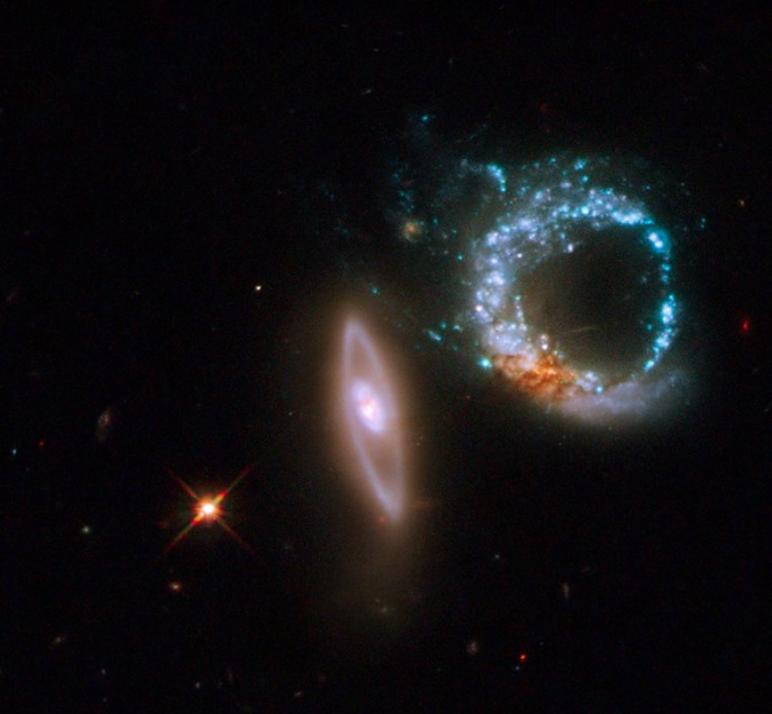


# Materia y Energía oscura

David G. Cerdeño

Universidad Autónoma de Madrid  
Instituto de Física Teórica





Durante el transcurso del siglo XX  
hemos pasado de apenas saber nada  
acerca del Universo...

... a comprender sus características  
principales...

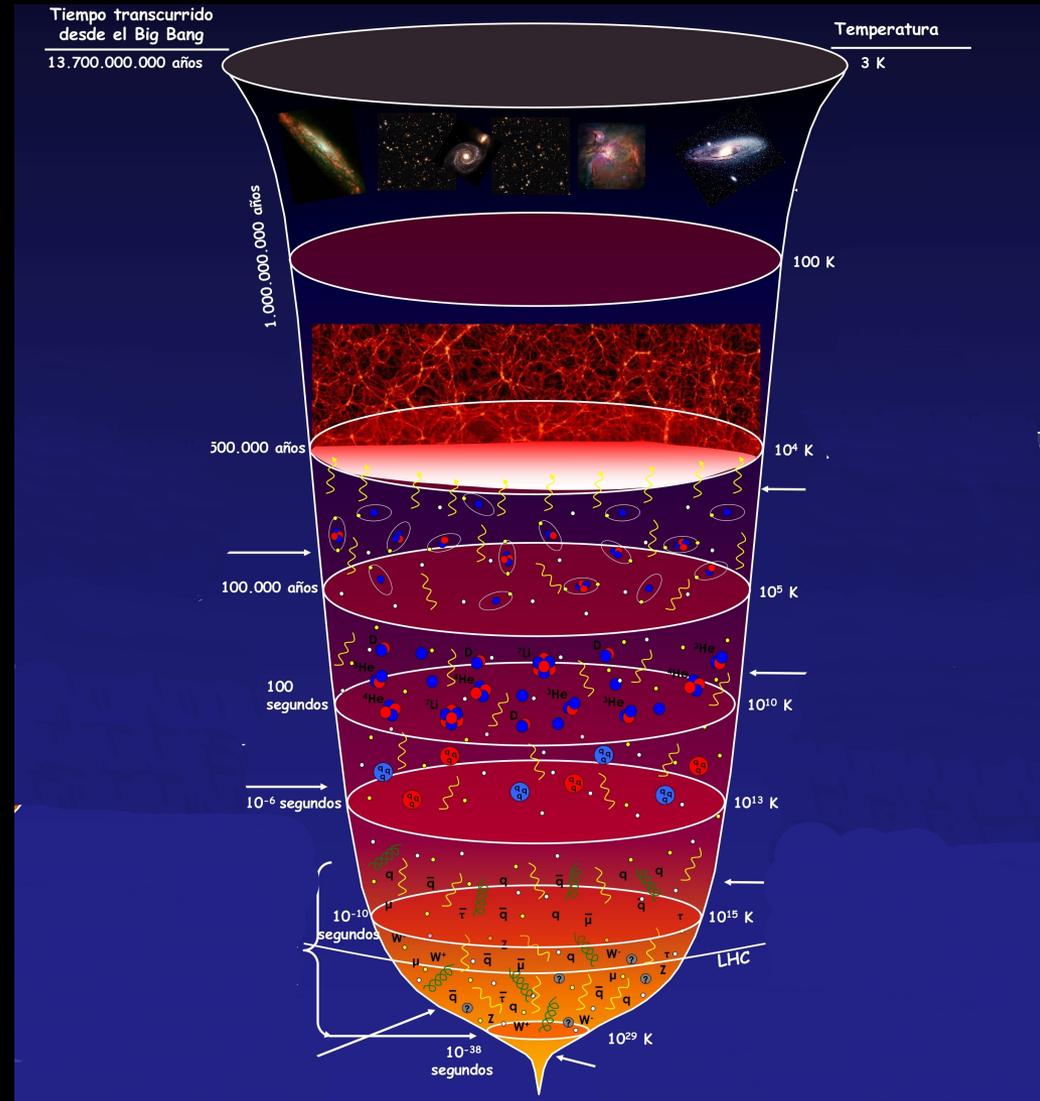


# Un Universo en expansión

Conocemos su edad...  
(13 mil millones de años)

... y sabemos que en su origen (Big Bang) era muchísimo más denso y caliente que ahora.

Pero... ¿sabemos de qué está hecho?

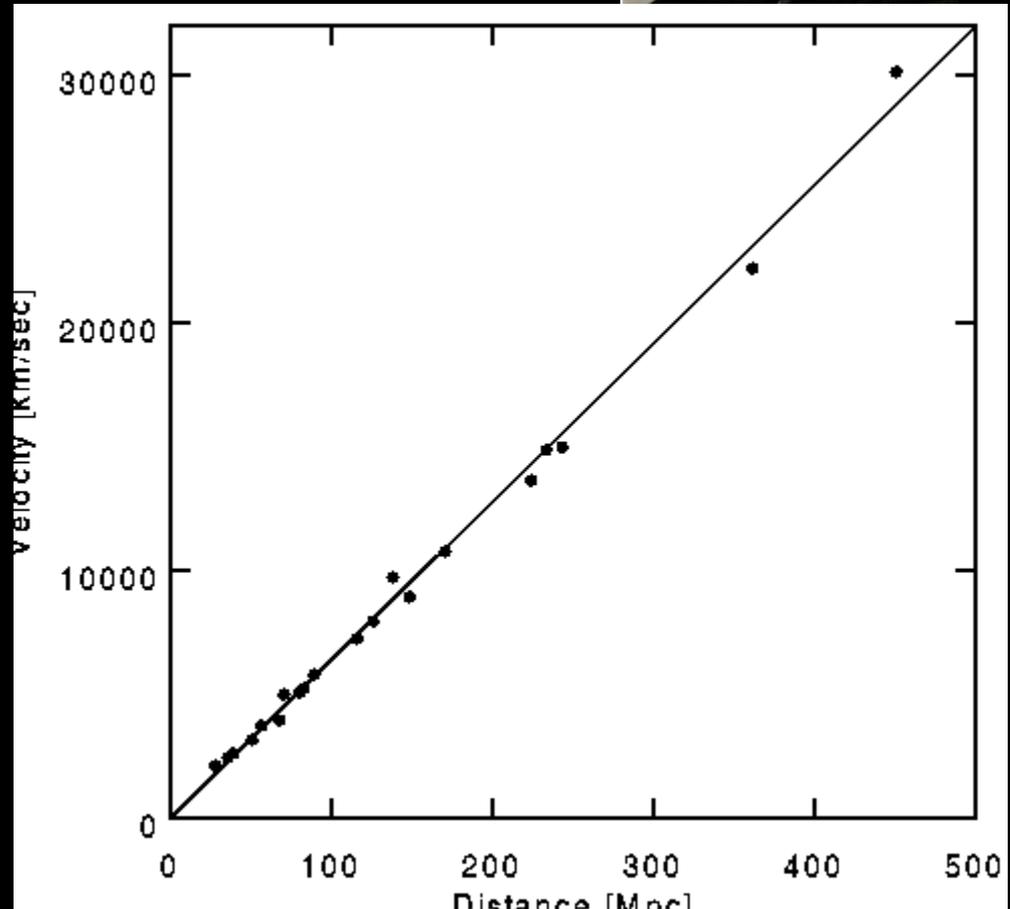


# Un Universo en expansión

Edwin Hubble mostró que las galaxias más lejanas se alejan a mayor velocidad

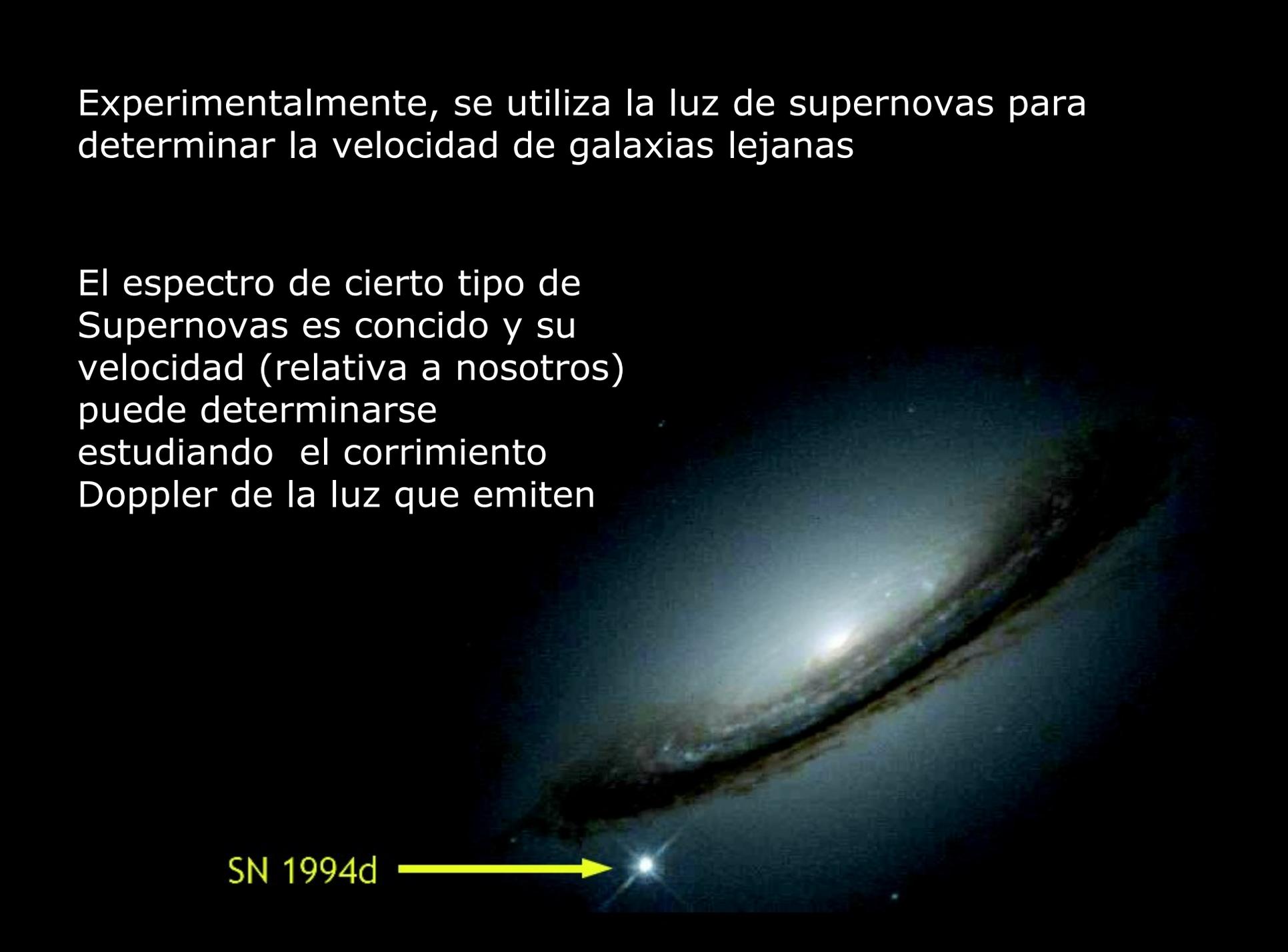
$$v = H_0 d$$

Constante de Hubble



Experimentalmente, se utiliza la luz de supernovas para determinar la velocidad de galaxias lejanas

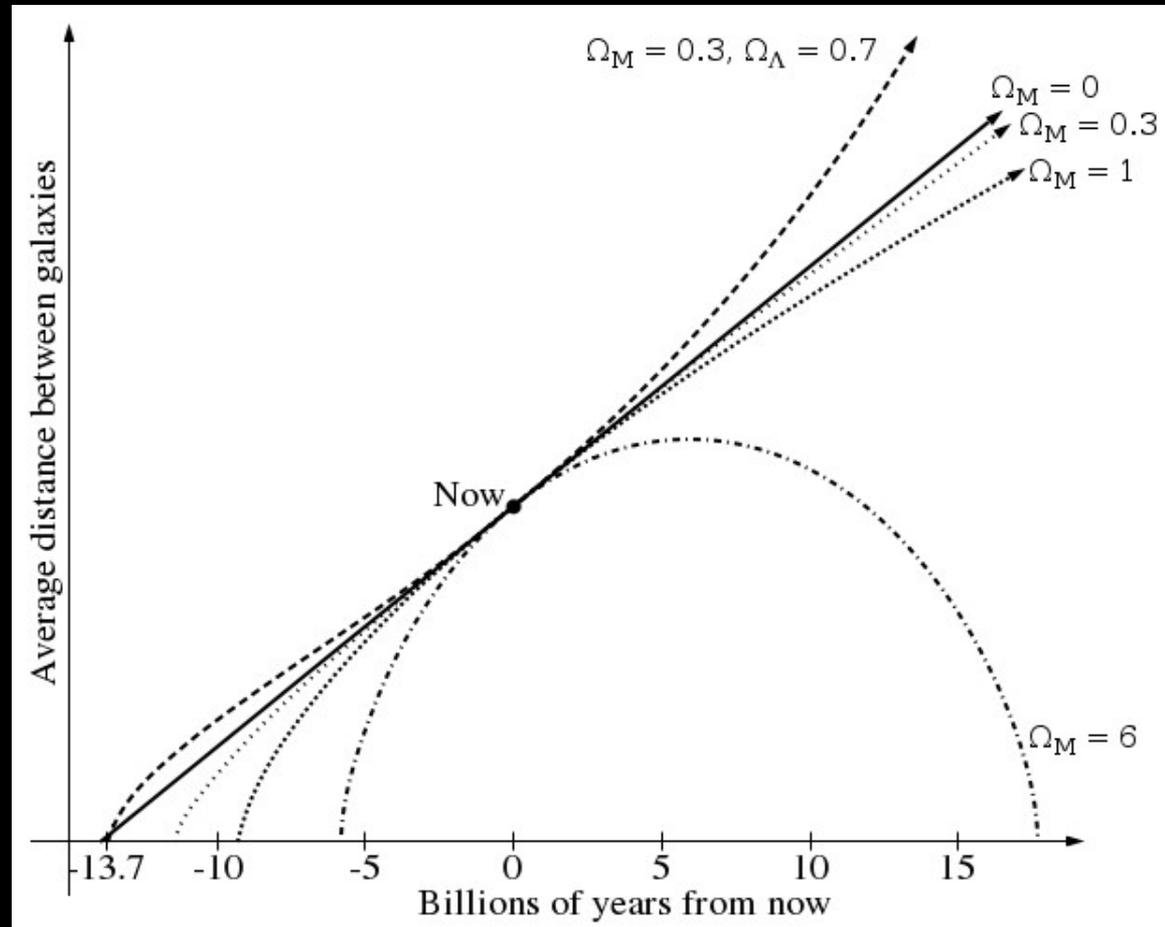
El espectro de cierto tipo de Supernovas es conocido y su velocidad (relativa a nosotros) puede determinarse estudiando el corrimiento Doppler de la luz que emiten

A photograph of a galaxy, likely a spiral galaxy, viewed from an angle. The galaxy is illuminated from the right, creating a bright glow. In the lower-left foreground, a bright star is visible, with a yellow arrow pointing to it from the text 'SN 1994d'.

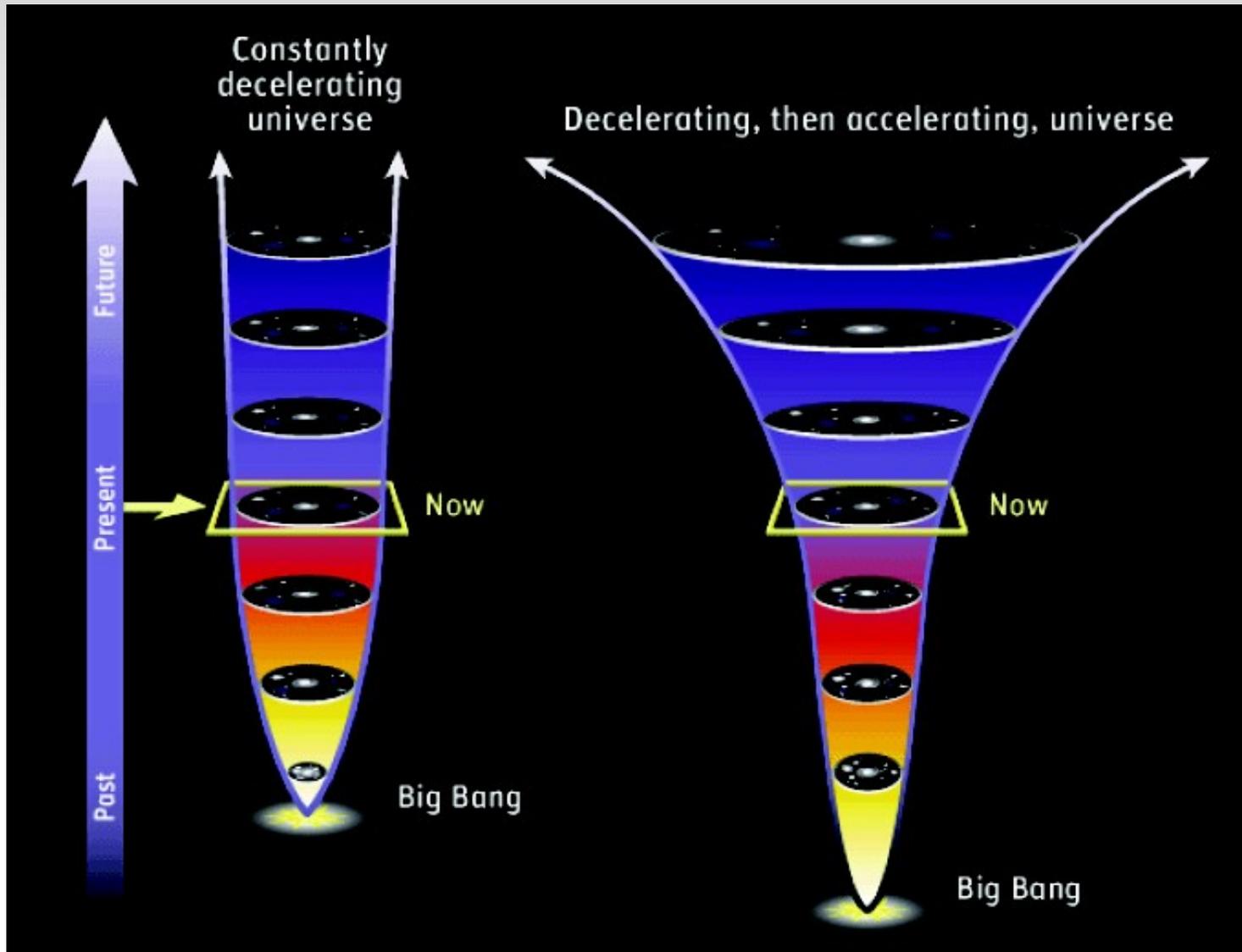
SN 1994d

Las medidas de Supernovas indican que la velocidad de expansión... no es constante!

