

Fósiles del universo primitivo

Por Marisa Sarsa y Eduardo García



Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), notable astrofísico, cuyo nombre se asocia a la expedición que estudió el eclipse del año 1919 y proporcionó una de las primeras confirmaciones de la teoría de la relatividad general de Einstein, resumió su experiencia de largos años de estudio del Universo en una sugerente frase:

“No sólo el Universo es más extraño de lo que imaginamos, es más extraño de lo que podemos imaginar”.

A comienzos del siglo XXI, esta frase sigue describiendo perfectamente la situación que afrontamos todos los que investigamos en campos próximos a la Astrofísica y Cosmología. A lo largo del siglo XX se ha producido un progreso vertiginoso en la comprensión del Universo, posibilitado por la gran cantidad de observaciones y datos experimentales procedentes de los ámbitos más diversos y recabados mediante las más variadas técnicas. Y, sin embargo, nuevas incógnitas han aparecido en el marco cosmológico

de forma paralela a los avances conseguidos. La interpretación de los datos acumulados requiere disponer de marcos teóricos plausibles (en la actualidad el preferido es el modelo del Big Bang inflacionario) pero el reto que se afronta es comparable a intentar reconstruir un puzle sin estar seguros de que estén todas las piezas, y considerando que podrían faltar piezas clave. La frase de Eddington nos recuerda que en el trabajo científico es imprescindible tener la mente abierta a nuevas soluciones para los problemas que la realidad plantea, más allá del marco que imponen las teorías establecidas.



Al interpretar y tratar de compatibilizar todas las observaciones astronómicas y cosmológicas en el marco cosmológico estándar se configura un modelo sorprendente de Universo: el 96% de su contenido en materia y energía se encuentra en formas desconocidas e invisibles para los métodos de observación convencionales. Sólo sus efectos gravitatorios las han puesto en evidencia y, a causa de ello, se las denomina materia oscura y energía oscura. La materia oscura no emite ningún tipo de radiación electromagnética, pero contribuye de forma dominante a la masa total de galaxias y cúmulos de galaxias, por lo que ha desempeñado un papel fundamental en los procesos de agregación gravitatoria que dieron lugar a las estructuras que se observan en el Universo actual. La energía oscura se introduce en el modelo cosmológico al tratar de explicar la aceleración observada en el ritmo de expansión del Universo desde hace algunos miles de millones de años: se precisa alguna nueva forma de energía capaz de contrarrestar la atracción gravitatoria que experimenta la materia y que frena dicha expansión.

Investigar la naturaleza de la energía oscura requerirá disponer de datos muy precisos de la distribución y las velocidades de recesión de galaxias muy lejanas en esfuerzos observacionales dedicados específicamente a este fin. En esta línea, uno de los proyectos destacados instalará su telescopio en la Sierra de Javalambre, Teruel. Si nos centramos en la investigación de la naturaleza de la materia oscura, los cálculos de la nucleosíntesis primordial, que en los primeros tres minutos de la vida del Universo configuró más del 99% de su composición química, descartan a los bariones (materia ordinaria) como responsables de esta materia oscura, en cualquiera de las formas que los pudiéramos combinar. La ausencia de emisión electromag-

Son muchos los argumentos que conducen a la existencia de grandes cantidades de materia oscura en las galaxias, en los cúmulos de galaxias y a escala cosmológica. Como ejemplos podemos citar, en primer lugar, la dinámica de los cúmulos de galaxias. Las velocidades internas de las mismas y la temperatura del gas que los cúmulos contienen son demasiado elevadas para permitir su estabilidad, de acuerdo con la masa total que su luminosidad permite atribuirles. Una solución a este problema, conocido desde 1933, plantea que la masa total de los cúmulos es mucho mayor que la visible de forma que el pozo de potencial gravitatorio es lo bastante intenso para mantener ligadas las galaxias y el gas. Podríamos compararlo con un líquido que adopta una forma determinada y, sin embargo, no vemos ningún recipiente que lo contenga; todo nuestro conocimiento acumulado nos diría que es imprescindible un continente aunque no lo veamos. La materia oscura sería el continente que no vemos en los cúmulos de galaxias.



La estabilidad de los cúmulos de galaxias es un argumento a favor de la existencia de la materia oscura.

A escala galáctica, los principales indicios de la existencia de materia oscura provienen de las observaciones de altas velocidades de rotación de estrellas y nubes de hidrógeno a grandes distancias de los núcleos galácticos que concentran la mayor parte de la masa visible de las galaxias. La dinámica newtoniana no permite entender estas altas velocidades sin la incorporación de grandes cantidades de materia oscura que, en forma de halos galácticos, se extiendan hasta distancias del orden de 10 veces el radio de la galaxia visible.

