

# MATERIA OSCURA

© Rafael González Farfán  
[tychobrahe@wanadoo.es](mailto:tychobrahe@wanadoo.es)  
05 abril 2001

Basándose en 50 años de observaciones acumuladas sobre el movimiento de las galaxias y de Universo en expansión, la mayoría de los Astrónomos creen que el 90 % de lo que constituye el Universo pueden ser objetos o partículas aún no descubiertas. Dicho en otros términos: la mayor parte de la materia del Universo no emite radiación que podamos registrar y observar en el espectro electromagnético. La primera posición sobre esto se fraguó hace unos 60 años por el astrónomo suizo Fritz Zwicky, que la denominó "*materia escondida*", creyendo que ésta estaría en el interior de cúmulos de galaxias. Hoy en día preferimos llamarla "*materia oscura*" pues es la luz, no la materia, la que está desaparecida.

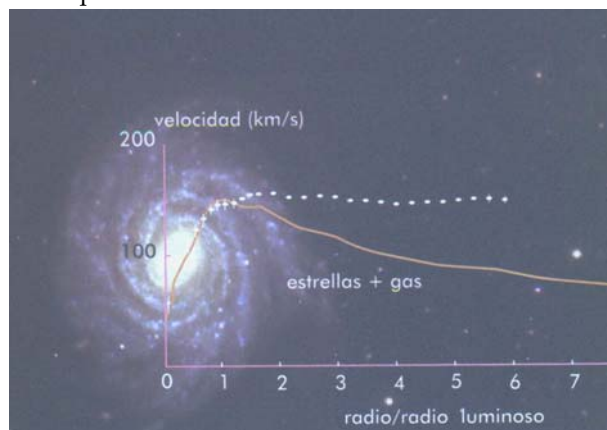
Los astrónomos y los astrofísicos ofrecen una gran variedad de explicaciones para esta materia oscura. Por un lado, se habla de estrellas ultradébiles, agujeros negros pequeños y grandes, gas frío, polvo esparcido por todo el Universo. En general, todo lo que emite o refleja pequeñísimas radiaciones como para ser detectadas por nuestros instrumentos. Incluso hay toda una categoría de objetos oscuros llamados MACHOS (MASSive Compact Halo Objects) que espían invisiblemente en los halos de galaxias y de cúmulos de galaxias. Por otro lado, otra opinión cree que la materia oscura podría formarlas partículas exóticas aún no observadas. Aunque algunas teorías postulan la existencia de tales partículas, lo cierto es que tales no han llegado a la observación. Una tercera alternativa, propone una remodelación de las leyes de la gravitación. En este sentido se ha hecho famosa la conocida como MOND, esto es, dinámica Newtoniana modificada, la cual no goza con muchos adeptos.

En cualquier caso, nuestra ignorancia sobre las propiedades de la materia oscura se ha llegado a relacionar inextricablemente a otros asuntos no bien comprendidos en cosmología, tales como saber cuánta masa contiene el Universo, cuántas galaxias se han formado, y si el Universo se expandirá o no indefinidamente. Tan importante es el asunto de la materia oscura para comprender el tamaño, destino final, y forma de nuestro Universo, que las investigaciones en este terreno dominarán el panorama científico en unas pocas décadas.

## 1. Peculiaridades en las galaxias y en los cúmulos de galaxias.

Tras el descubrimiento, en los años 20, por parte de E. Hubble, de que nuestra galaxia es una más en el Universo, se descubrió que la distribución de las galaxias en el cielo dista mucho de ser regular. Algunas galaxias están agrupadas en cúmulos de cientos de miembros, los cuales se mueven a su vez de acuerdo con las leyes de expansión universales; igual que las galaxias individuales. Al descubrir el primero de estos sistemas, el cúmulo de Coma, el astrofísico Fritz Zwicky dedujo que el movimiento observado de estas galaxias implicaba que la masa total del cúmulo era enormemente mayor que la debida a las estrellas: había una enorme masa invisible. Hoy en día se conocen cientos de cúmulos como los de Coma; todos con "materia invisible".

Aunque la relación entre la masa invisible y la luminosa es ya de por sí intrigante, es también intrigante el saber si esa masa invisible está presente en todo el Universo o sólo en los cúmulos. Si la masa oculta estuviera asociada a cada galaxia, quedaría demostrado que hay masa oculta siempre que hay masa luminosa.



Es fácil determinar la cantidad de materia presente en las galaxias midiendo la velocidad de rotación de las estrellas y el gas luminoso por efecto Doppler. Esa velocidad, en contra de lo esperado, es constante. (ver figura) Hasta el radio en que las medidas son realizables, esta materia representa ya, para cada galaxia, diez veces la masa luminosa, sin que existan indicios de que esa velocidad disminuya a partir de ese radio medido, por lo que la masa invisible ha de ser aún mayor.

