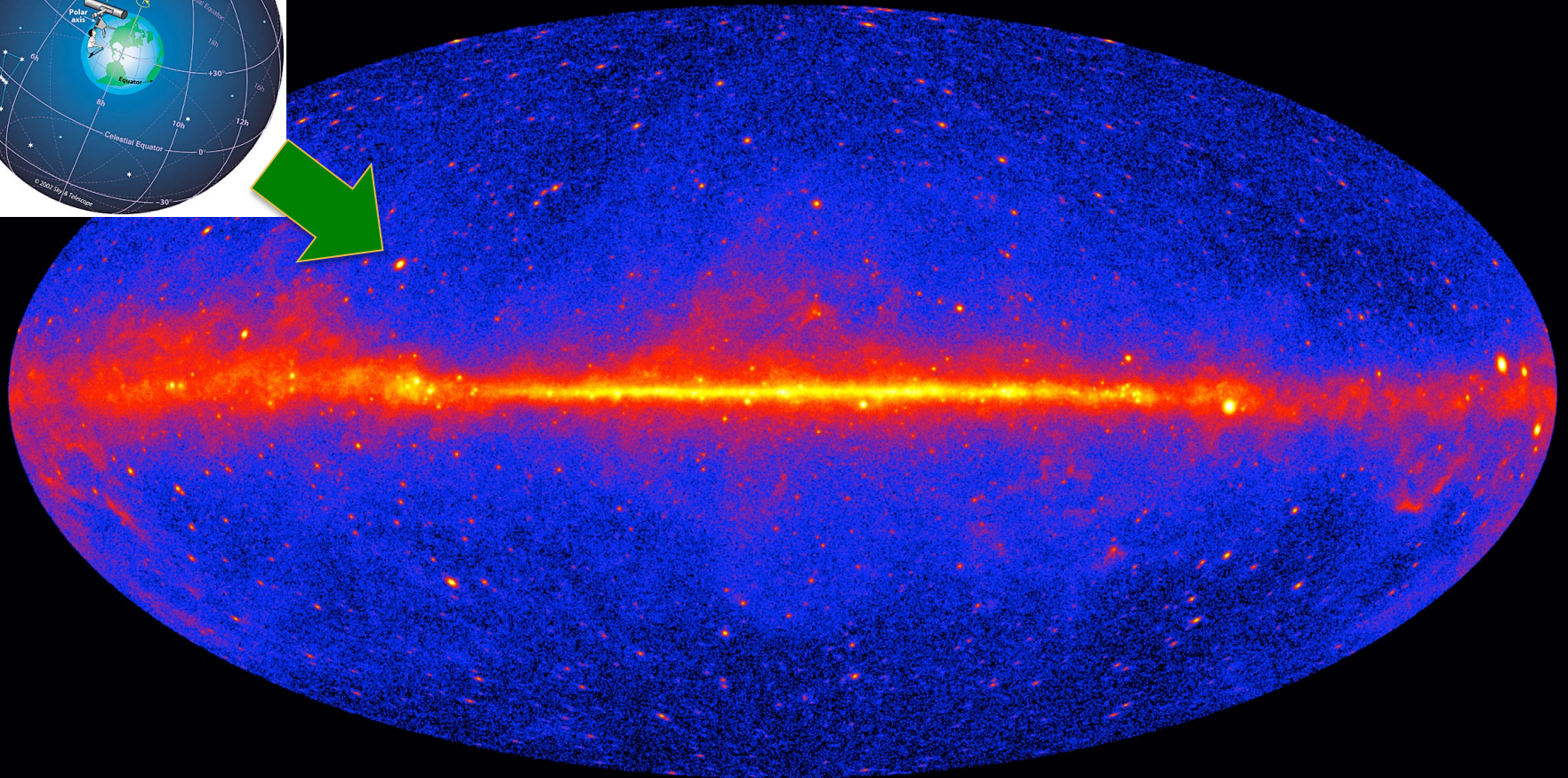
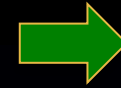
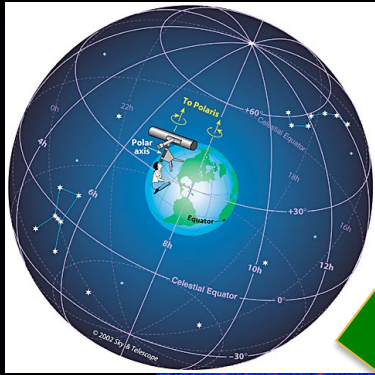
El cielo de rayos gamma inducido por aniquilación de materia oscura

¡Ojo, esto es una predicción!