Fósiles del universo primitivo



El 96% del Universo parece encontrarse en formas de materia y energía desconocidas para los métodos de observación convencionales.

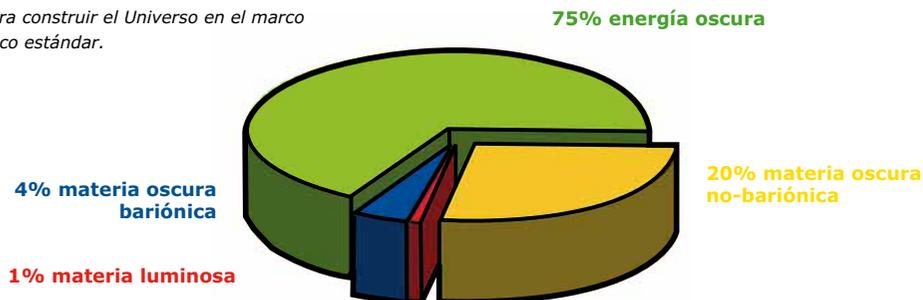
nética por parte de la materia oscura apunta a que, además de masivas, se trate de partículas neutras y que interactúen débilmente, por lo que sólo los neutrinos podrían resolver el problema dentro del modelo estándar de la Física de Partículas. Sin embargo, la contribución de los neutrinos a la materia oscura no puede ser elevada ya que su baja masa, recientemente acotada (aunque no determinada) por los experimentos de oscilaciones de neutrinos, habría hecho imposible la formación de estructuras del tamaño de las galaxias. Entre los posibles can-

didatos a materia oscura destacan los llamados WIMPs (acrónimo de Partículas Masivas que Interaccionan Débilmente) que surgen, de forma natural, en muchas de las ampliaciones propuestas al modelo estándar de la Física de Partículas como, por ejemplo, las supersimétricas.

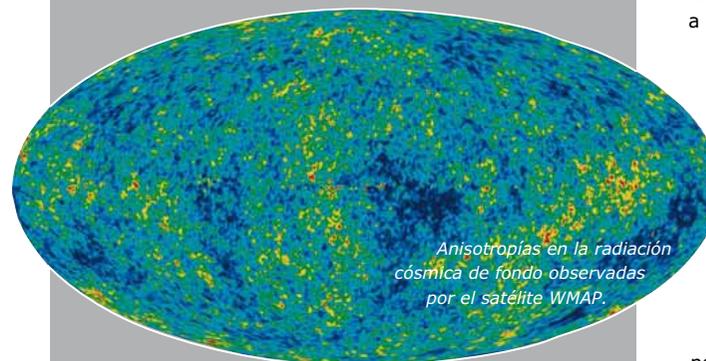
Estas partículas constituyentes de la materia oscura serían reliquias del Universo primitivo, de la misma forma que lo es la radiación cósmica de fondo (CMB) de microondas que, detectada en 1965 de forma accidental por Penzias y Wilson, fue calificada en su día como "eco" del Big Bang. Al igual que los paleontólogos, los cosmólogos reconstruyen la historia del Universo a partir de las huellas que han dejado en el Universo actual las partículas que lo poblaron en su pasado más lejano y de aquellos restos fósiles que han perdurado hasta nuestros días, como serían los WIMPs o la radiación CMB. Esta última es, en la actualidad, una herramienta imprescindible para poner a prueba las teorías sobre el Universo y, por el momento, supone uno de los principales apoyos sobre los que se construye el modelo cosmológico estándar.

La interacción de los WIMPs con la materia es tan poco probable, que sólo una pequeñísima fracción de los WIMPs que llegan a un detector produce una señal en el mismo. Por eso, para que un experimento de detección directa de materia oscura pueda tener éxito es imprescindible proteger los detectores adecuadamente

Receta para construir el Universo en el marco cosmológico estándar.



A nivel cosmológico, uno de los apoyos más importantes a los modelos de Universo con energía y materia oscura lo proporciona la medida de anisotropías en la radiación cósmica de fondo de microondas. Proporcionan una "foto" del Universo tan sólo 380000 años tras el Big Bang y las variaciones en la temperatura de la radiación que se observan en ella ponen de manifiesto la existencia de fluctuaciones en la distribución de la materia que fueron el germen de las actuales galaxias.



Otras explicaciones que no incorporen energía y materia oscuras como ingredientes imprescindibles del Universo requieren la modificación de las leyes de la dinámica en el régimen de pequeñas aceleraciones o una nueva teoría de la gravitación. Por el momento, aunque se trabaja en ellas, la hipótesis de la materia y energía oscuras reproduce de forma más satisfactoria las observaciones.