El Universo actual se expande aceleradamente

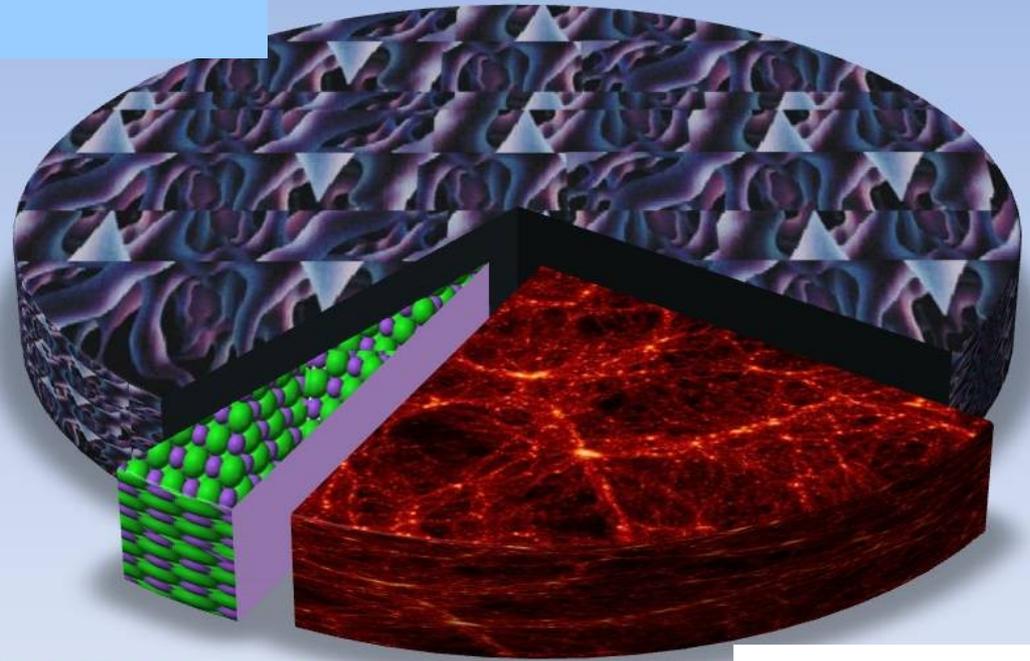


# El universo se expande de forma **acelerada**

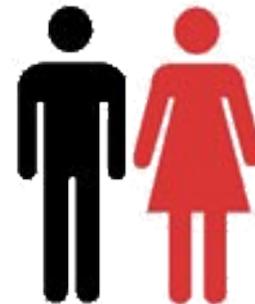
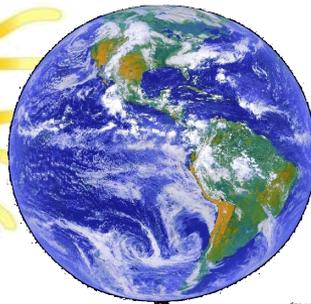
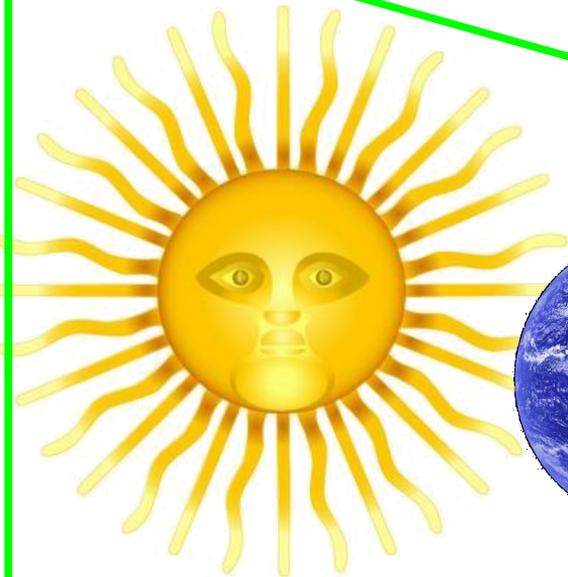


# COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO

La materia de la que estamos hechos (quarks y electrones) es **sólo un 4% del Universo**

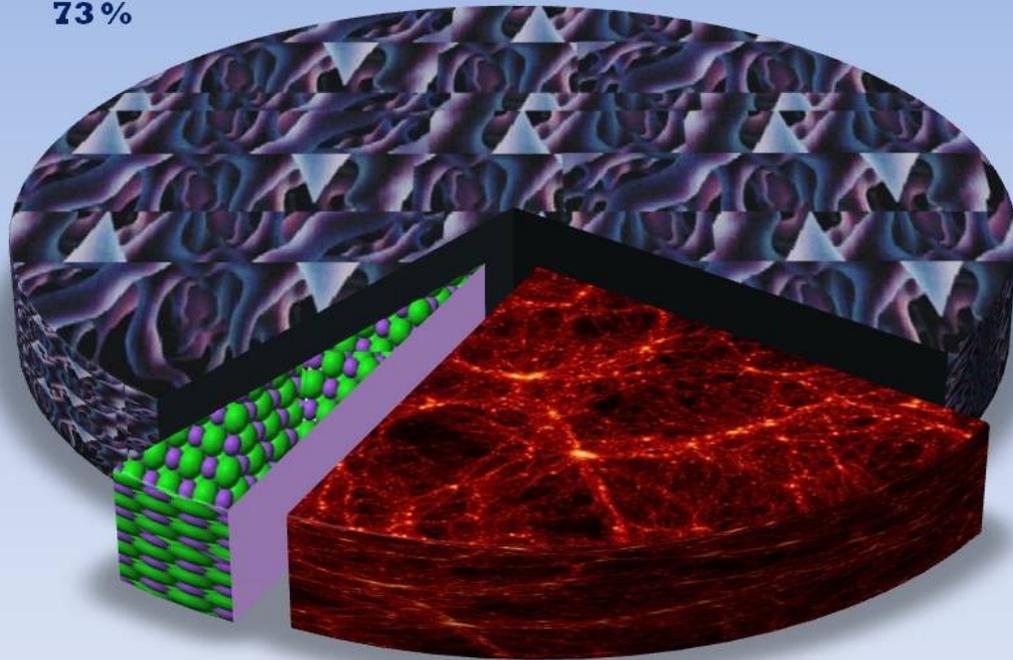


**MATERIA ORDINARIA**  
4%



# COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO

**ENERGÍA OSCURA**  
73%



**MATERIA ORDINARIA**  
4%

**MATERIA OSCURA**  
23%

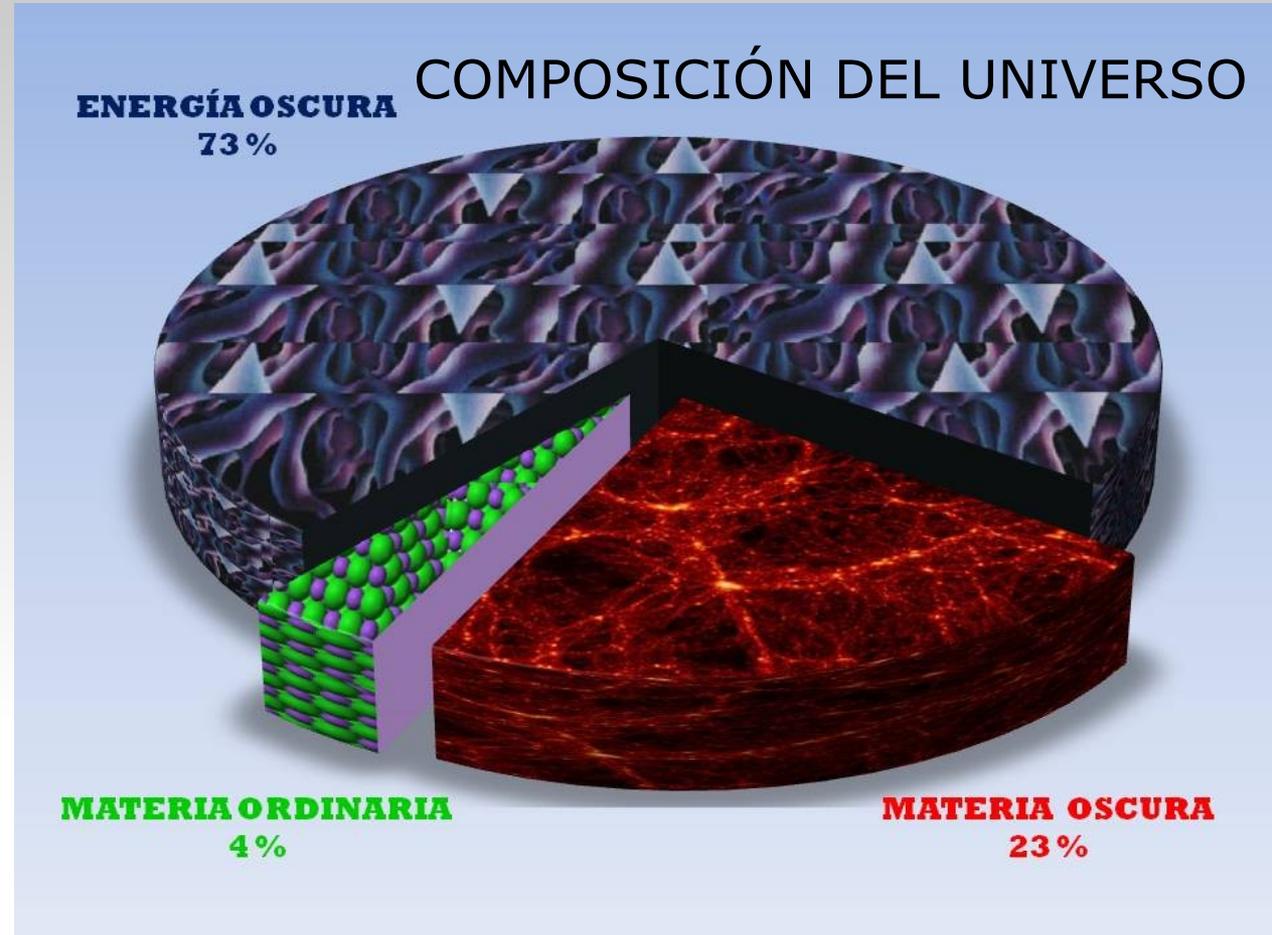
La materia de la que estamos hechos (quarks y electrones) es **sólo un 4% del Universo**

Desconocemos la naturaleza de los principales componentes del Universo

**Materia Oscura:** nueva forma de materia que no emite ni absorbe luz

**Energía Oscura:** "algo" (constante cosmológica?) que hace que la expansión del Universo se acelere

La materia de la que estamos hechos (quarks y electrones) es **sólo un 4% del Universo**



## La materia oscura...

¿Cómo sabemos que existe?

¿Qué es?

¿Se puede detectar?

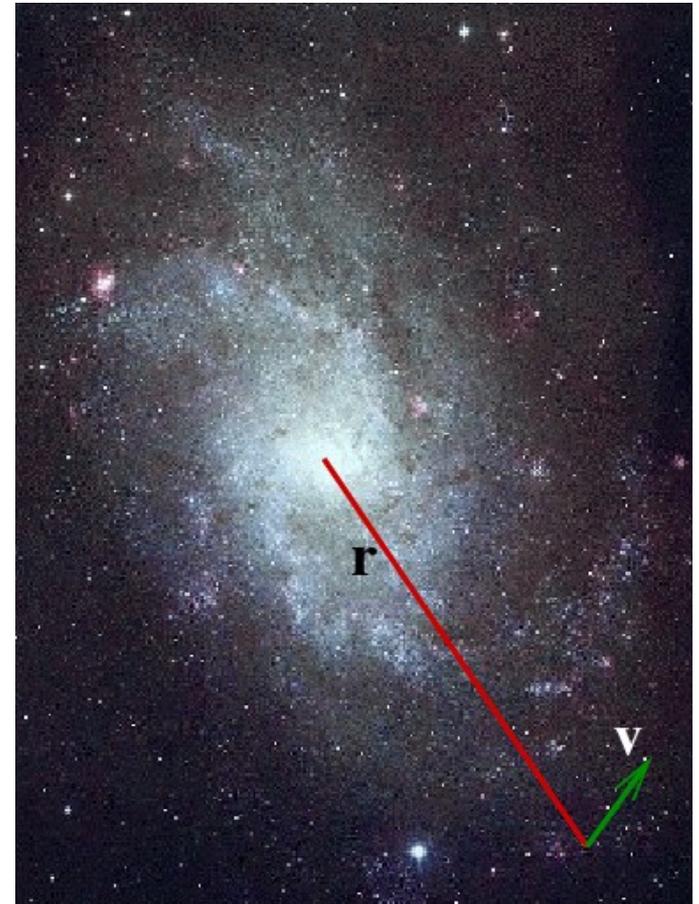
# Galaxies

- La masa de una galaxia puede determinarse por diferentes métodos
  - Se sabe que la luminosidad de las estrellas es una función conocida de su masa

Por medio de observaciones directas se puede determinar la cantidad y distribución de materia visible

- Pero ¿qué hay de la materia que emite poca (o ninguna) luz?

Para determinar su masa tenemos que echar mano de la ley de Newton



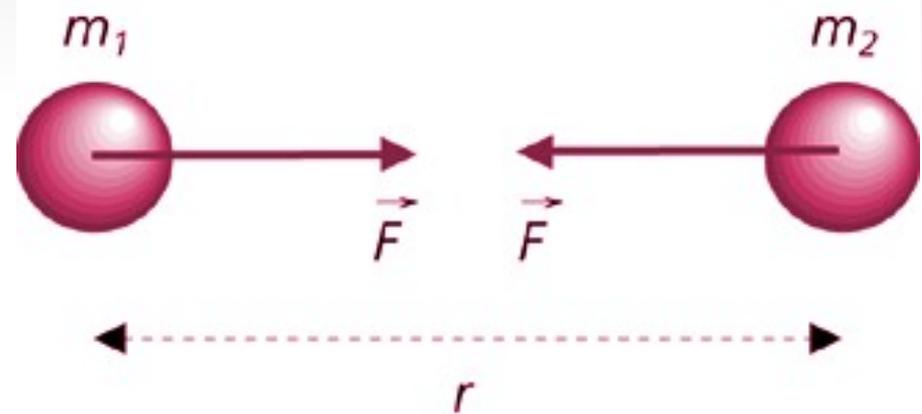
Si no la podemos ver... ¿cómo sabemos que hay materia oscura?



Sir Isaac Newton

## Ley de Gravitación universal

Todo objeto con **masa** ejerce una fuerza de atracción sobre cualquier otro objeto con **masa**.



La fuerza es directamente proporcional a las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa

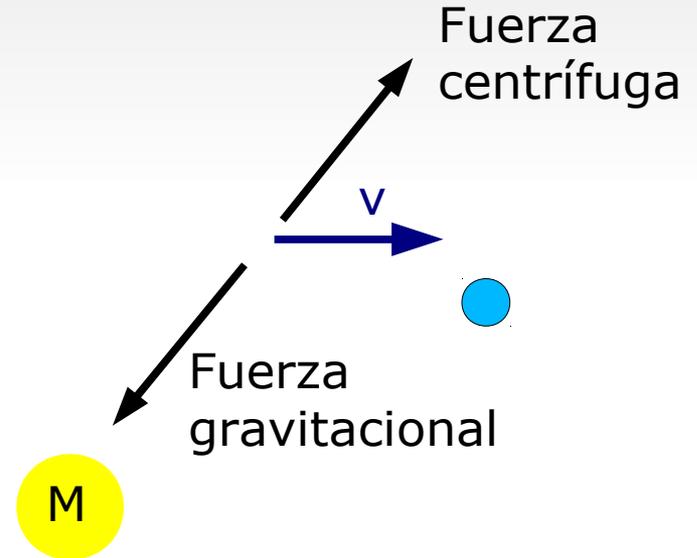
Si no la podemos ver... ¿cómo sabemos que hay materia oscura?



Sir Isaac Newton

## Ley de Gravitación universal

Esta fuerza nos permite entender, por ejemplo, el movimiento de los planetas.



La fuerza de la gravedad compensa la fuerza centrífuga

$$G \frac{m M}{r^2} = \frac{m v^2}{r}$$

Si no la podemos ver... ¿cómo sabemos que hay materia oscura?



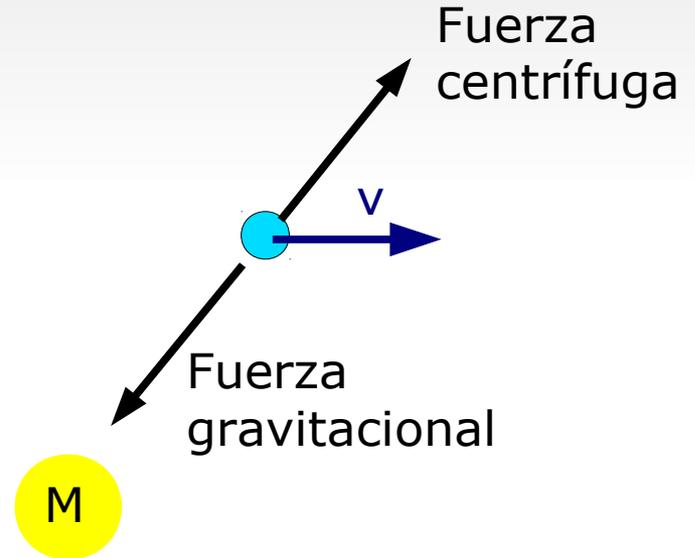
Sir Isaac Newton

La **velocidad** de rotación es función de la masa y de la distancia

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

## Ley de Gravitación universal

Esta fuerza nos permite entender, por ejemplo, el movimiento de los planetas.



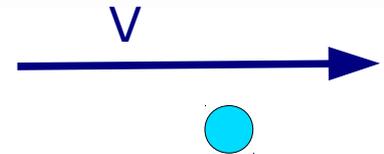
Si no la podemos ver... ¿cómo sabemos que hay materia oscura?



Sir Isaac Newton

## Ley de Gravitación universal

Esta fuerza nos permite entender, por ejemplo, el movimiento de los planetas.



La **velocidad** de rotación es función de la masa y de la distancia

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

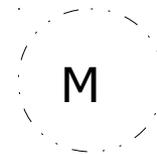
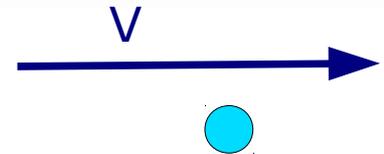
Si no la podemos ver... ¿cómo sabemos que hay materia oscura?



Sir Isaac Newton

## Ley de Gravitación universal

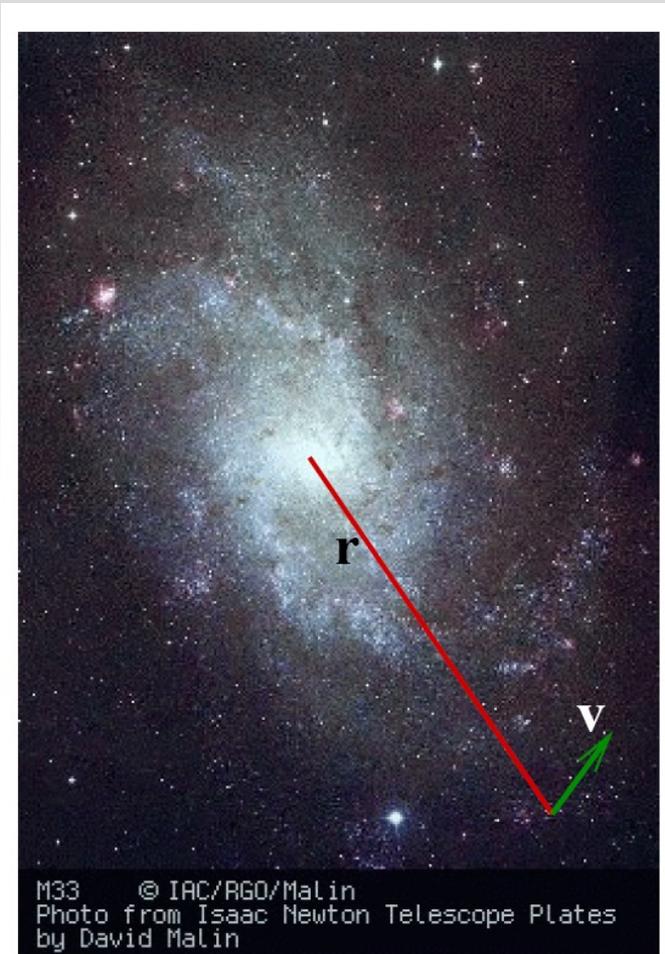
Esta fuerza nos permite entender, por ejemplo, el movimiento de los planetas.



Podemos conocer la masa de objetos invisibles mediante el movimiento de objetos visibles.

$$M = \frac{r}{G} v^2$$

Aplicado a una galaxia, este método nos permite calcular la **masa total** contenida (de objetos luminosos y no luminosos)



$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

Además, la **luminosidad** de la galaxia está relacionada con la **masa contenida en objetos luminosos**.

**Masa luminosa** << **Masa total**

¡Hay (MUCHA) materia (masa) que no vemos! **MATERIA OSCURA**

# Galaxies

- The mass of a galaxy can be determined by different methods

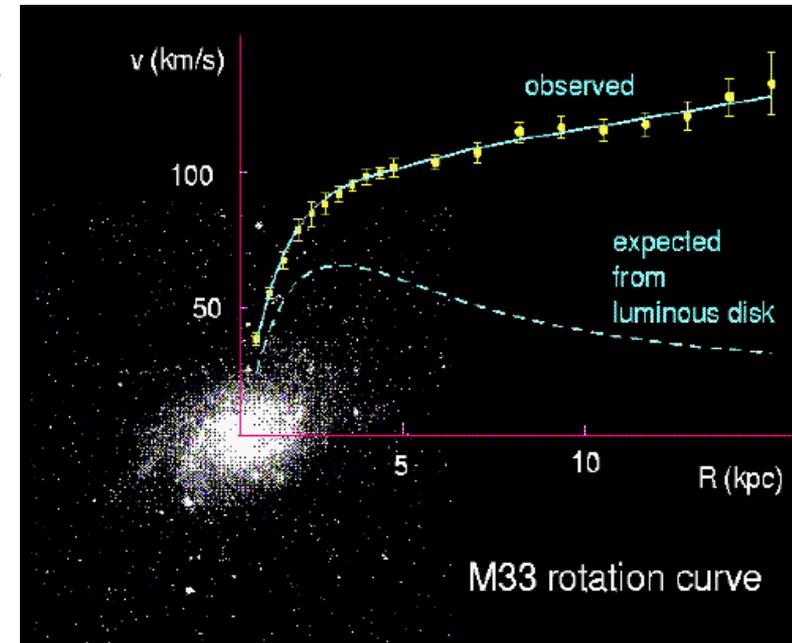
- Se sabe que la luminosidad de las estrellas es una función conocida de su masa

Por medio de observaciones directas se puede determinar la cantidad y distribución de materia visible

- Por otra parte aplicando la ley de Newton podemos calcular la masa total (luminosa y oscura) de una galaxia

La materia visible es incapaz de explicar las velocidades de rotación de los objetos ligados a la galaxia

$$M(r) = cte \rightarrow v_{\text{rot}} \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$$



Las galaxias contienen mucha más materia oscura que luminosa

$$M \gg M_*$$

(Faber, Gallagher '79)  
(Bosma '78, '81)

Estas observaciones se han hecho para numerosas galaxias y no pueden ser entendidas como otras contribuciones (por ejemplo, gas)

(van Albada, Bahcall, Begeman, Sancisi '84)