Simulación en Pieri+09

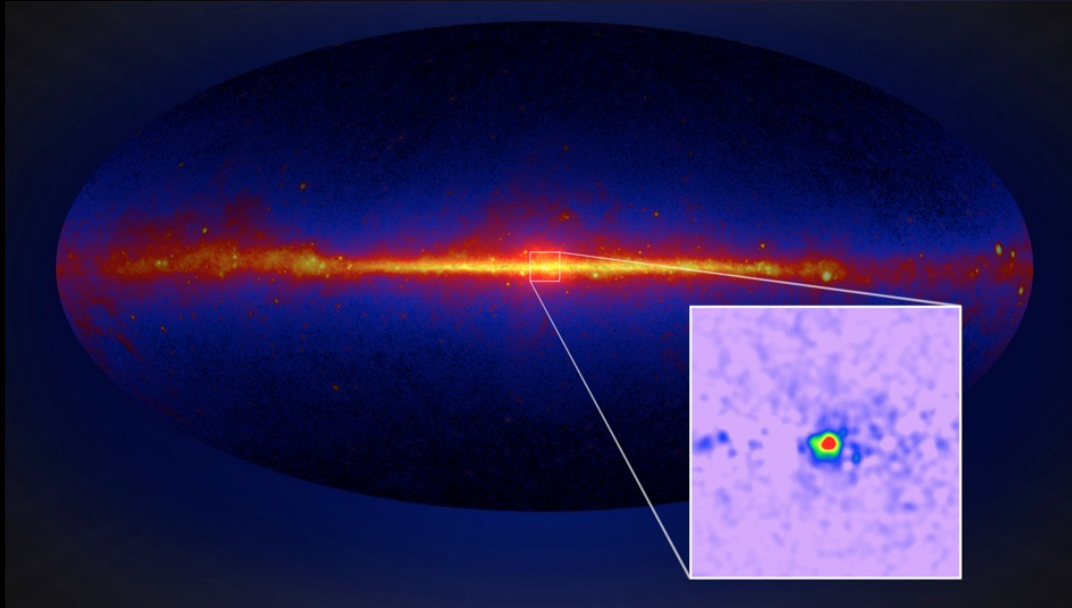
El cielo en rayos gamma visto por Fermi



Necesario **discriminar** posibles aniquilaciones de materia oscura frente a procesos astrofísicos “convencionales”.

Crítico **comprender** los procesos astrofísicos en gran detalle.

¿Materia oscura en el centro galáctico?



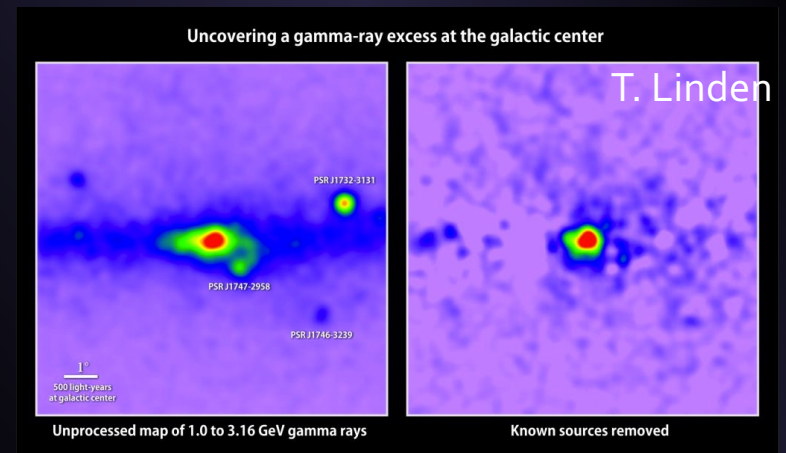
Vemos un **exceso** de rayos gamma en el centro de la Vía Láctea.

Propiedades **compatibles** con materia oscura.

Pero el centro galáctico es un lugar muy **complicado**...

No conocemos bien todas los objetos que emiten rayos gamma en esa zona ☹️

¡Estamos en ello!



¿Y en galaxias enanas satélites?

- Muy **dominadas** por materia oscura.
- Sin emisión gamma de origen astrofísico.
- Hay varias **cercanas**.
- ¿Estamos viendo materia oscura en el centro de la galaxia?
→ Tal vez alguna señal aquí.

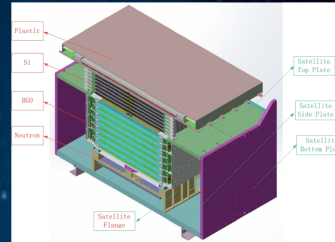
(Galaxia enana Fornax)

Aún no hemos detectado **ninguna señal**
(¡pero de todo se aprende!)

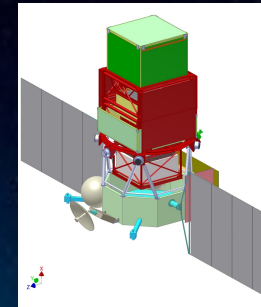
Gammas: el futuro



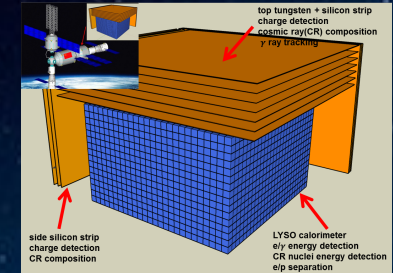
Fermi



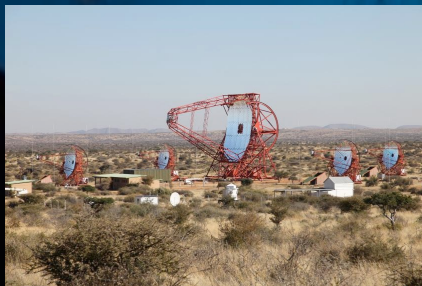
DAMPE
[>2016]



GAMMA-400
[?]