Se ha comprobado que existe materia oscura tanto en el interior de las mismas galaxias, en los cúmulos y en escalas mucho mayores. Hay materia oscura en todas partes. Sigue de modo sorprendente las irregularidades de distribución de la materia visible y parece en cierto modo ir emparejada con ella. A grandes distancias, el método usado para medir la distribución de masa invisible es mediante el efecto de las *lentes gravitacionales*. Midiendo el efecto provocado por estas lentes se conocen las irregularidades de densidad. Este método es el mejor empleado, que además, echa por tierra las ideas y predicciones de la MOND.

Parece, por tanto, estar fuera de duda la existencia de esta materia invisible. Sin embargo, la naturaleza de tal nos resulta del todo desconocida. Podrían ser los cuerpos del tamaño de una estrella, pero no luminosos, que los astrónomos llaman MACHOs (Masive compact halo objects). Los estudios realizados en torno a estos objetos han demostrado que si bien es muy posible que existan algunos objetos de este tipo, no bastan para explicar la masa invisible presente en nuestra Galaxia. En este sentido, ni el experimento europeo "Eros" ni el homólogo americano "Macho" han registrado todavía indicios suficientes como para adjudicar un peso importante de esos objetos oscuros a la materia oscura buscada. Aunque los resultados no son totalmente concluyentes, los dos grupos deducen que la materia oscura galáctica no puede estar formada por más de un 10 % de enanas marrones. Ambos equipos realizan la búsqueda de estos objetos "apagados" usando técnicas de lentes gravitacionales y dirigiendo el estudio a las Nubes de Magallanes. Actualmente, los equipos dedicados a este terreno buscan la alternativa en agrupaciones de agujeros negros de una decena de masas solares.

Es más probable que esta materia oscura se encuentre en forma de un gas de partículas masivas que NO emiten radiación, o lo hacen en niveles muy bajos. Una primera hipótesis sería considerar que tales partículas fueran los bariones (protones y neutrones) convencionales. Serían nubes de hidrógeno muy frío, no detectable. Sin embargo, dado que los modelos sobre la nucleosíntesis han puesto un tope al número de bariones posibles, serían necesarios diez veces más de los que hay para poder explicar de este modo el origen de la materia oscura.

Otra posibilidad es que la materia oscura esté formada por neutrinos. Sin embargo, los últimos estudios sobre estas partículas que han logrado medir su masa, hacen pensar que los neutrino podrían ser buenos candidatos a materia oscura si su masa fuera  $10^{-8}$  veces la masa del protón, cosa que hasta ahora no se da. Por métodos similares, se han descartado otras partículas elementales parecidas, aunque se hace una excepción con unas partículas aún no descubiertas -pero postuladas- denominadas *axiones*.

Otra idea que se ha abierto camino desde hace unos 20 años es que la materia oscura esté formada por unas nuevas partículas, todavía no descubiertas, denominadas WIMPS, y que podrían dar explicación a la llamada "materia oscura fría" (CDM). Tales partículas son propuestas por teorías derivadas de la supersimetría. Igualmente existen otras ideas mucho más exóticas que las propuestas.

La gran sorpresa ha venido de la medida de la cantidad de materia oscura por nuevos métodos derivados de la relatividad general y las deformaciones que ésta postula que produce la materia sobre el espacio. Esos métodos permiten medir ciertos parámetros que caracterizan dicha deformación, la cual depende de la cantidad total de materia oscura y no sólo de sus irregularidades. Uno de esos métodos se basa en medidas de las fluctuaciones de la radiación de fondo cósmica, y el otro se basa en mediciones en supernovas del tipo Ia. Resulta que la combinación de estos dos métodos pone de manifiesto que la materia oscura del universo tiene 2 componentes. El primero tiene que ver con la cantidad de materia extensible o compresible y que responde a la gravedad, como la materia visible, los Machos o los Wimps. Tal componente tiene un peso del 30 %. Sin embargo, el 70 % restante, corresponde a una sustancia cuya densidad varía muy poco pese a la

expansión. Podría ser incluso constante, en cuyo caso sería identificable con la famosa “constante cosmológica” de Einstein. Esta componente, sin embargo, ya ha sido previamente considerada, pues la permiten las teorías cuánticas, en especial, las creadas a la luz de la supersimetría, donde el vacío tiene una estructura y puede poseer una densidad de energía NO nula. Tal “nueva” sustancia de la que se habla y trabaja mucho, recibe el nombre de “quintaesencia”, y según muchos cosmólogos es la responsable del observado movimiento acelerado del Universo.

## 2. La pista de la Supersimetría.

Tal y como se ha dicho, parece ser que la mayor parte de la materia oscura no está formada por materia ordinaria, y la hipótesis más verosímil habla de nuevas partículas neutras aún no observadas, parecidas a los neutrinos, pero de mayor masa, conocidas con el nombre de WIMPS, cuya existencia se conjeturó allá por 1970 dentro del marco de las teorías supersimétricas. En esencia, estas teorías tratan de una estructura matemática que en principio permite asociar partículas con espines diferentes. Por ejemplo, permite asociar los bosones (de espín entero) a los fermiones (de espín semientero). Esta es la idea, que conseguiría una atractiva unificación entre fuerza y materia, pero por desgracia las cosas no son tan simples.