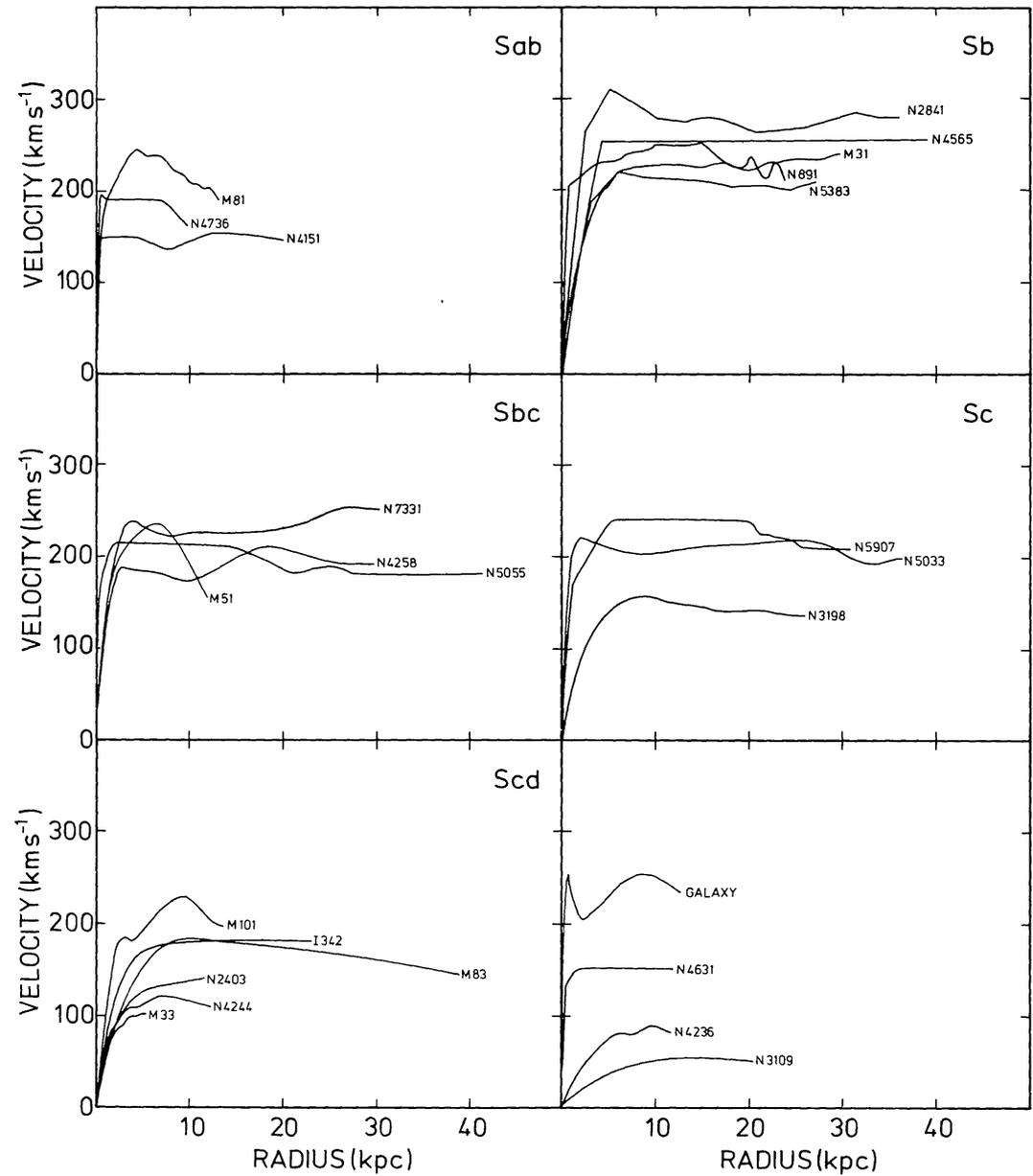
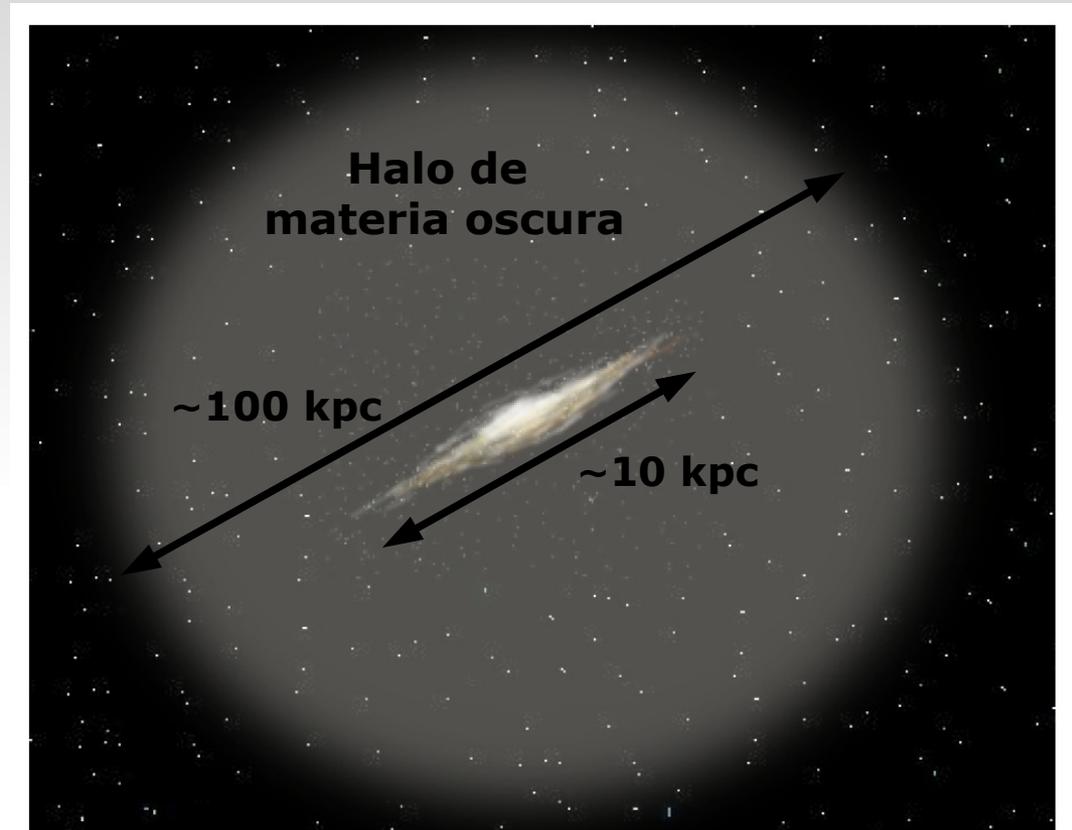


Figure 2 Rotation curves of 25 galaxies of various morphological types from Bosma (1978).

Las galaxias están rodeadas de un "halo" esférico de materia oscura

La materia oscura es responsable del **90%** de la masa de la galaxia.

Hay mucha más materia oscura que materia ordinaria (luminosa)



Esto se aplica a todos los cuerpos celestes!  
En cúmulos de galaxias...

¡Los movimientos de las galaxias tampoco son compatibles con la materia luminosa que se ve!

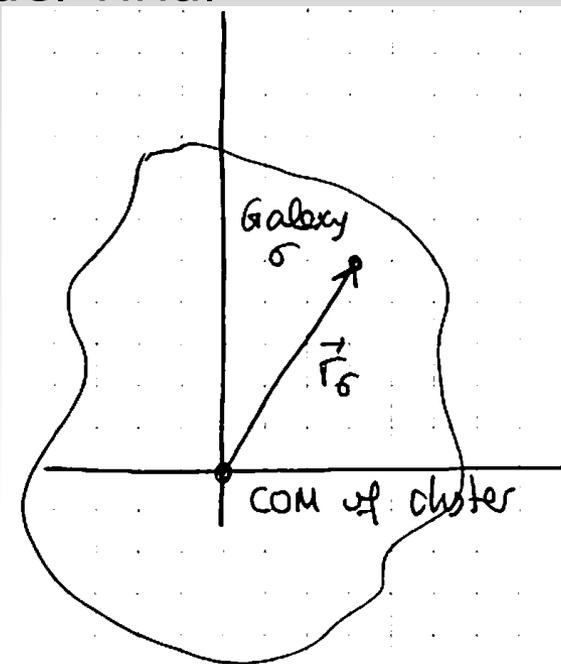


Fritz Zwicky ~  
1933



¡Hay (MUCHA) materia (masa) que no vemos! **MATERIA OSCURA**

Si asumimos que el cúmulo está aislado, aplicamos el teorema del virial

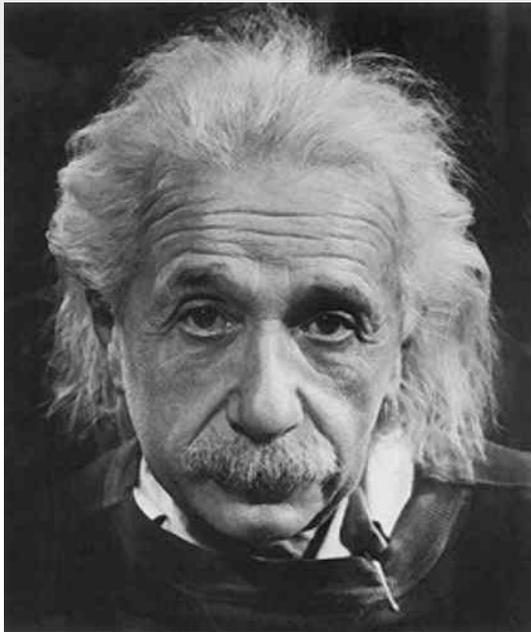


$$\underbrace{\sum_i \vec{r}_i \cdot \vec{r}_i}_{\text{VIRIAL}} + \underbrace{2 \sum_i \frac{1}{2} M_i v_i^2}_{\text{TOTAL KINETIC ENERGY}}$$

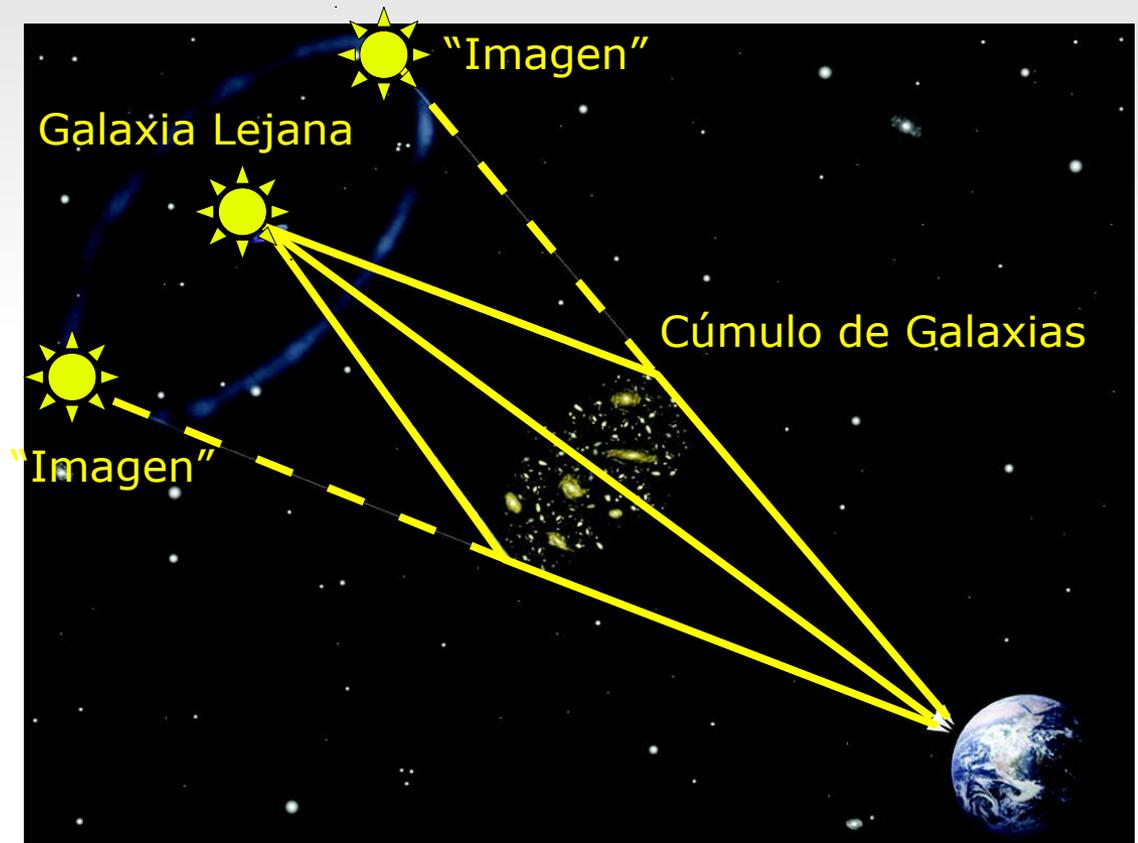
$$0 = \overline{Vir} + 2K_T$$

La teoría de la **Relatividad General** predice que la luz se ve afectada por el campo gravitacional

La luz se curva cuando pasa en la cercanía de objetos muy masivos



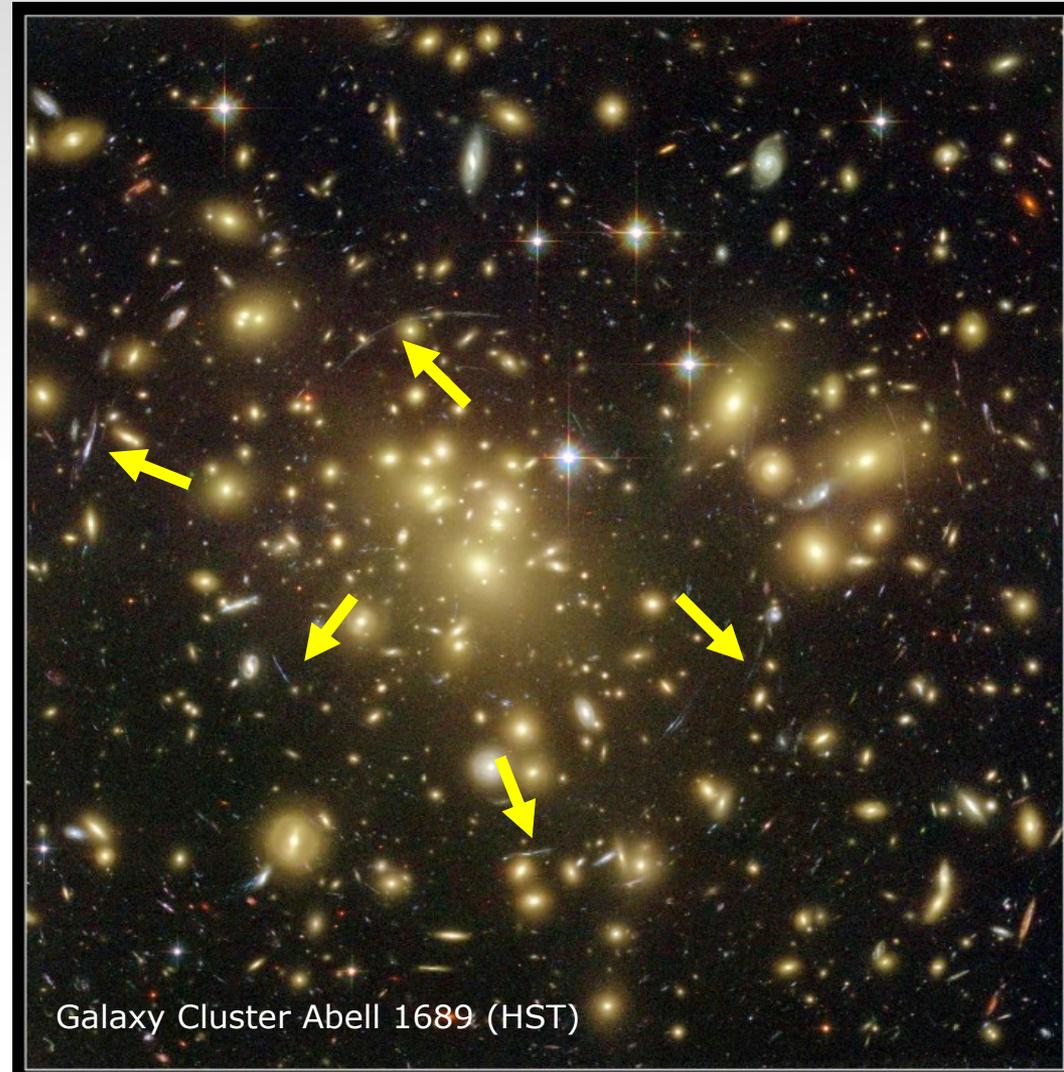
**Albert Einstein**



Como si de una lente se tratase → **LENTES GRAVITACIONALES**

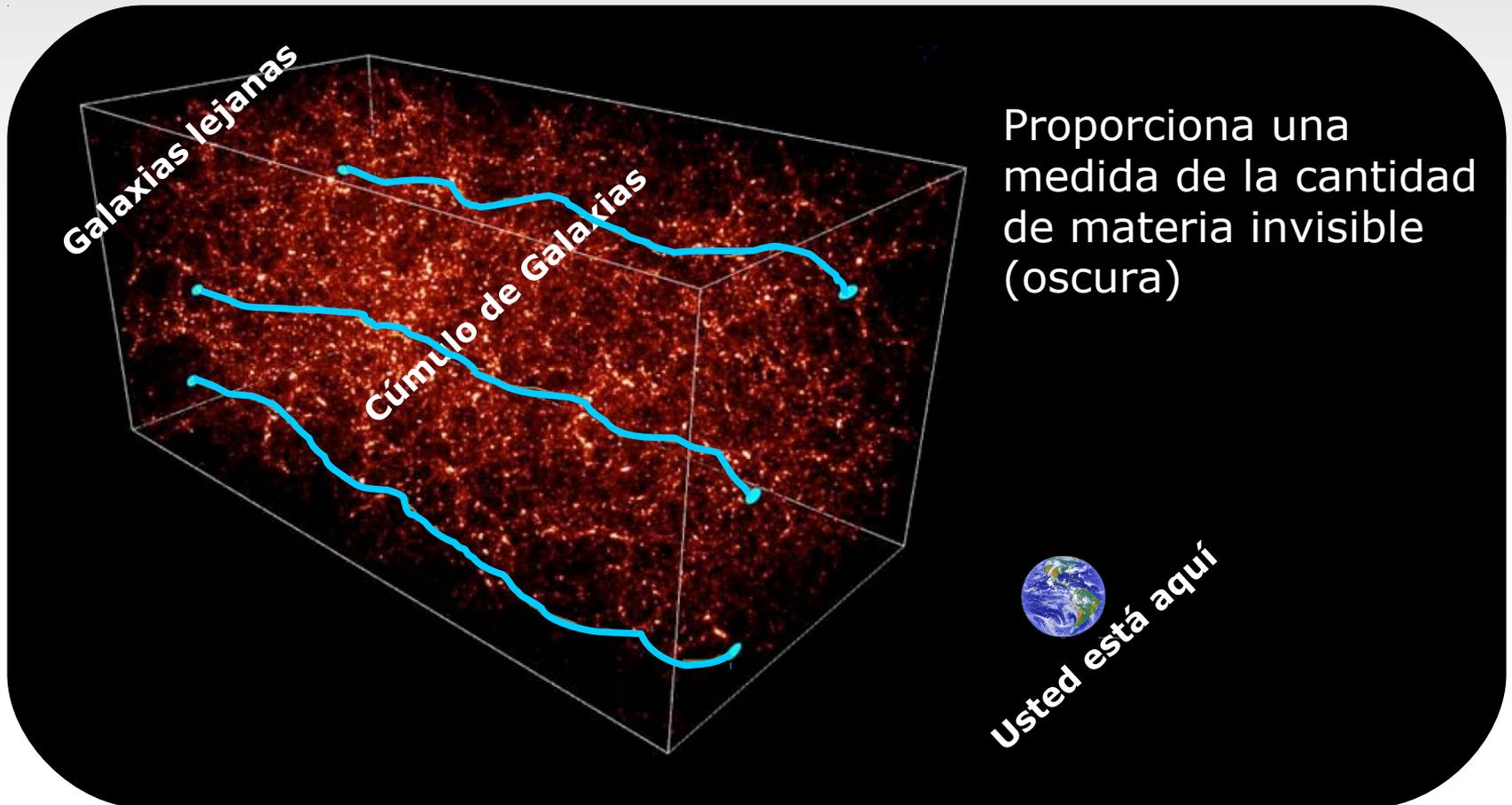
La teoría de la **Relatividad General** predice que la luz se ve afectada por el campo gravitacional

Estas lentes gravitacionales (fuertes) dan lugar a **múltiples imágenes** de un mismo objeto



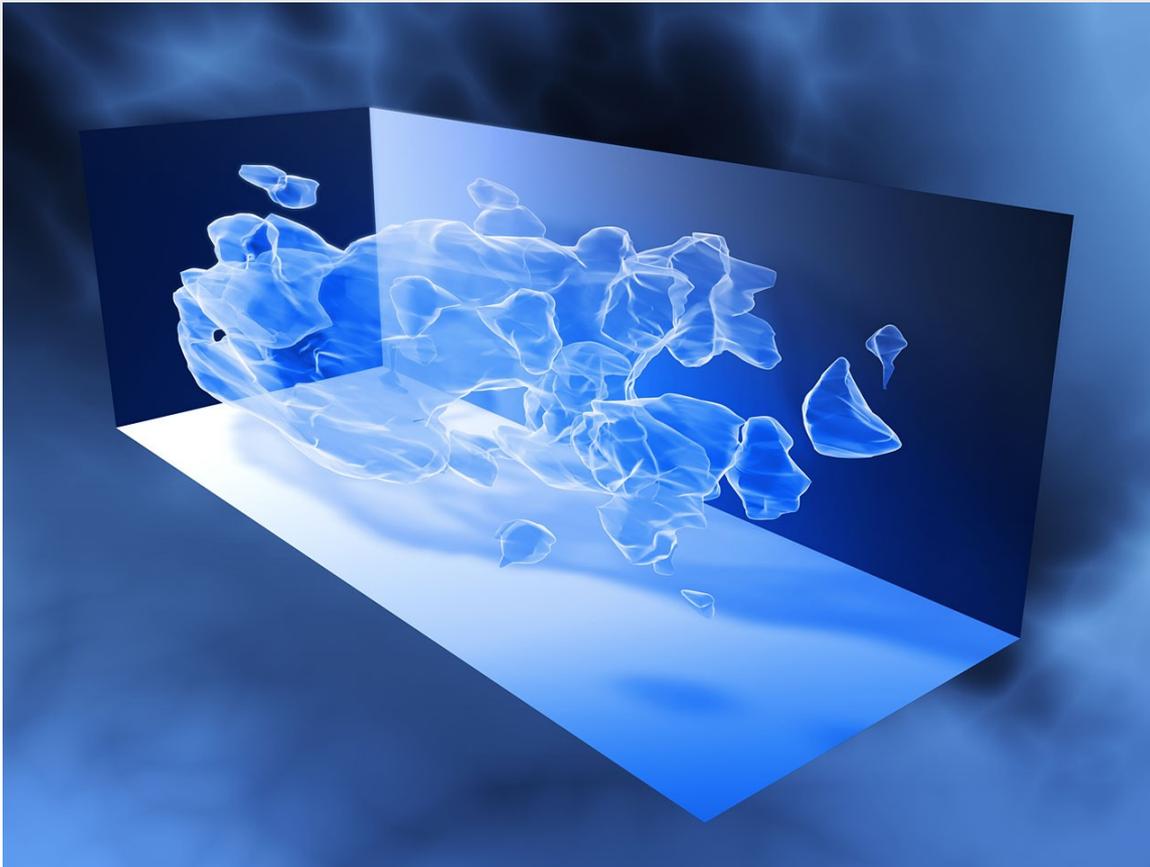
La materia oscura también se puede “ver” mediante “**lentes gravitacionales**”

Estudiando la distorsión de las imágenes de galaxias lejanas podemos inferir la cantidad de materia que cruza la luz en su camino



La materia oscura también se puede “ver” mediante “**lentes gravitacionales**”

Estudiando la distorsión de las imágenes de galaxias lejanas podemos inferir la cantidad de materia que cruza la luz



Podemos incluso calcular la distribución de materia oscura

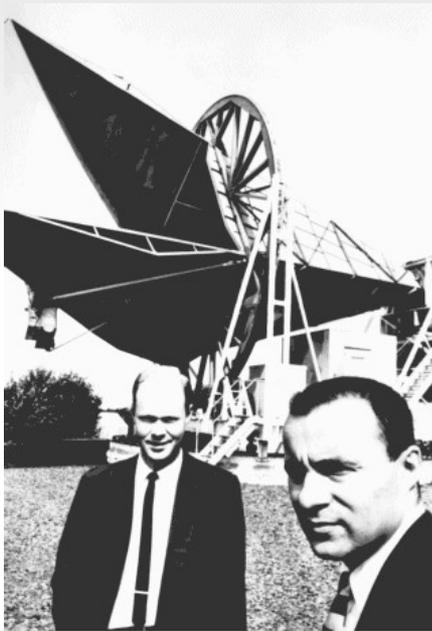
Confirma la existencia de gran cantidad de

**MATERIA OSCURA**

A partir de medidas del Telescopio Espacial Hubble

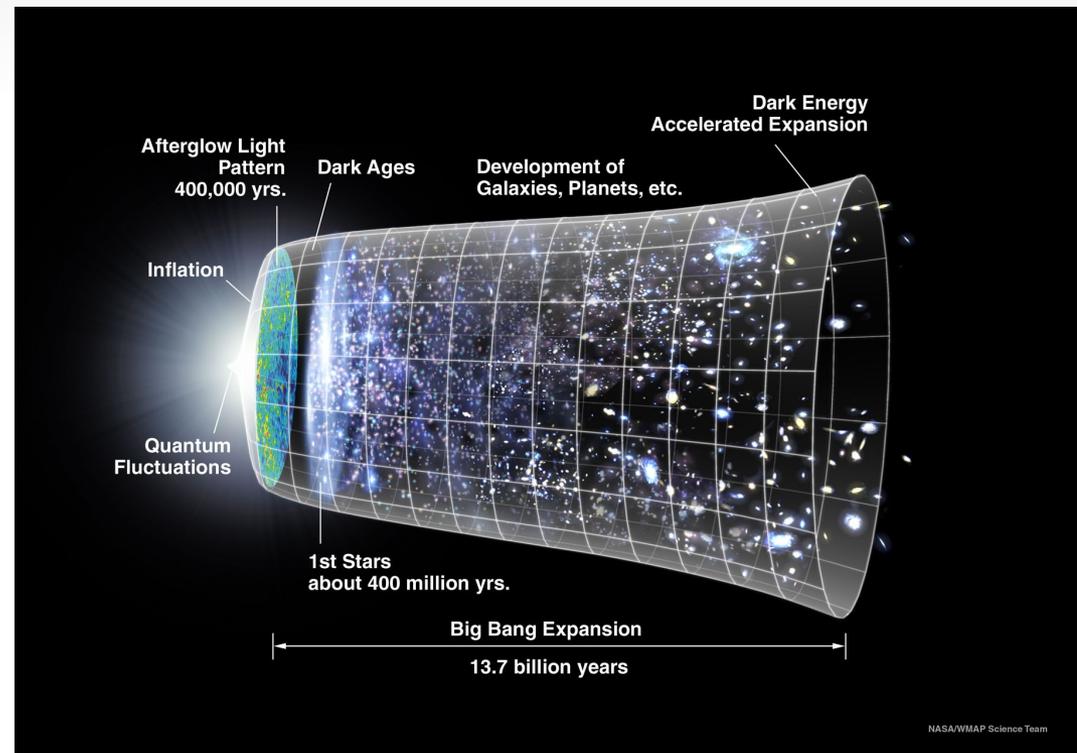
Finalmente, todo esto viene confirmado por estudios del “fondo de radiación de microondas”.