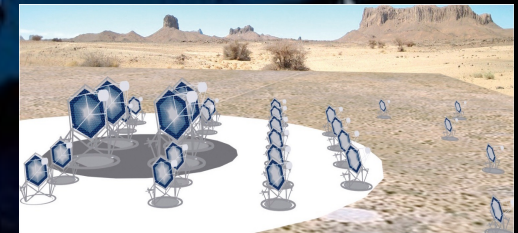
HERD
[?]



HESS-II
MAGIC
VERITAS



HAWC
[>2015]



CTA
[>2022]

Lista completa de futuras misiones de Astrofísica de Altas Energías:
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/concepts.html>

¡CTA en La Palma!

Habr  un CTA en el Hemisferio Sur (Chile) y otro en el Norte (España).



¡La construcción está en marcha!

Inauguración primer telescopio en octubre 2017

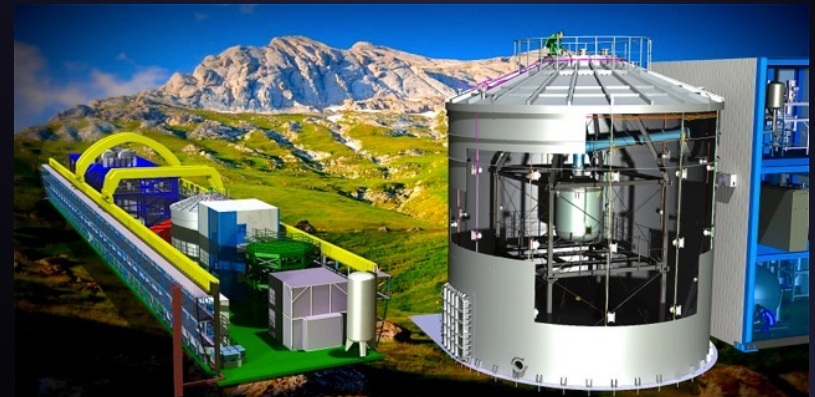
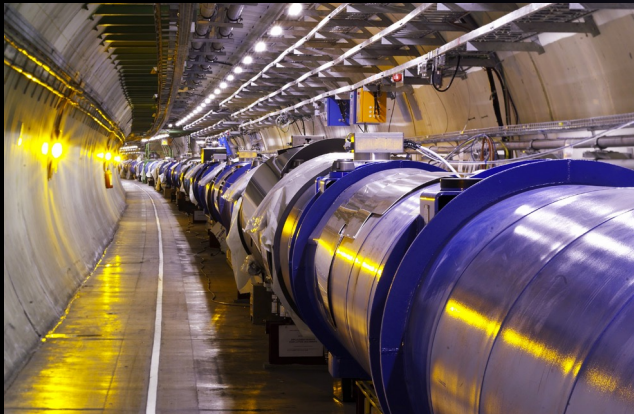
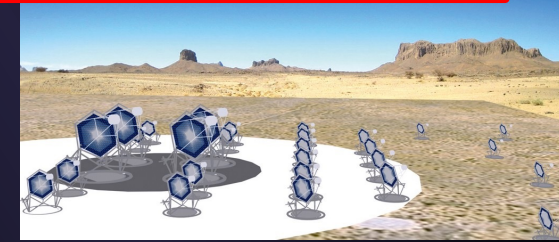
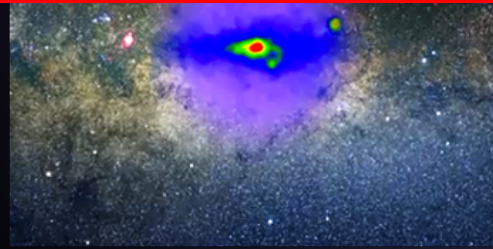
CTA desvelará el Universo violento **en mayor detalle.**

Junto con Fermi, permitirá explorar los principales modelos de **materia oscura.**





EDAD DORADA DE LAS BÚSQUEDAS DE MATERIA OSCURA Y DE LA ASTROFÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS o ASTROPARTÍCULAS





"Qué es entonces esta bóveda azul, que ciertamente existe y nos impide ver las estrellas durante el día"

[Flammarion "L'Atmosphere: Météorologie Populaire" -- Paris, 1888]

**¡No dejéis de
mirar al cielo!**
(ni de perseguir vuestros sueños)

**¿Más preguntas?
¡Contáctame!**

Miguel A. Sánchez-Conde

miguel.sanchezconde@uam.es

<https://projects.ift.uam-csic.es/damasco/>