En el marco de esta idea, cabe suponer la existencia, para todas las partículas conocidas, de hipotéticas supercompañeras –también llamadas spartículas- cuyos espines difieren de los de las partículas ordinarias en media unidad de momento cinético. Las ideas de supersimetría nos conducen a muchísimas nuevas partículas, y esas mismas ideas son necesarias en la búsqueda de la gran unificación y juegan un papel crucial en el marco de las teorías de cuerdas.

Estas nuevas supercompañeras de las partículas ordinarias se distinguen por una nueva propiedad denominada “R-paridad”, relacionada con su espín. Las spartículas tienen una R-paridad negativa (-1) mientras que las ordinarias la tienen igual a +1. La mayoría de estas partículas han de desintegrarse extremadamente pronto, y sólo la más ligera ha de ser estable si el número cuántico de la R-paridad se conserva. Sería el neutralino más ligero. Se entiende por neutralino, colectivamente, los nuevos fermiones neutros como los fotinos, los zinos y los higgsinos. (ver tabla)

Partículas Ordinarias R-paridad = +1				Spartículas R-paridad = -1	
		Interacción	espín		espín
<b>Bosones (mensajeros de las interacciones)</b>	<i>Gluones</i>	<i>Fuerte</i>	1	Gluinos	1/2
	<i>Fotón</i>	<i>Electromagnética</i>	1	Fotino	1/2
	<i>W+, W-, Z</i>	<i>Débil</i>	1	Winos, zino	1/2
	<i>gravitón</i>	<i>Gravitacional</i>	2	Gravitino	3/2
	<i>Bosón de Higgs</i>		0	higgsinos	1/2
<b>Fermiones (constituyentes de la materia)</b>	<i>Leptones</i>	<i>Electrón,</i>	1/2	Selectrones,	0
		<i>smuones,</i>	1/2	smuones,	0
		<i>tau,</i>	1/2	staus,	0
		<i>neutrinos</i>		sneutrinos	0
	<i>quarks</i>		1/2	squarks	0

Precisamente, este neutralino es el candidato idóneo para formar la mayor parte de la materia oscura buscada, ya que su masa es unas 30 veces más pesado que el protón, y de carga nula. Sin embargo, a pesar de todo, aún no han sido encontrados en los aceleradores.

## 3. En busca de las partículas.

Hay gran número de equipos de científicos que apuestan por las partículas exóticas como los constituyentes de la materia oscura; en particular, apuestan por unas partículas conocidas como WIMPS (siglas inglesas de partículas masivas de interacción débil). La física de altas energías propone un buen candidato dentro del marco de las teorías de supersimetría: los neutralinos, de los que se ha hablado antes. Según el modelo del Big Bang, los neutralinos, si existen, fueron producidos en grandes cantidades durante los primeros instantes del universo. Más tarde, al reducirse la temperatura del plasma, se aniquilaron mutuamente para formar actualmente una población residual estable. Hay evidencias suficientes como para suponer que quedan los suficientes como para explicar la materia oscura.

Desde hace unos 15 años, hay gran número de científicos tratando de detectar esos neutralinos procedentes del espacio. Concretamente, los que supuestamente constituyen el halo de materia que rodea nuestra Galaxia y que gobierna su dinámica interna haciendo que la velocidad de giro sea constante. La idea consiste en detectar el impacto de estas partículas en un detector, lo cual es extremadamente difícil, ya que han de interactuar tan débilmente que se espera un máximo de una colisión diaria por cada kilogramo de materia expuesta. La detección pasa por un incremento de temperatura en los detectores del orden inferior al microkelvin, lo que exige enfriar el instrumental hasta casi el cero absoluto. El conocido como experimento (francés) Edelweiss y el americano CDMS (Cryogenic Dark Matter Search) trabajan en este terreno y sonde los que se esperan resultados.

Otro de los problemas más fundamentales que se han tenido que solucionar es el de las interferencias radiactivas que podrían ahogar los neutralinos buscados. Sin ir más lejos, el K-40 y el C-14 del propio cuerpo humano (con sus 8000 Bq) o las del propio ambiente o instrumentos, es el eje de los problemas. Eso sin contar la radiación cósmica, lo que obliga a trabajar bajo tierra.

En 1997, un grupo chino-italiano de científicos (equipo Dama) anunciaron que habían hallado una señal que correspondía a una partícula de neutralino cuya masa sería 50 veces más masiva que el protón. Sin embargo, la alegría quedó ensombrecida cuando el equipo americano del CDMS no pudo confirmar el hallazgo. La controversia sigue aún abierta, pues ambos equipos y sus resultados ofrecen puntos oscuros.

**Rafael GONZÁLEZ FARFÁN**  
[tychobrahe@wanadoo.es](mailto:tychobrahe@wanadoo.es)