Penzias y Wilson (1965) descubrieron la existencia de una radiación electromagnética homogénea con una temperatura de 2.7 grados Kelvin



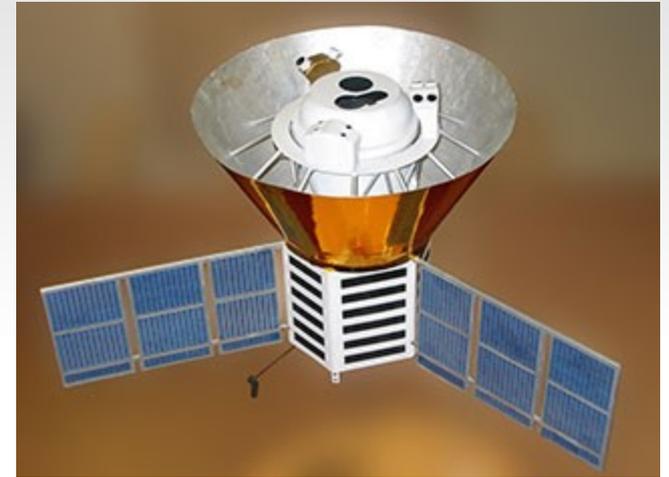
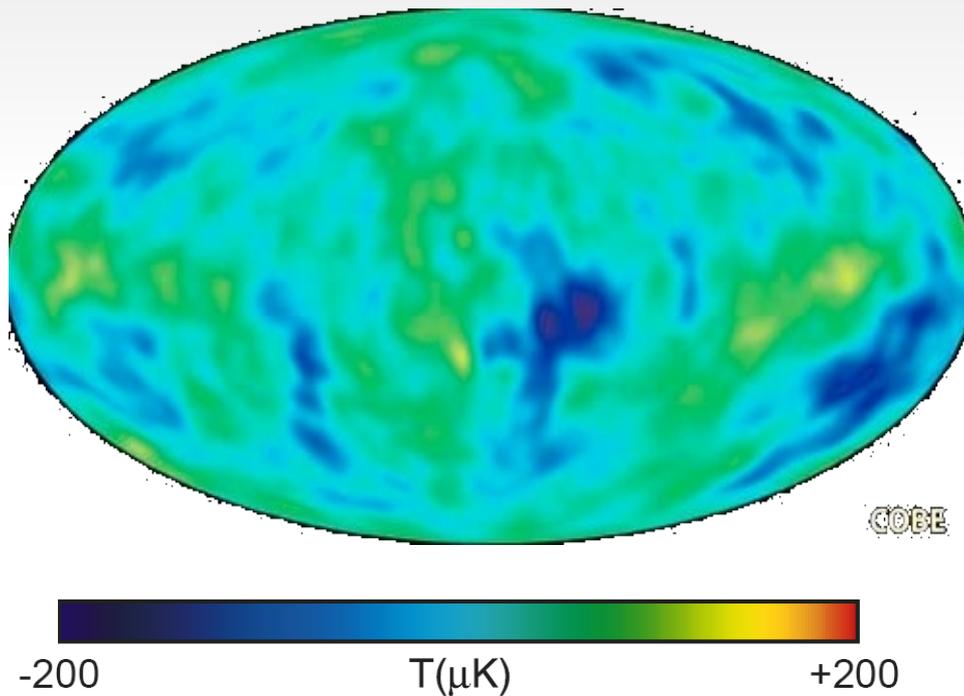
Son los fotones (luz) producidos cuando el Universo tenía “sólo” 400 000 años después del Big Bang.

(¡Es una evidencia del Big Bang!)



Finalmente, todo esto viene confirmado por estudios del “fondo de radiación de microondas”.

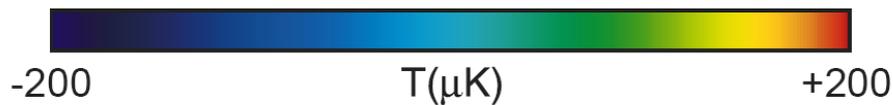
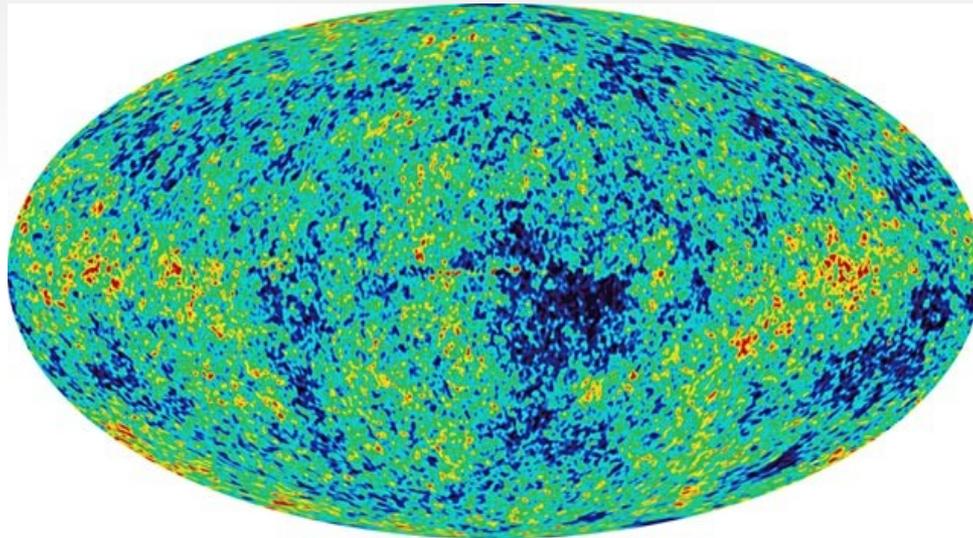
Las medidas del satélite COBE (1989) mostraron pequeñísimas inhomogeneidades de temperatura



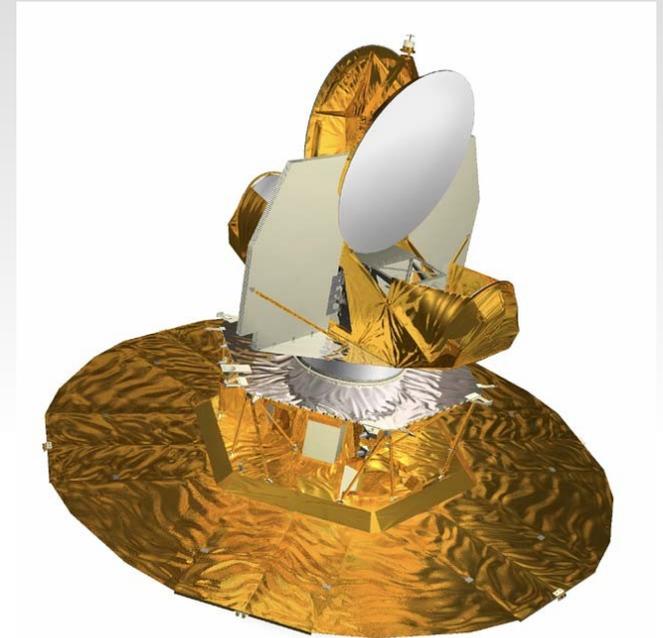
Experimentos posteriores fueron mejorando la precisión de estas medidas

Finalmente, todo esto viene confirmado por estudios del “fondo de radiación de microondas”.

El satélite **WMAP** ha medido la temperatura del fondo de radiación de microondas con gran precisión



Variaciones de pocas millonésimas de grado!



¡Estudiando la estructura de las ligerísimas variaciones de temperatura se pueden conocer los **ingredientes** del universo!

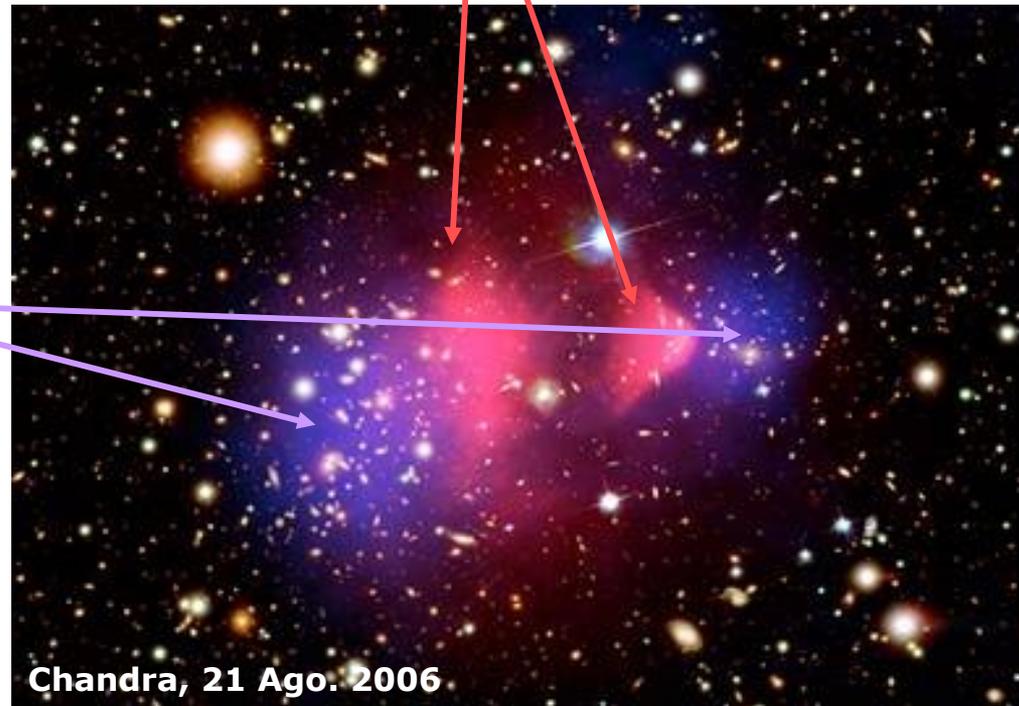
# Cluster Collision

- The different components of a cluster of galaxies behave differently under collision

Hot gas (luminous matter) observed by Chandra

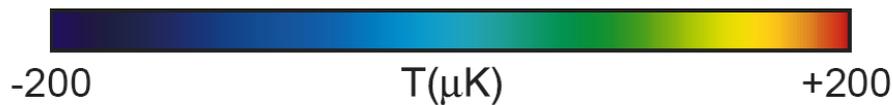
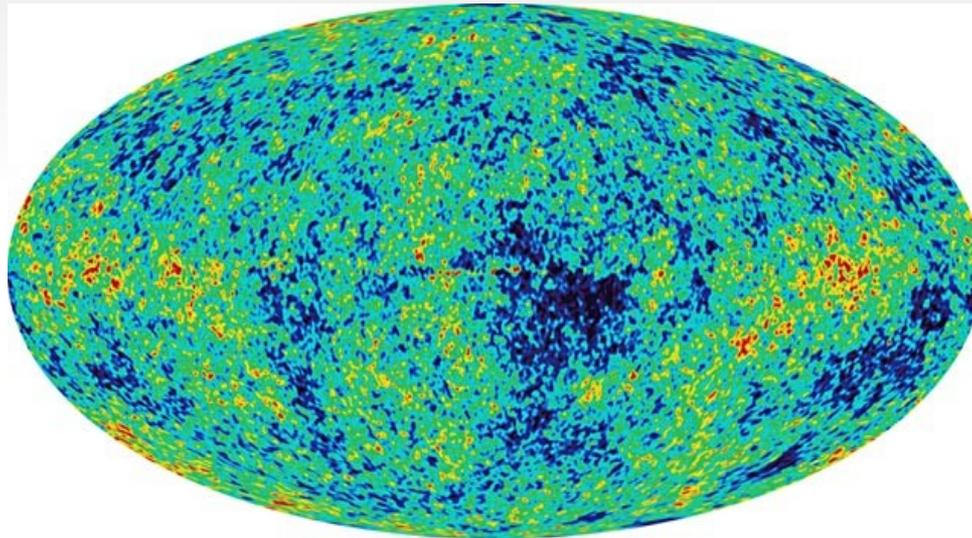
(Collisionless)  
dark matter

(false colour)

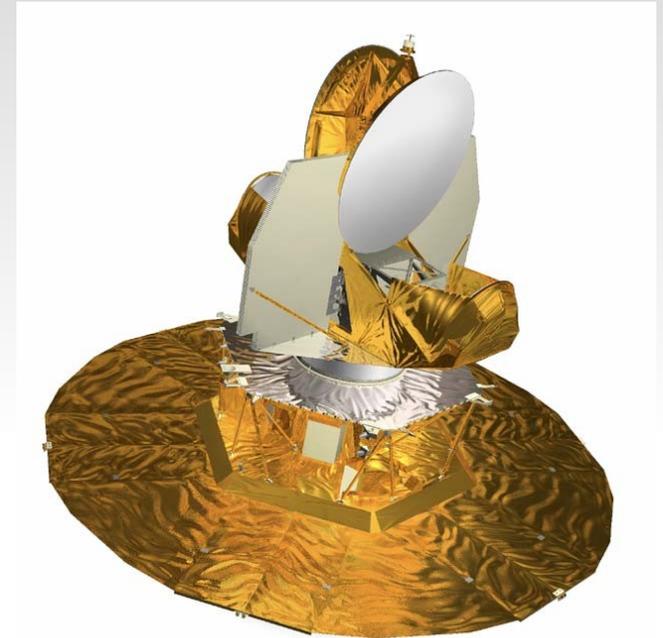


Finalmente, todo esto viene confirmado por estudios del “fondo de radiación de microondas”.

El satélite **WMAP** ha medido la temperatura del fondo de radiación de microondas con gran precisión

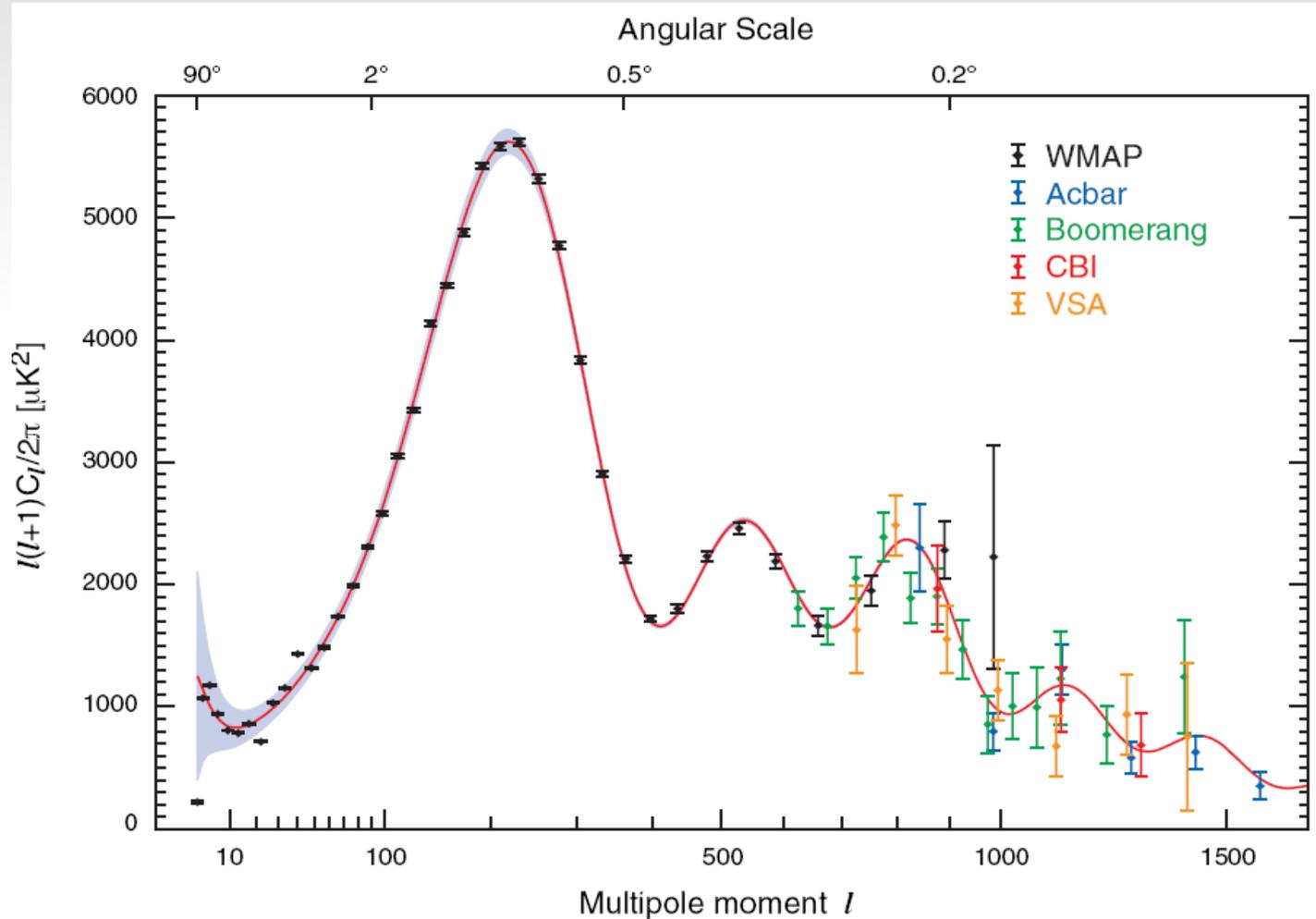


Variaciones de pocas millonésimas de grado!



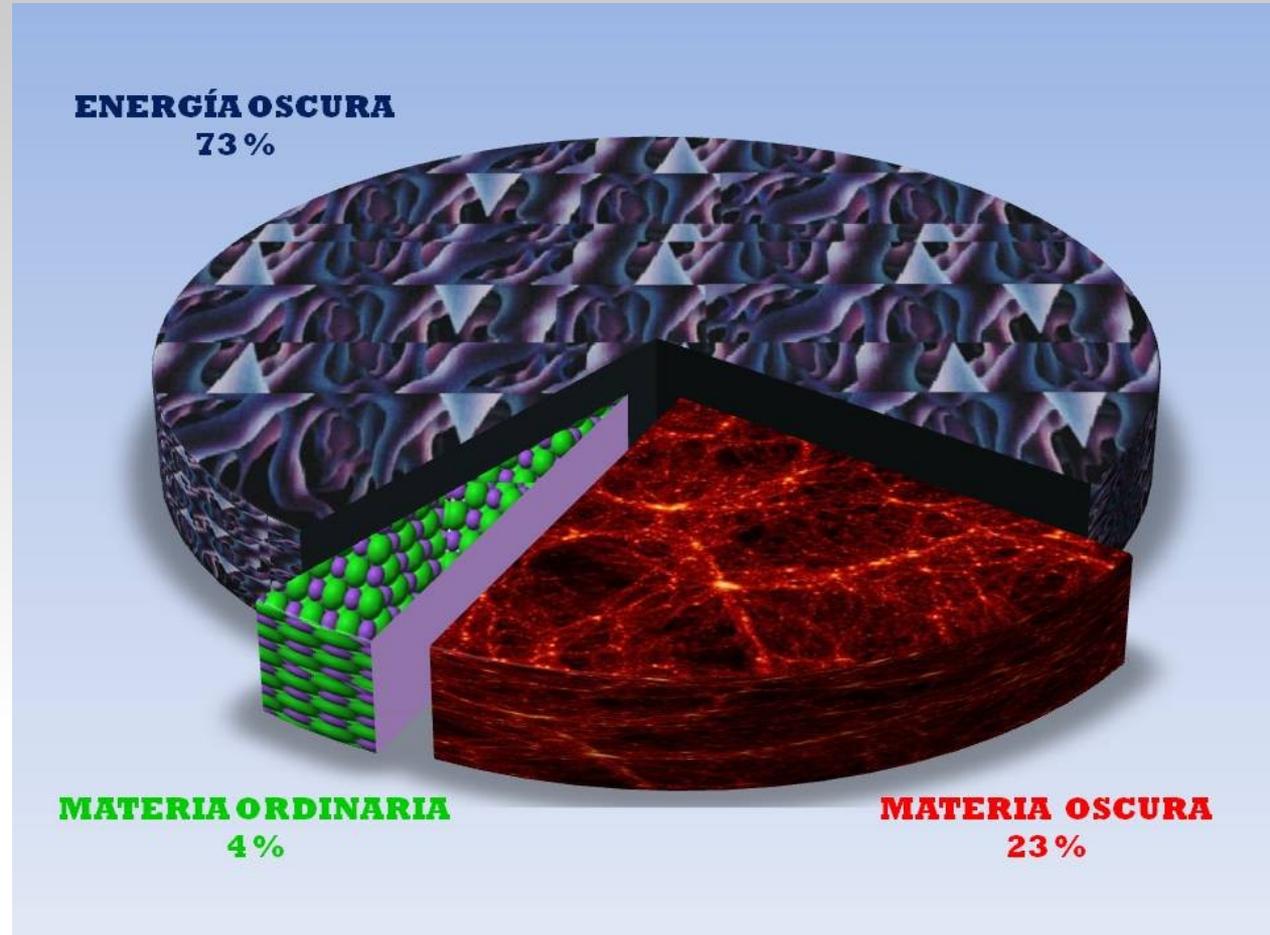
¡Estudiando la estructura de las ligerísimas variaciones de temperatura se pueden conocer los **ingredientes** del universo!

El "espectro de potencias" resultante tiene una estructura con picos y valles



Todas estas observaciones confirman que...

...la materia de la que estamos hechos (quarks y electrones) forma sólo un 4% del Universo



**¡No sabemos de qué está hecha la mayor parte del Universo!**

# WANTED

MATERIA OSCURA



- Oscuro (no emite ni absorbe luz)
- Estable (no se desintegra)
- Frío (no relativista)
- Neutro (no cargado)

¿Qué es la materia oscura?

Conocemos muchas de las propiedades que tiene...

# WANTED

MATERIA OSCURA



- Oscuro (no emite ni absorbe luz)
- Estable (no se desintegra)
- Frío (no relativista)
- Neutro (no cargado)

¿Qué es la materia oscura?

Conocemos muchas de las propiedades que tiene...

¿Quiénes son los sospechosos habituales?



## ¿Puede ser materia ordinaria que no vemos (porque emite poca luz)?

- Planetas, enanas marrones, gas frío... no hay suficientes para explicar toda la materia oscura
- Sería incompatible con la teoría del Big Bang, que predice la abundancia de elementos ligeros (Helio, Litio, etc)

## ¿Puede ser neutrinos?

- Los neutrinos no son suficientemente pesados
- Son relativistas (no compatibles con formación de estructuras)

¡Es un nuevo tipo de materia!

## ¿Qué es la materia oscura?

- No emite ni absorbe luz (es "oscura"-transparente)
- No decae (es estable y existe desde los primeros momentos del Universo)
- No tiene carga eléctrica
- Sabemos cuánta hay

## ¿Puede ser materia ordinaria que no vemos (porque emite poca luz)?

- Planetas, enanas marrones, gas frío... no hay suficientes para explicar toda la materia oscura
- Sería incompatible con la teoría del Big Bang, que predice la abundancia de elementos ligeros (Helio, Litio, etc)

**¡Es un nuevo tipo de materia!**

## ¿Qué es la materia oscura?

- No emite ni absorbe luz (es "oscura"-transparente)
- No decae (es estable y existe desde los primeros momentos del Universo)
- No tiene carga eléctrica
- Sabemos cuánta hay

## ¿Puede ser materia ordinaria que no vemos (porque emite poca luz)?

- Planetas, enanas marrones, gas frío... no hay suficientes para explicar toda la materia oscura
- Sería incompatible con la teoría del Big Bang, que predice la abundancia de elementos ligeros (Helio, Litio, etc)

**¡Es un nuevo tipo de materia!**

# La materia oscura se produce en el Universo temprano

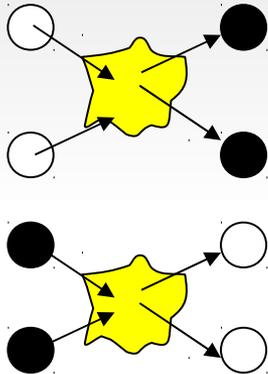
Tiempo

Hoy ~ 14.000 millones de años

Temperatura

$T \sim 3K$

Partículas en equilibrio  
térmico



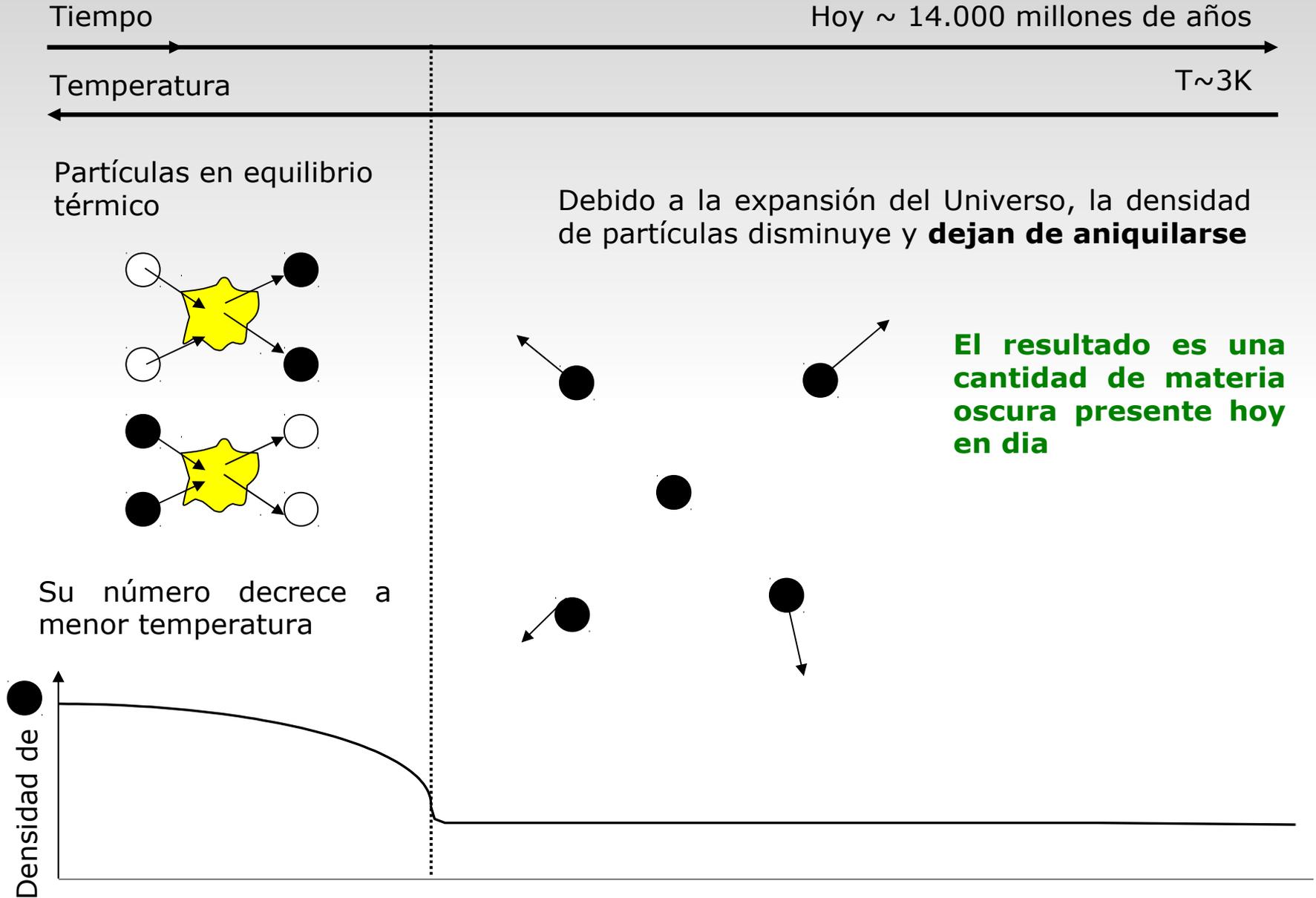
**Producción** por choques de partículas ordinarias  
(quarks, electrones)

**Aniquilación** en partículas ordinarias

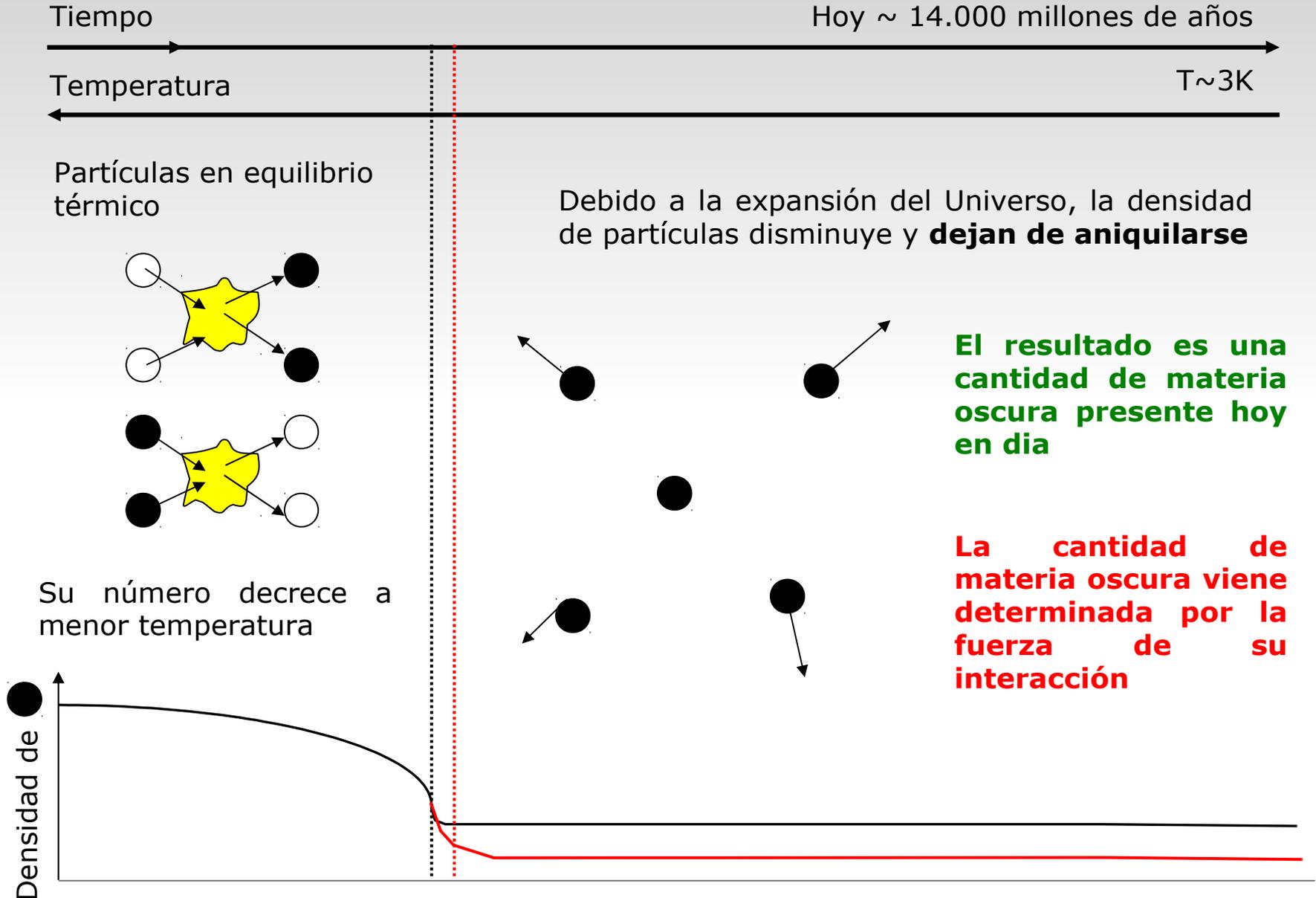
Su número decrece a  
menor temperatura



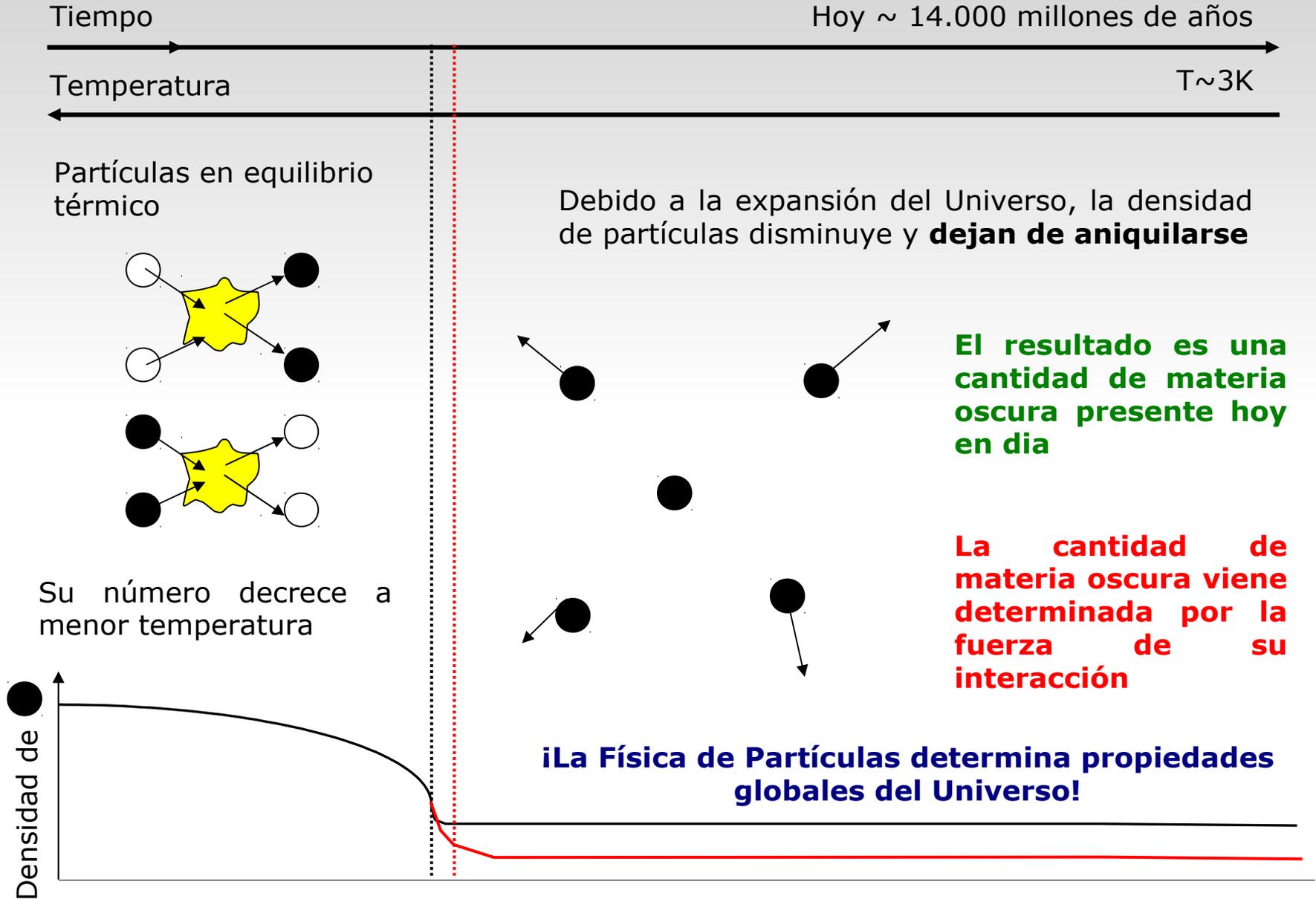
# La materia oscura se produce en el Universo temprano



# La materia oscura se produce en el Universo temprano



# La materia oscura se produce en el Universo temprano



# Qué partículas pueden ser WIMPs?

- Modelo Estándar de Partículas Elementales

Describe de manera unificada tres de las cuatro interacciones conocidas

- Interacción electromagnética
- Interacción débil
- Interacción fuerte

Ingredientes:  
Relatividad Especial + Mecánica Cuántica

## THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	$\gamma$ photon	Force carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	$W$ W boson	
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$g$ gluon	
			Higgs <sup>*</sup> boson		

\*Yet to be confirmed

Source: AAAS

# Qué partículas pueden ser WIMPs?

- Modelo Estándar de Partículas Elementales

Describe de manera unificada tres de las cuatro interacciones conocidas

- Interacción electromagnética
- Interacción débil
- Interacción fuerte

Ingredientes:  
Relatividad Especial + Mecánica Cuántica

El neutrino es

- Neutro
- Masivo
- Con interacciones débiles

## THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	$\gamma$ photon	Force carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	$W$ W boson	
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$g$ gluon	
				$H$ Higgs boson*	

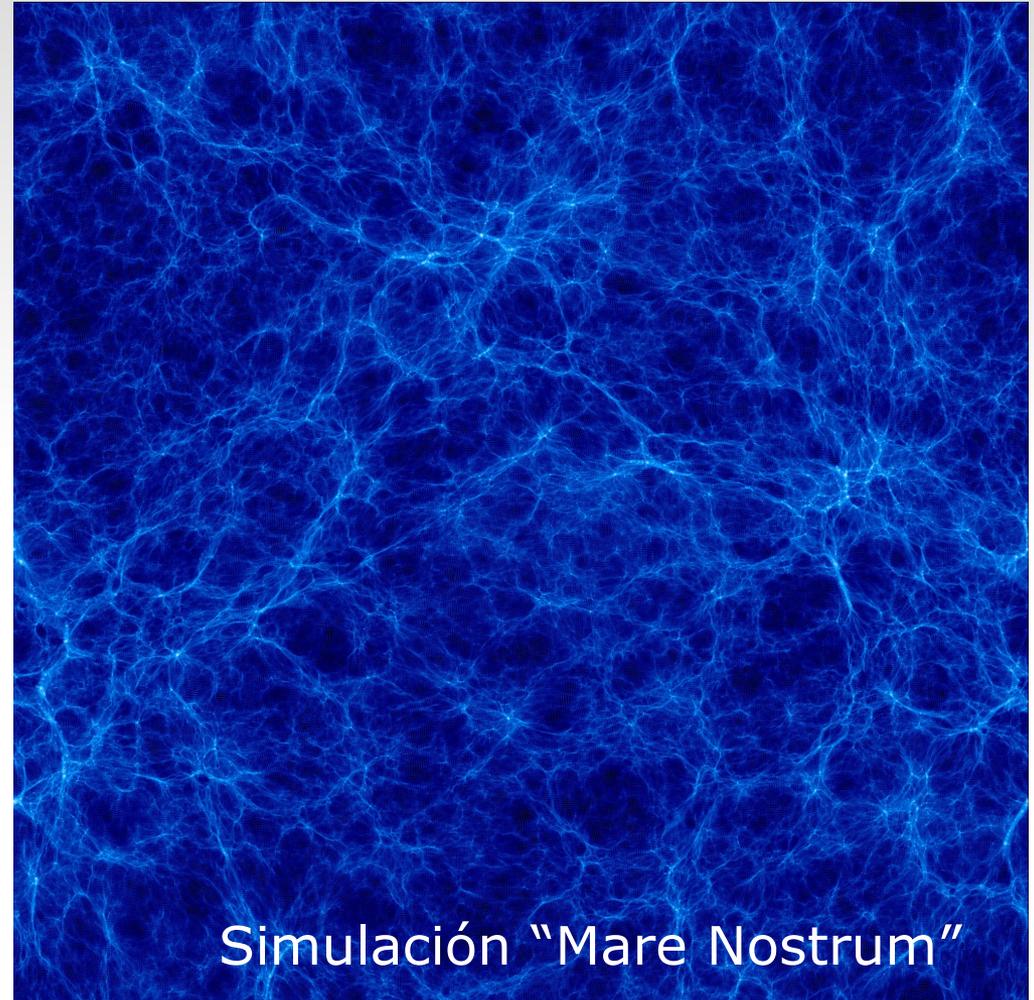
\*Yet to be confirmed

Source: AAAS

El proceso de formación de estructuras en el Universo se estudia computacionalmente por medio de simulaciones numéricas de muchos cuerpos.

La distribución de materia oscura forma una **estructura filamentosa**

Las galaxias se formarían en las regiones con mayor densidad



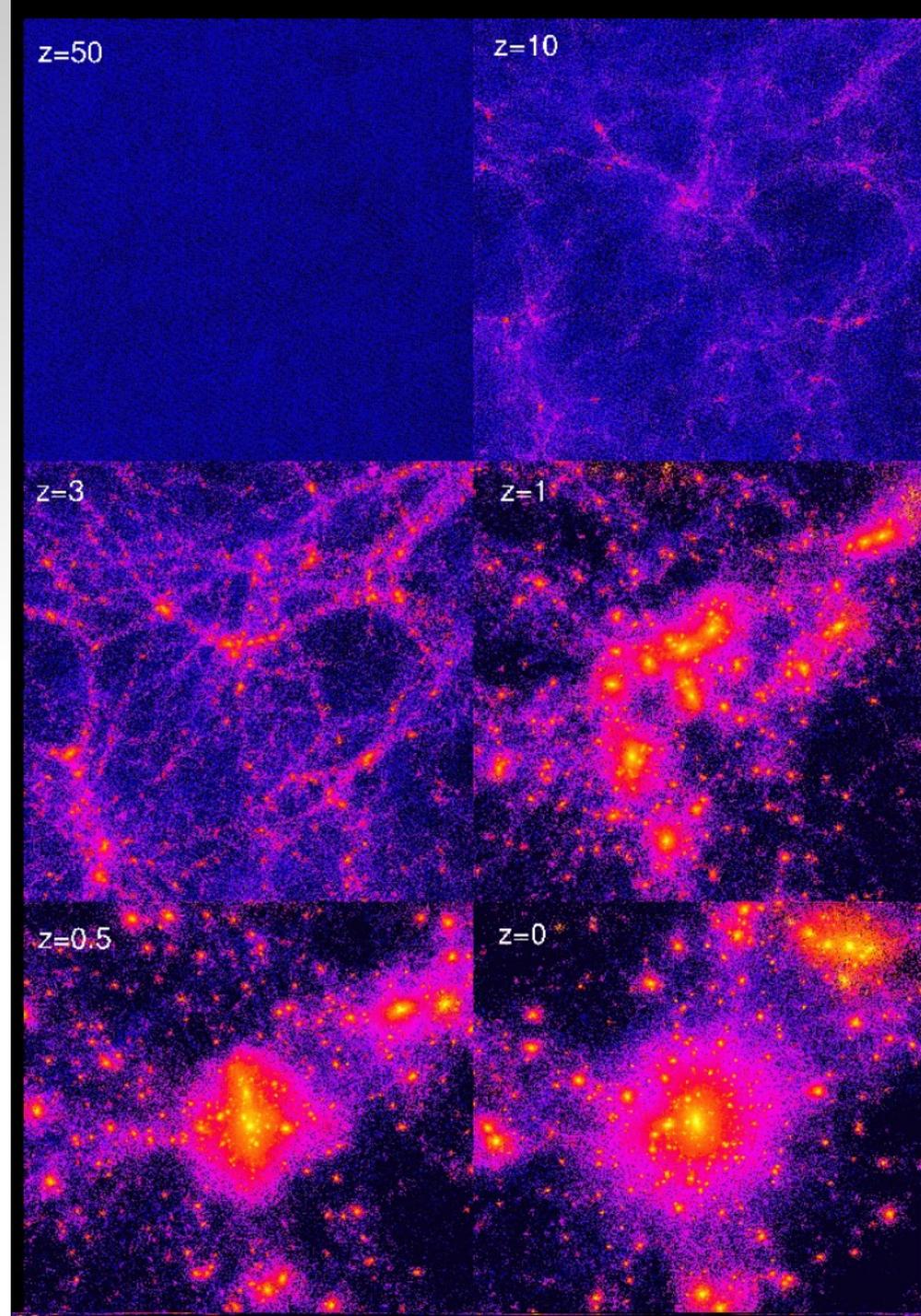
Otro ejemplo del Institute for Computational Cosmology Durham

Los neutrinos son materia oscura "caliente", relativista

Alteran la formación de estructuras, retrasándola y haciendo que se formen primero estructuras grandes.

Incompatible con las observaciones

Además tienen una masa demasiado pequeña



# La solución al problema de la Materia Oscura requiere NUEVA FÍSICA más allá del Modelo Estándar

Nuevas teorías en Física de Partículas

- Supersimetría
- Dimensiones Extra
- Axiones
- Etc...

## THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	$\gamma$ photon	Force carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	$W$ W boson	
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$g$ gluon	
				$H$ Higgs boson*	

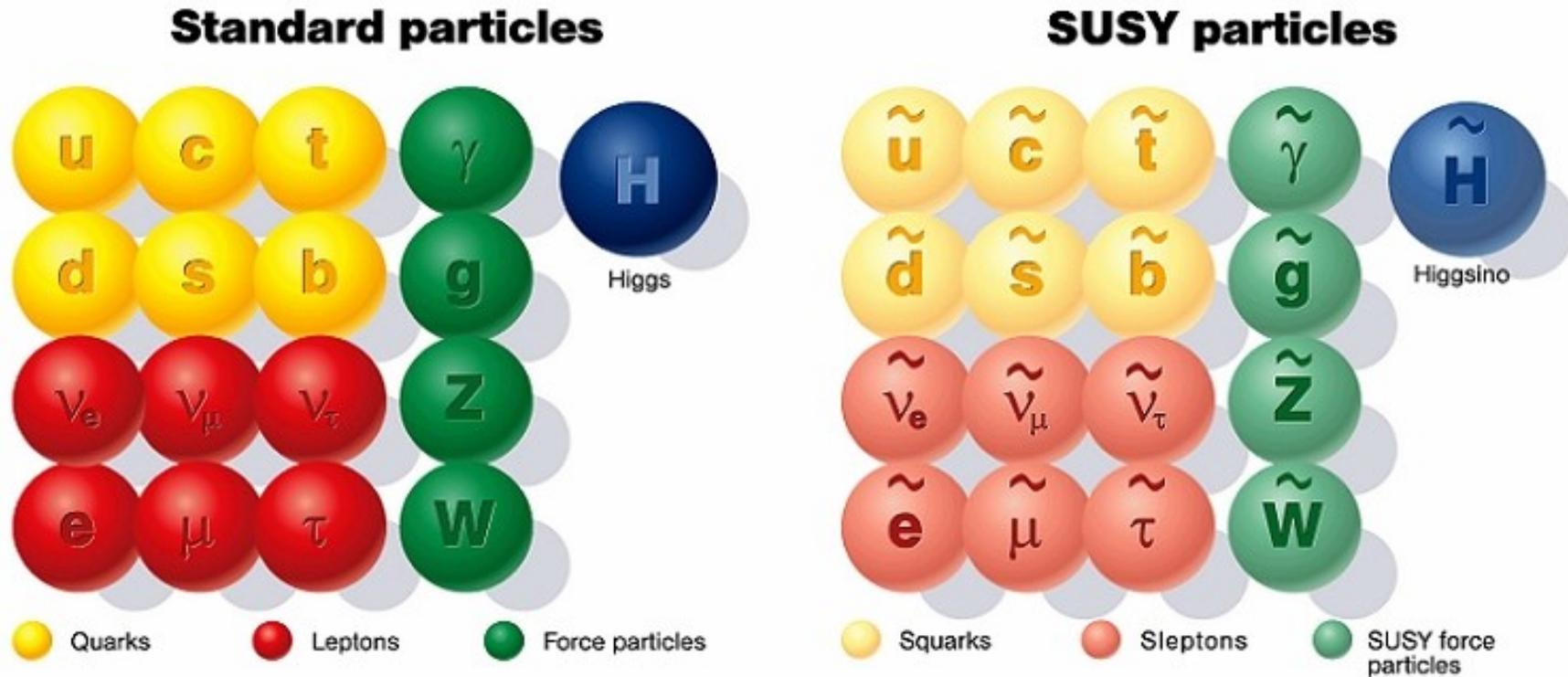
\*Yet to be confirmed

Source: AAAS

## Supersimetría:

Una nueva simetría que asigna a cada fermión (bosón) un bosón (fermión)

Postula la existencia de nuevas partículas más masivas



La partícula supersimétrica más ligera puede ser estable y candidato a materia oscura

## Dimensiones Extra

El universo puede tener más de 4 dimensiones (e.g., si son pequeñas)

Nuevas partículas asociadas a las nuevas dimensiones

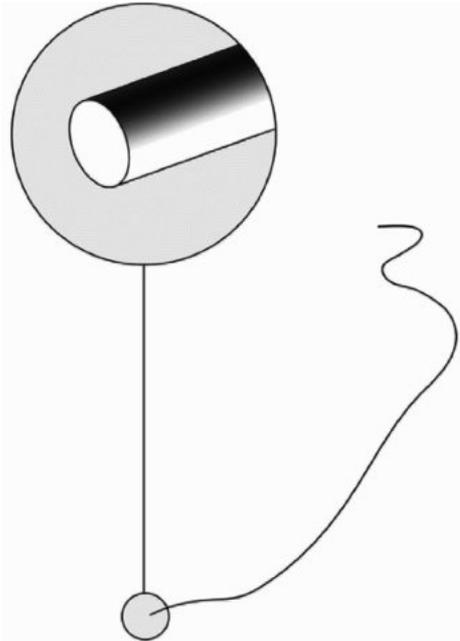


Por ejemplo, una cuerda vista desde lejos parece tener una única dimensión (longitud)

## Dimensiones Extra

El universo puede tener más de 4 dimensiones (e.g., si son pequeñas)

Nuevas partículas asociadas a las nuevas dimensiones



Por ejemplo, una cuerda vista desde lejos parece tener una única dimensión (longitud)

Pero en realidad se trata de un objeto bidimensional

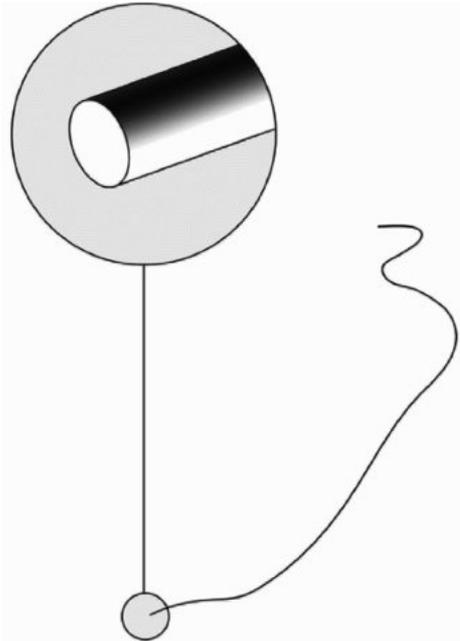
Las nuevas partículas son copias de las partículas del Modelo Estándar pero más pesadas

La partícula más ligera también puede ser candidato a materia oscura

## Dimensiones Extra

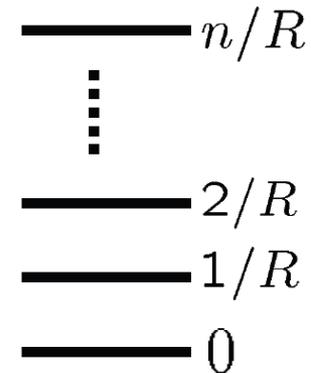
El universo puede tener más de 4 dimensiones (e.g., si son pequeñas)

Nuevas partículas asociadas a las nuevas dimensiones



Las nuevas partículas son copias de las partículas del Modelo Estándar pero más pesadas

$$M \approx R^{-1} \sim TeV$$



La partícula más ligera también puede ser candidato a materia oscura

¿Un nuevo tipo de materia? ..... Nuevas partículas

Necesitamos **NUEVA FÍSICA** más allá del Modelo Estándar de Partículas elementales para explicar la naturaleza de la materia oscura.

Muchas posibilidades **teóricas**:

- Axiones
- Supersimetría
- Dimensiones Extra  
(el universo podría tener más de 4 dimensiones)
- Etc

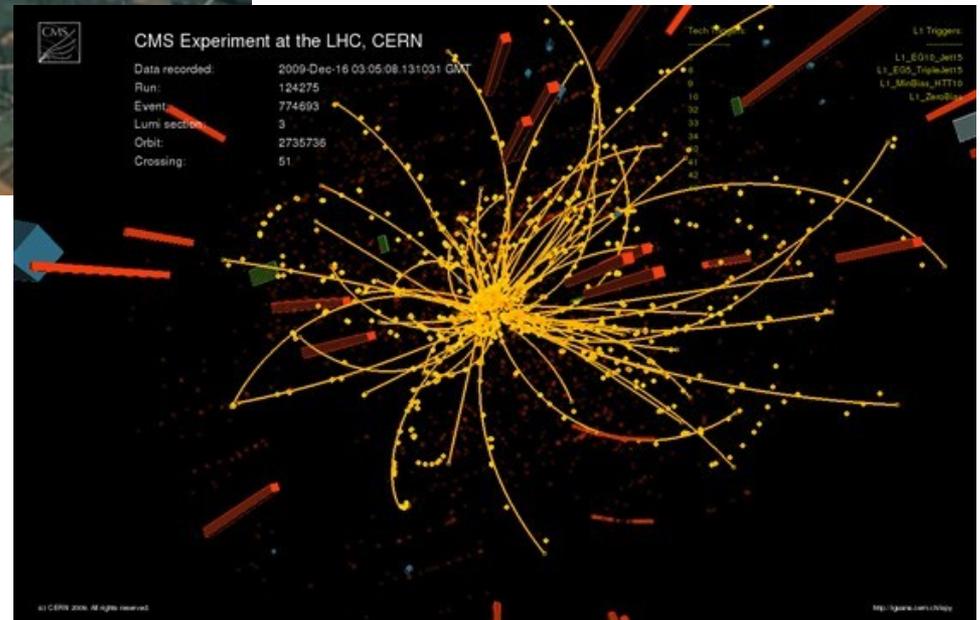


Algunas de estas teorías podrían estudiarse con aceleradores de partículas como el **LHC** (Large Hadron Collider)

En el LHC se consigue una enorme energía mediante el choque de protones



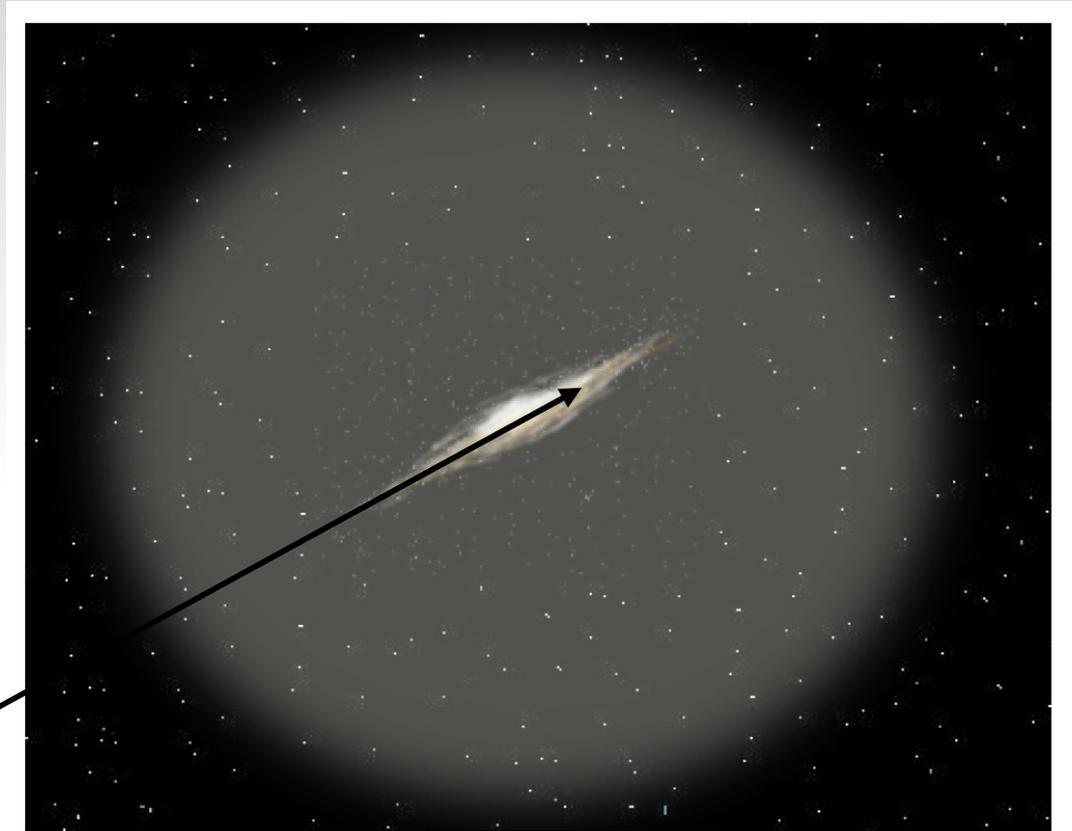
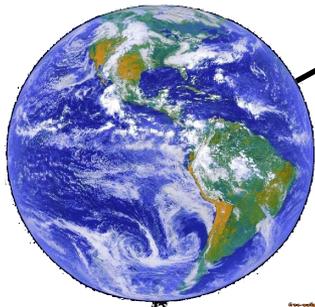
a partir de la cual se crean nuevas partículas (quizás también de materia oscura)



Las galaxias están rodeadas de un "halo" esférico de materia oscura

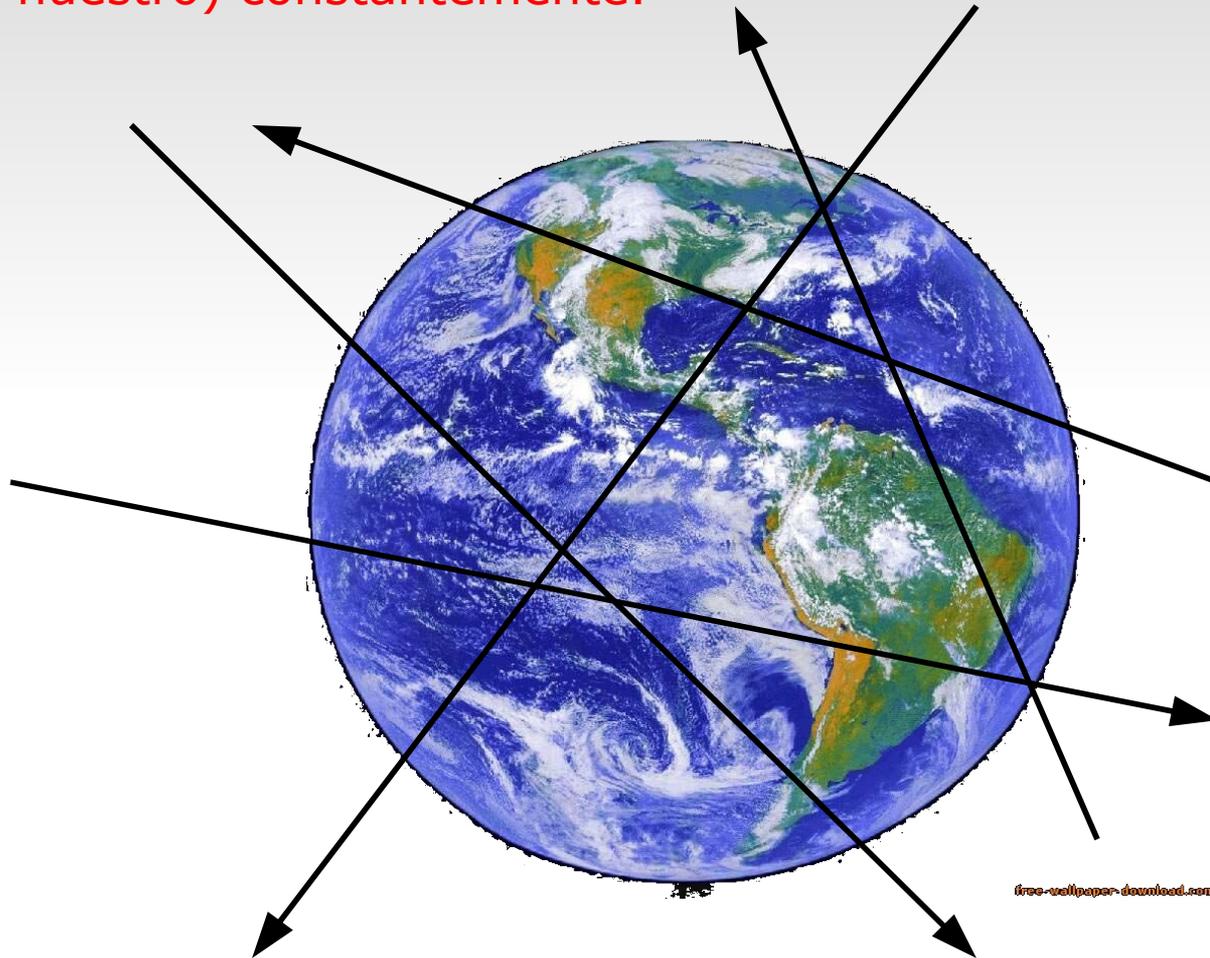
La materia oscura es responsable del **90%** de la masa de la galaxia.

¡Estamos rodeados de materia oscura!



# ¿Cómo la podemos detectar? **BÚSQUEDAS DIRECTAS**

Partículas de materia oscura "cruzan" a través de la Tierra (y a través nuestro) constantemente.



## ¿Cómo la podemos detectar? **BÚSQUEDAS DIRECTAS**

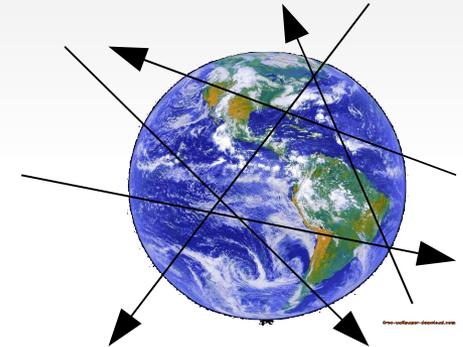
Partículas de materia oscura "cruzan" a través de la Tierra (y a través nuestro) constantemente.

Usando medidas de la velocidad de rotación podemos calcular la densidad de materia oscura en la Vía Láctea

$$\rho_{\text{Dark Matter}} = 5 \times 10^{-24} \text{ g cm}^{-3}$$

Las partículas de materia oscura tienen una velocidad media de

$$v = 300 \text{ km s}^{-1}$$



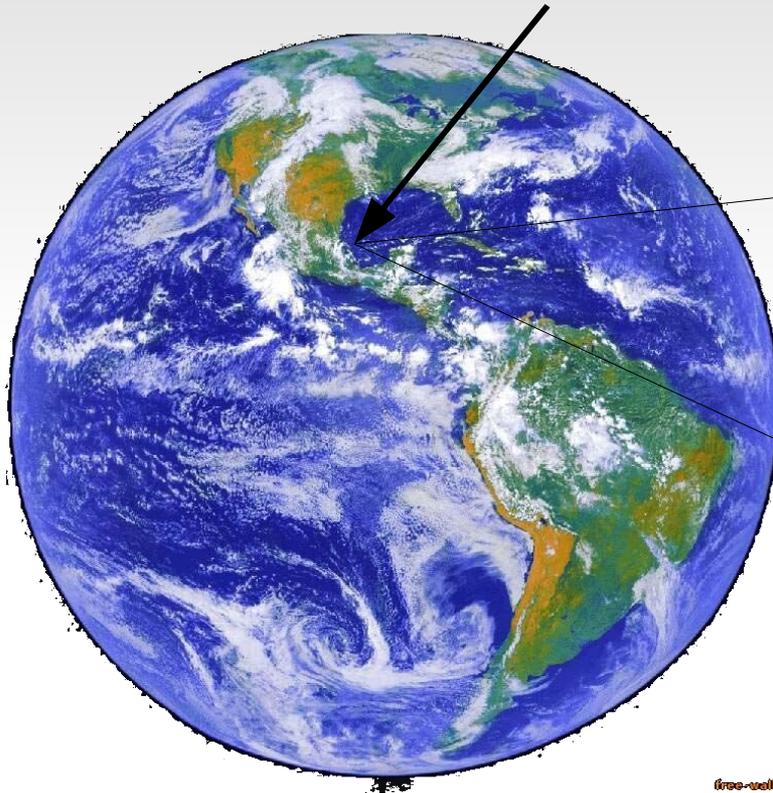
¡Aproximadamente unas **10 000 000 000** partículas de materia oscura nos han atravesado (a cada uno) durante esta charla!

Pero no las notamos....

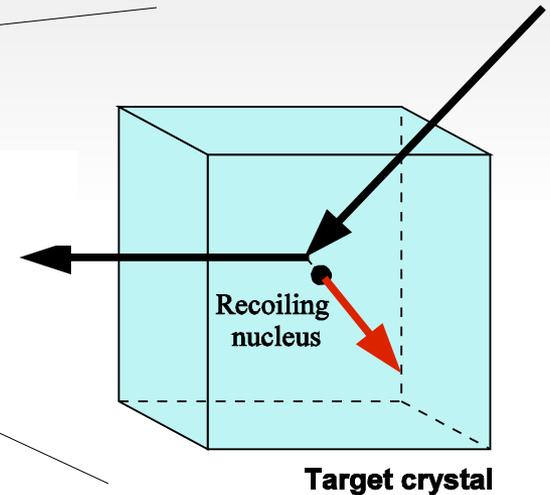
¿Cómo la podemos detectar?

## BÚSQUEDAS DIRECTAS

Podemos emplear **detectores muy sensibles** para buscar estas partículas



La partícula de materia oscura entra en el detector...



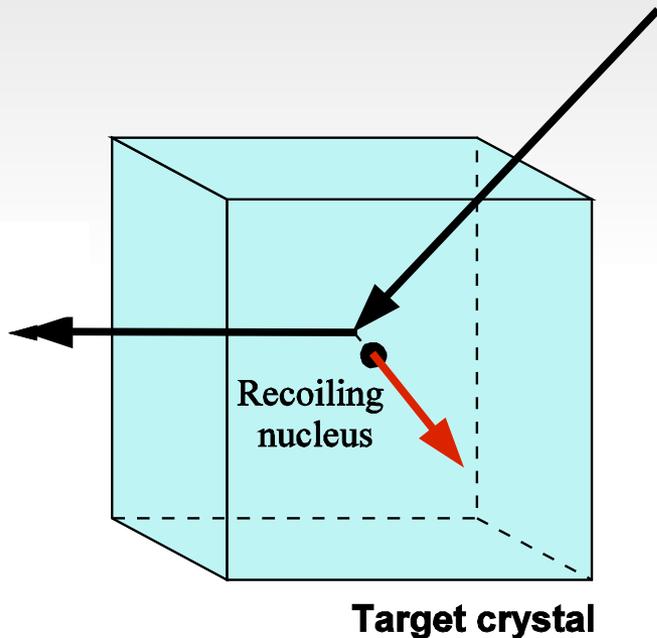
Choca con un núcleo y lo **desplaza**

En experimentos actuales intentamos observar el desplazamiento de núcleos debido a choques con materia oscura

¿Cómo la podemos detectar?

## BÚSQUEDAS DIRECTAS

Podemos emplear **detectores muy sensibles** para buscar estas partículas



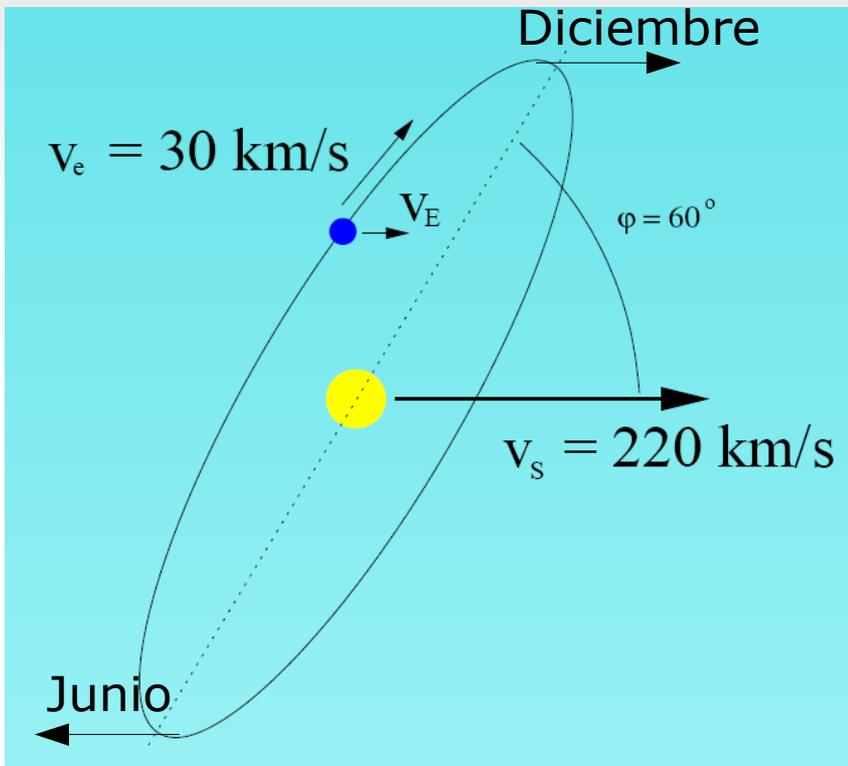
El desplazamiento del núcleo provoca

- Emisión de luz
- Ionización
- Aumento de la temperatura

Los experimentos de detección **DIRECTA** intentan observar estas señales

## Una posible forma de identificar la señal de materia oscura:

La Tierra orbita alrededor del Sol, que a su vez se desplaza alrededor de la Galaxia...

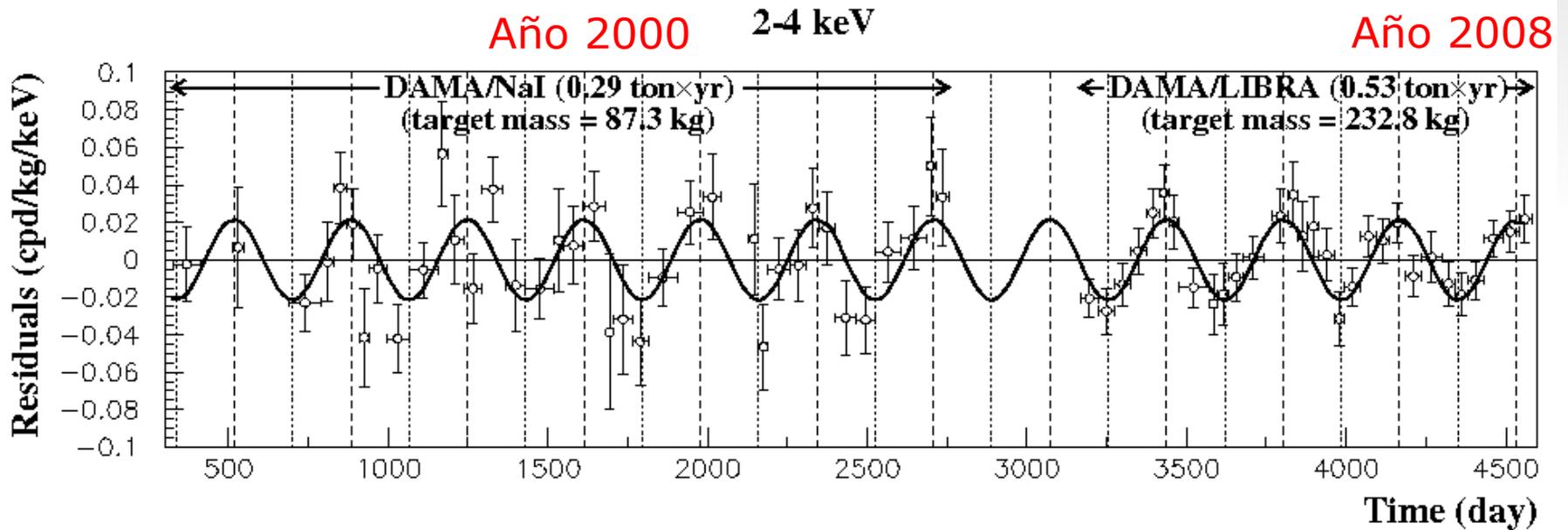


...la velocidad de la Tierra dentro del "gas" de materia oscura depende de la época del año.

Por lo tanto la interacción de materia oscura tiene una **dependencia estacional**

## Un experimento podría haber detectado ya la materia oscura

La colaboración **DAMA/LIBRA** en Italia ha detectado **durante los últimos 10 años** una modulación en su señal, que podría ser compatible con materia oscura



Sin embargo, esta observación no ha sido confirmada por otros experimentos.

Estas partículas interactúan tan poco que los experimentos tienen que estar aislados de otros tipos de partículas...

¡Han de estar bajo tierra para protegerse de los rayos cósmicos!



Los experimentos se "blindan" frente a rayos cósmicos



En su interior, cristales de Yoduro de Sodio detectan retrocesos nucleares emitiendo luz

**ANAIS, Laboratorio Subterráneo de Canfranc**

Estas partículas interactúan tan poco que los experimentos tienen que estar aislados de otros tipos de partículas...

¡Han de estar bajo tierra para protegerse de los rayos cósmicos!



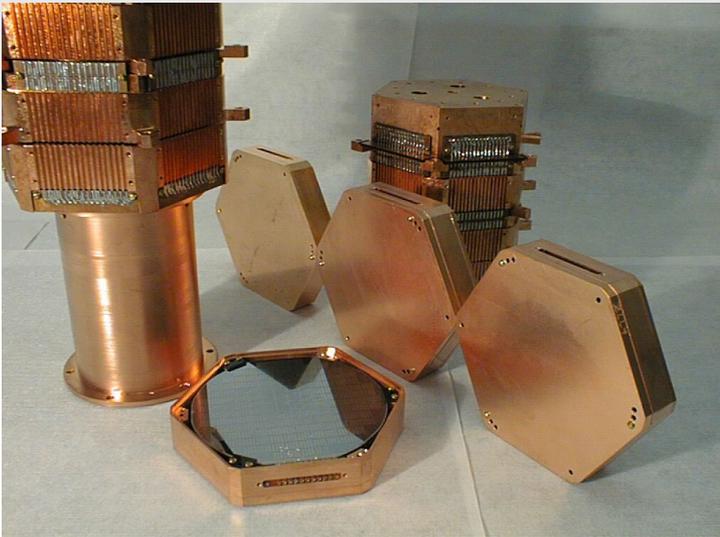
Los experimentos se "blindan" frente a rayos cósmicos



El blindaje ha de ser extremadamente "radiopuro" (p.ej. Plomo arqueológico)

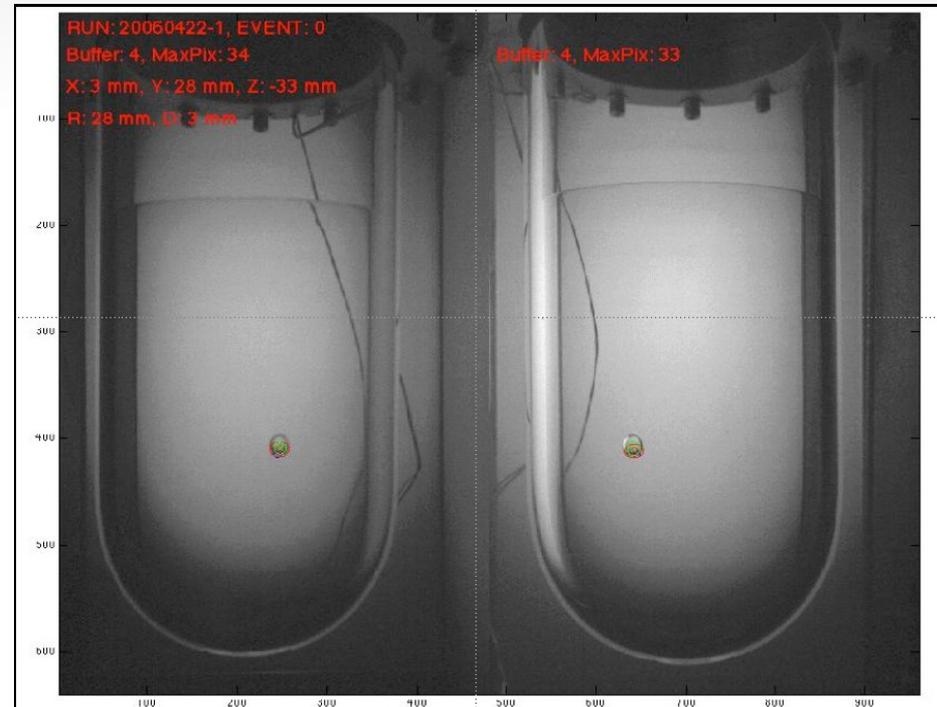
**ANAIS, Laboratorio Subterráneo de Canfranc**

Actualmente otros experimentos alrededor del mundo buscan señales directas de materia oscura, empleando otras técnicas y materiales.



CDMS, Soudan mine,  
Minnesota

COUPP, Chicago

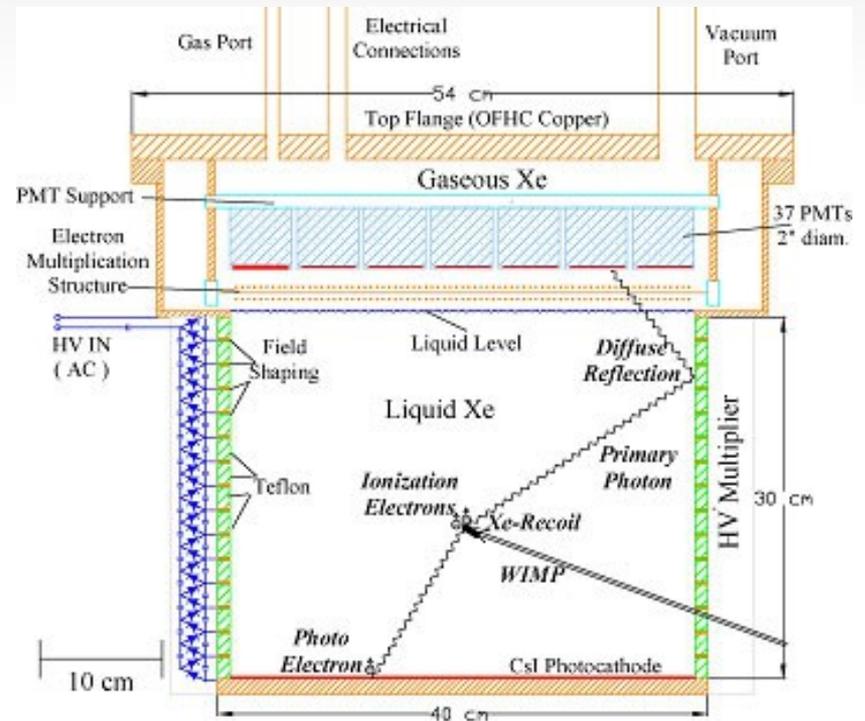


Actualmente otros experimentos alrededor del mundo buscan señales directas de materia oscura, empleando otras técnicas y materiales.



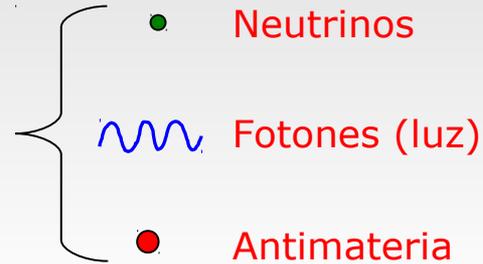
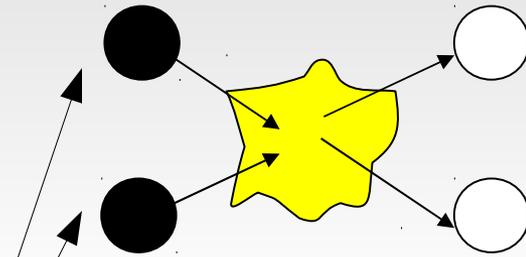
ROSEBUD, Laboratorio Subterráneo de Canfranc

Xenon, Gran Sasso (Italia)



## Otra posibilidad... **BÚSQUEDAS INDIRECTAS**

Las partículas de materia oscura colisionan entre ellas y se aniquilan dando lugar a otras partículas (que intentamos detectar)



### Diversos experimentos:

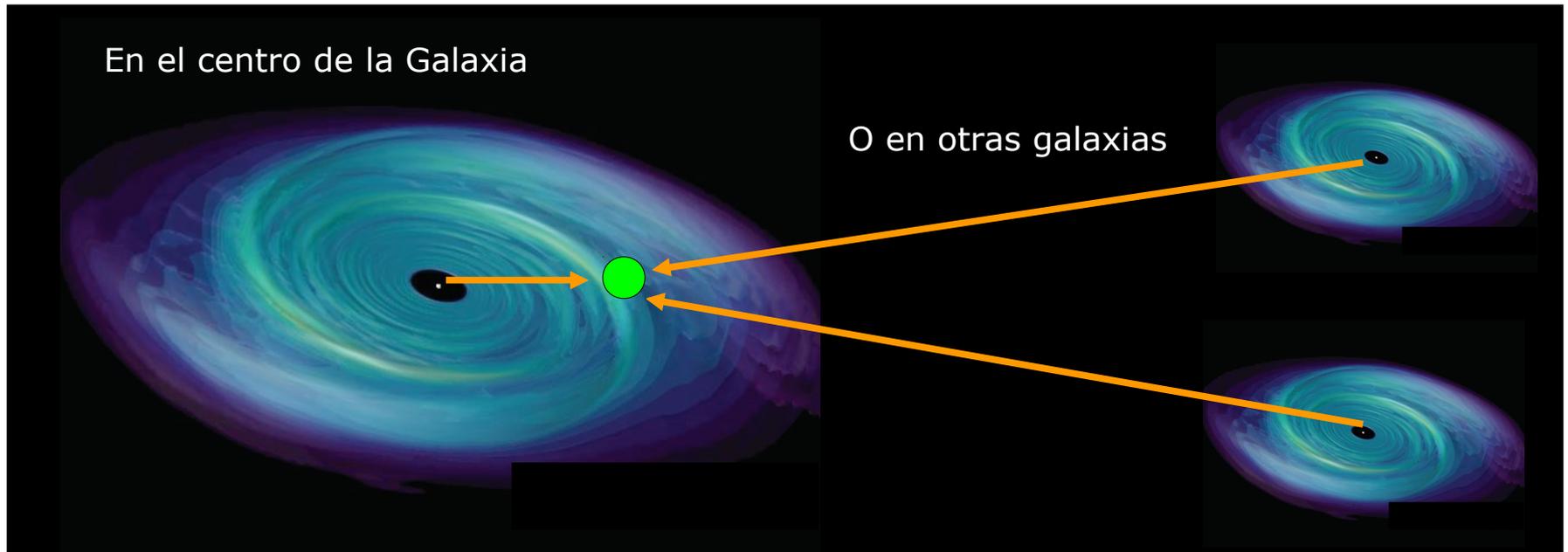
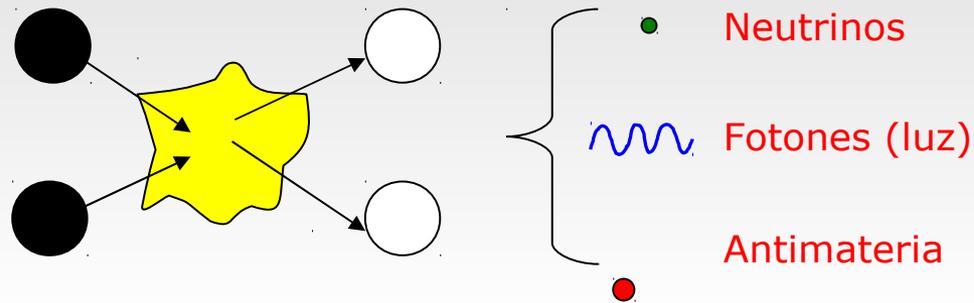
Detectores de neutrinos

Detectores de Rayos cósmicos

Telescopios (para rayos gamma)

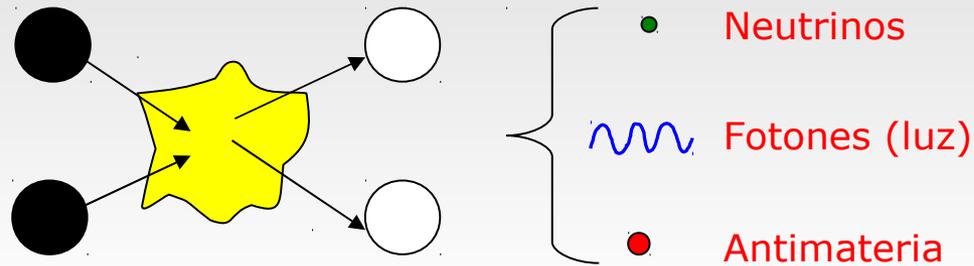
## Otra posibilidad... **BÚSQUEDAS INDIRECTAS**

Las partículas de materia oscura colisionan entre ellas y se aniquilan dando lugar a otras partículas (que intentamos detectar)

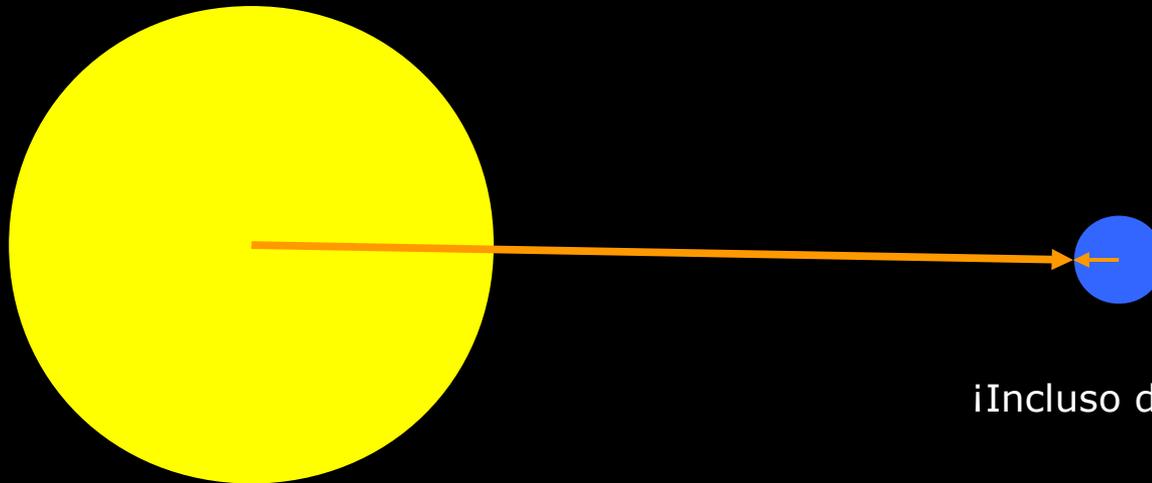


## Otra posibilidad... **BÚSQUEDAS INDIRECTAS**

Las partículas de materia oscura colisionan entre ellas y se aniquilan dando lugar a otras partículas (que intentamos detectar)

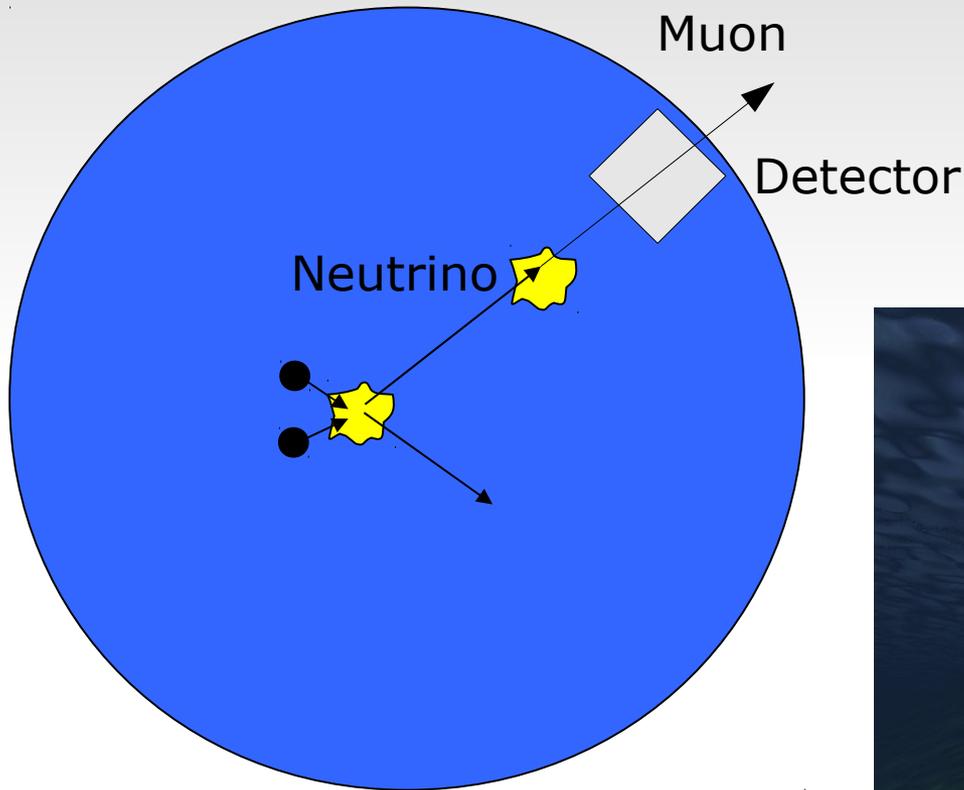


Dentro del Sol

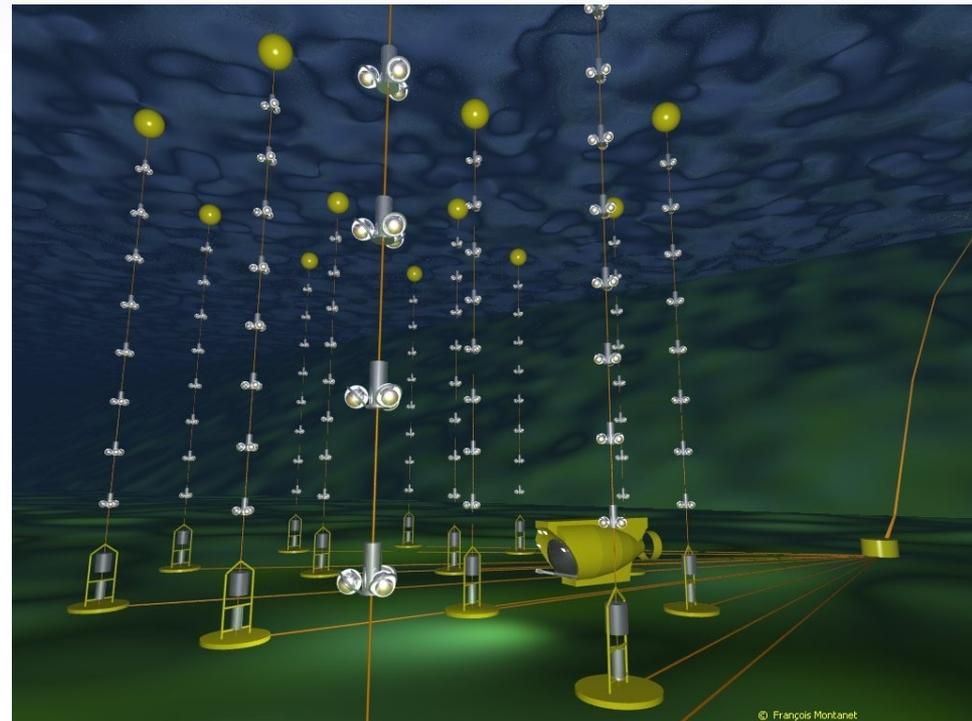


¡Incluso dentro de la Tierra!

La aniquilación de materia oscura dentro de la Tierra puede producir **neutrinos**, que interactúan con la roca y producen muones

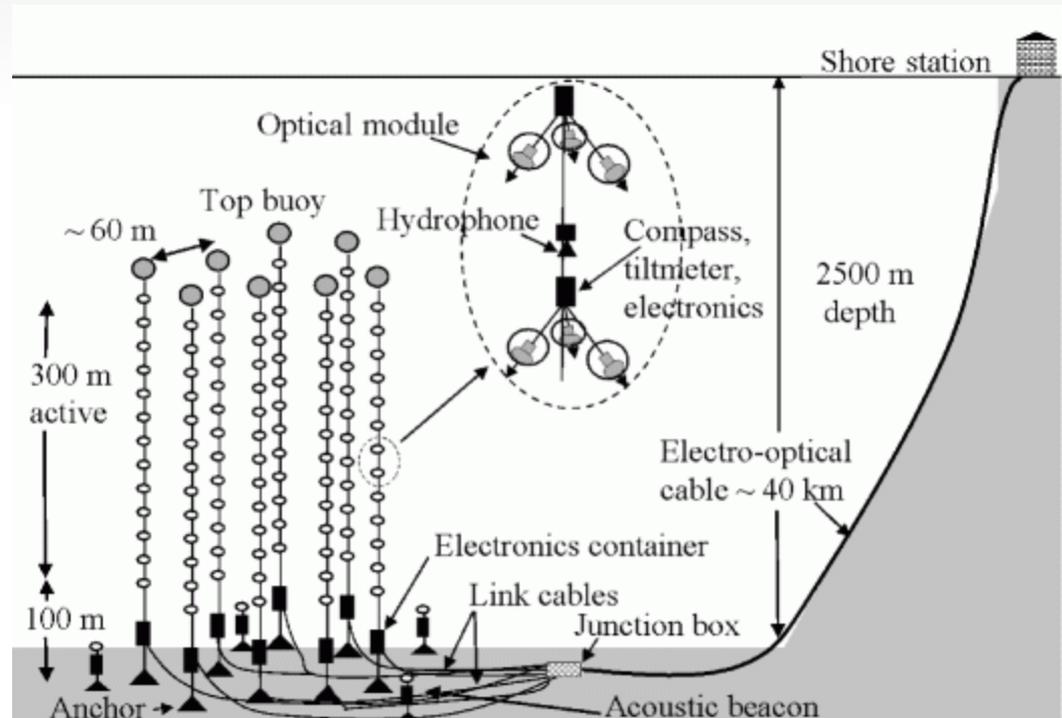


Por ejemplo, el detector **ANTARES** en el Mediterráneo

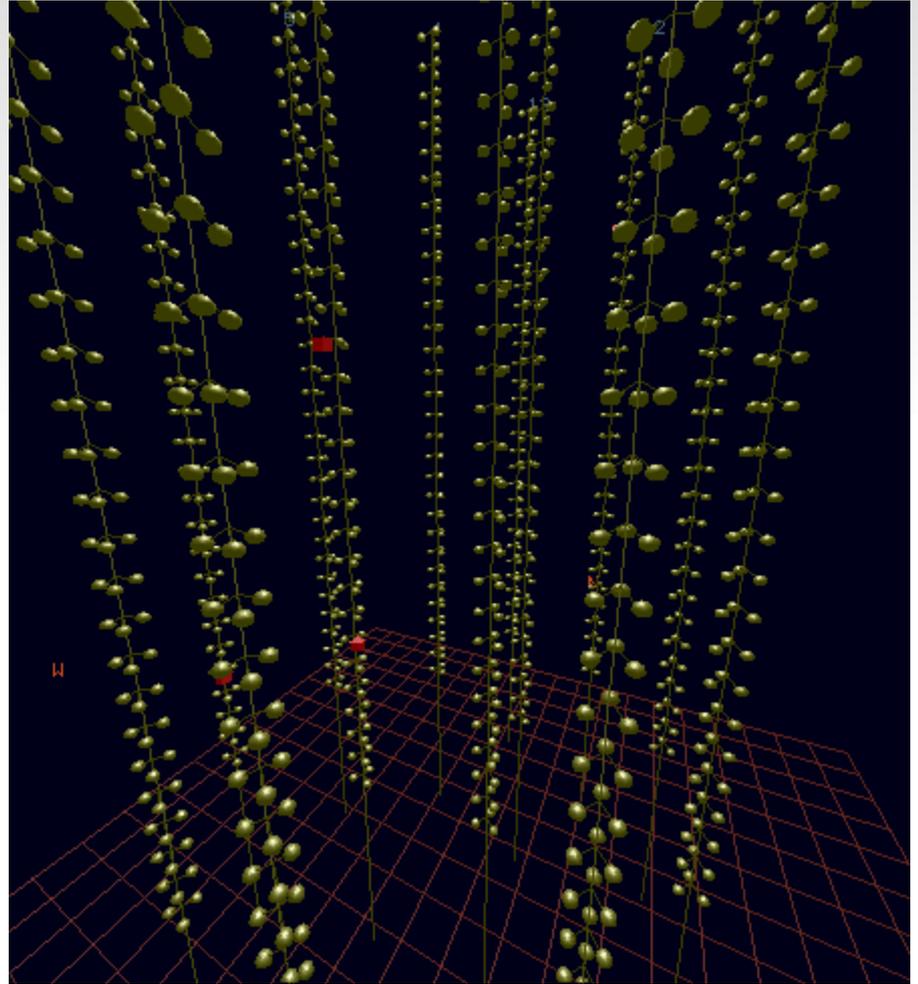


Estos muones se pueden detectar porque producen luz (radiación de Cerenkov) al atravesar agua o hielo

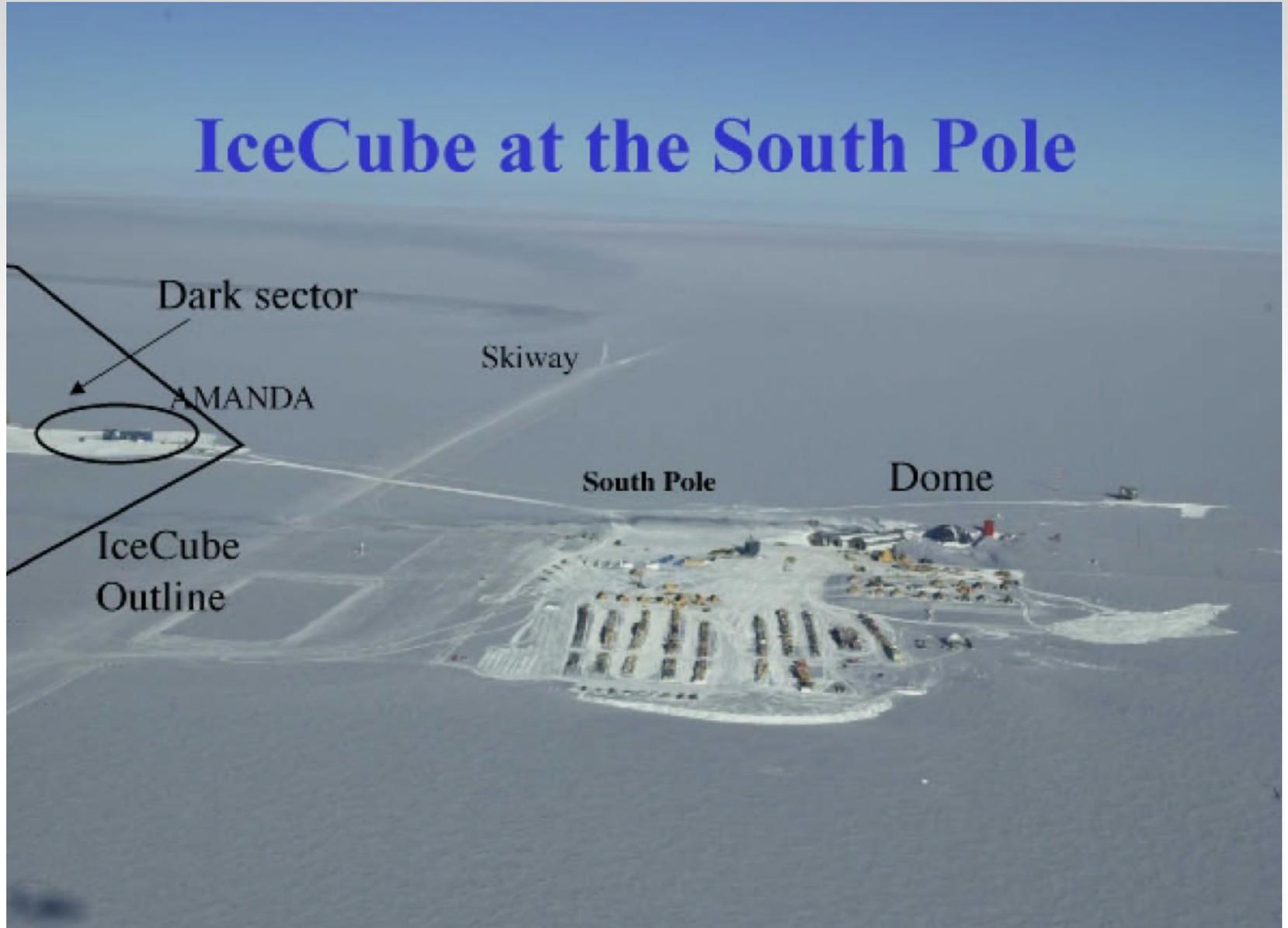
La radiación Cerenkov se detecta con cientos de "ojos" electrónicos



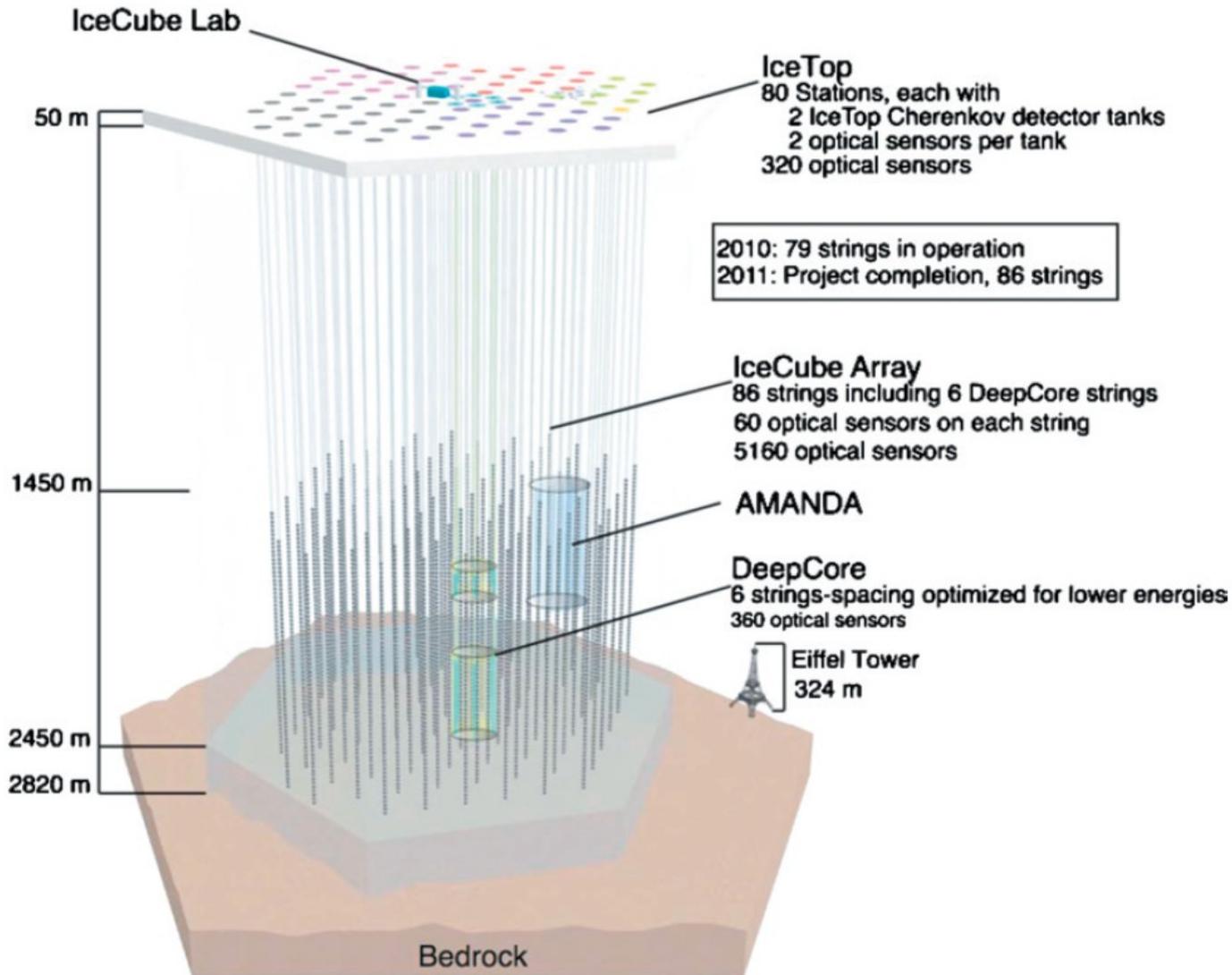
Estos muones se pueden detectar porque producen luz (radiación de Cerenkov) al atravesar agua o hielo



Otro ejemplo es ICECUBE, en la Antártida (a varios kilómetros bajo el hielo)

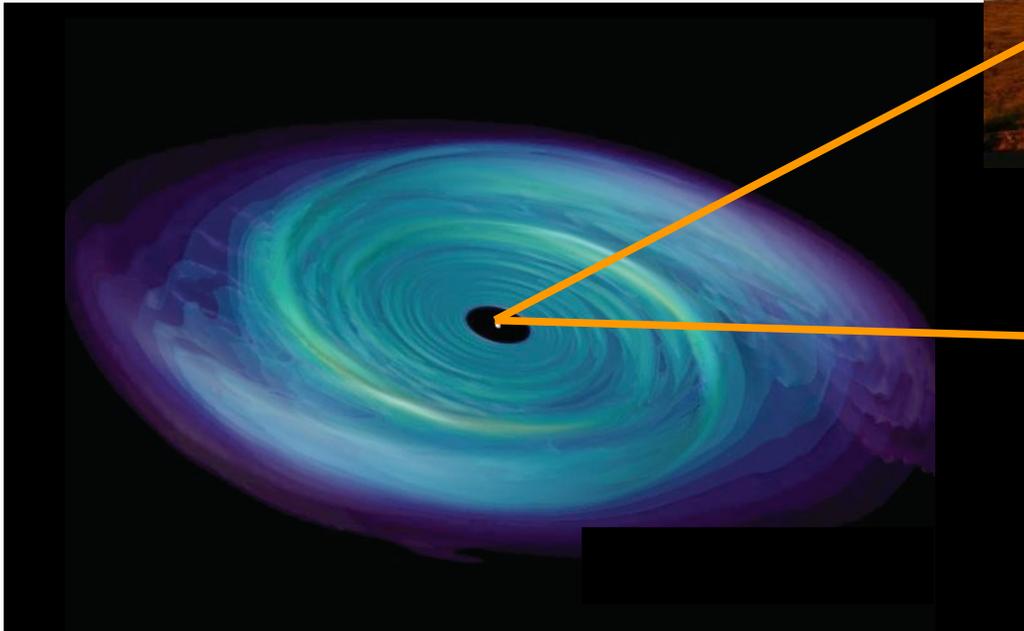


Otro ejemplo es ICECUBE, en la Antártida (a varios kilómetros bajo el hielo)



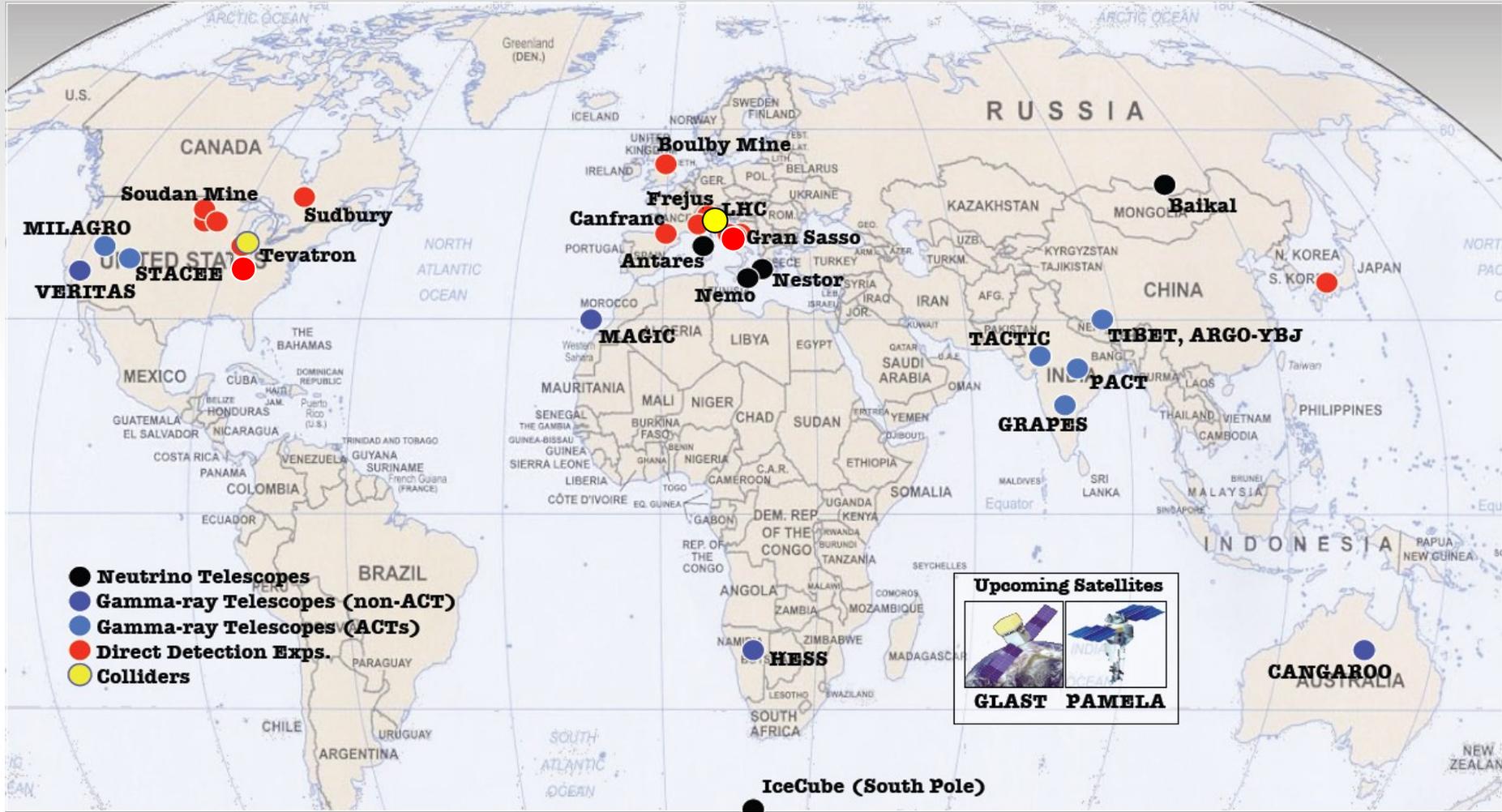
La aniquilación de materia oscura en el halo galáctico se puede detectar con satélites o telescopios

Por ejemplo, el telescopio **MAGIC** en el Canarias (Observatorio del Roque de los Muchachos)



O el satélite **PAMELA**...

# Experimentos de materia oscura alrededor del mundo



# Grupos españoles de detección de materia oscura

---

## Detección directa

Universidad de Zaragoza en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc  
(**IGEX, NaI32, ROSEBUD, ANAIS**)

## Detección indirecta

Instituto de Astrofísica de Andalucía

Instituto Astrofísica de Canarias

Universidad de Complutense de Madrid

Instituto de Física de Altas Energías IFAE (**MAGIC, CTA**)

Universidad de Murcia

Universidad de Alcalá de Henares (**Auger, JEM-EUSO**)

Instituto de Física Corpuscular IFIC

Universidad Politécnica de Valencia (**Antares, KM3Net**)

# Grupos españoles teóricos de materia oscura

---

## Modelos de materia oscura y física más allá del modelo estándar

Universidad Autónoma de Madrid  
Instituto de Física Teórica IFT  
Universidad Complutense de Madrid  
Universidad de Barcelona  
Instituto de Física Corpuscular IFIC  
Universidad de Murcia  
Universidad de Huelva  
...

# Grupos españoles teóricos de materia oscura

---



# Conclusiones

---

La mayor parte del Universo es "OSCURO" y aún DESCONOCIDO

Para explicar la materia oscura necesitamos NUEVA FÍSICA

La materia oscura se podría DETECTAR en experimentos actuales y futuros