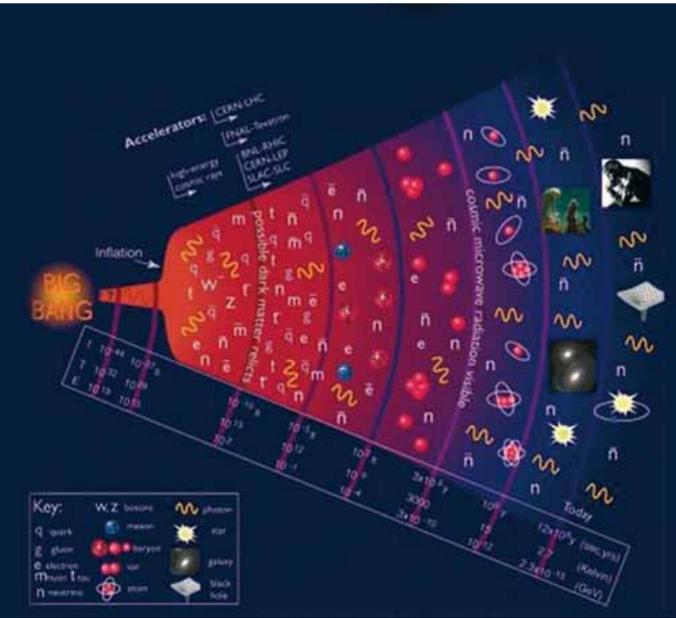


Interior del Túnel del Somport, Canfranc (Huesca), en el que se encuentra el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

de la radiactividad medioambiental, que produciría señales similares a las esperadas para los WIMPs y, por tanto, enmascararían la tenue señal que se busca. El primer paso para esto es trabajar en un laboratorio subterráneo, como el de Canfranc, una instalación singular en España y de las pocas, a nivel mundial, con las características adecuadas para dedicarse a la detección directa de la materia oscura del Universo, de la que este laboratorio fue pionero a finales de los 80. La montaña, en este caso El Tobazo, actúa como paraguas frente a los rayos cósmicos, que bañan continuamente la superficie terrestre. Las instalaciones subterráneas del Laboratorio de Canfranc se encuentran bajo un cubrimiento equivalente a 2450 metros de agua, el máximo que permite el perfil orográfico del túnel.

Los detectores utilizados son sensibles a los pequeños depósitos de energía que producen en su interacción las partículas: fotones, electrones, partículas alfa, muones o WIMPs. En ellos se convierte la energía depositada por la partícula en su interacción en una señal visible que, dependiendo del tipo de material, puede

Fósiles del universo primitivo



Viaje hacia el pasado: podemos utilizar los grandes aceleradores de partículas que reproducen las condiciones del Universo primitivo o estudiar las partículas-fósiles que han perdurado hasta nuestros días.

ser luz, carga libre o calor. Por ejemplo, ANAIS, uno de los principales proyectos en la actualidad en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, utiliza yoduro de sodio, un material centelleador bien conocido, como blanco para la materia oscura. En ROSEBUD, una colaboración con el Instituto de Astrofísica Espacial de Orsay (Francia), se mide la elevación de temperatura que se produce en un cristal enfriado a 20mK tras la interacción de una partícula y, en el nuevo tipo de bolómetros en desarrollo, la medida simultánea de la energía convertida en luz, por un lado, y la convertida en calor, por otro, permite discriminar el tipo de partícula que ha interactuado y, gracias a ello, eliminar una buena parte del fondo radiactivo.

En la interpretación estándar, la materia oscura supone del orden del 20% del presupuesto energético del Universo. Su descubrimiento supondría un gran hito en los campos de la Astrofísica, la Cosmología y la Física de Partículas y se aborda desde distintas direcciones complementarias:

- Los aceleradores de partículas permiten reproducir las condiciones del Universo primitivo: a partir de las interacciones de partículas elementales a nivel subatómico podemos aprender sobre el origen y evolución del Universo. La puesta en operación del Large Hadron Collider (LHC) en el CERN permitirá, buscar indicios de nueva física más allá del modelo estándar y, en particular, pondrá a prueba algunas de sus ampliaciones en el marco de la Supersimetría, que proporciona algunos de los candidatos a WIMPs más plausibles desde el punto de vista teórico.
- La detección indirecta se basa en la búsqueda en los rayos cósmicos de los productos resultantes de la aniquilación de los WIMPs en los halos galácticos: positrones, antiprotones, neutrinos y fotones.

La contribución de las emisiones procedentes de la radiactividad medioambiental puede ser reducida fabricando detectores con materiales de extrema radiopureza y apantallando la contribución de todos los posibles contaminantes externos mediante blindajes convenientemente elegidos: plomo, agua, polietileno, cadmio, etc. En particular, hay que proteger los experimentos del Radón, elemento radiactivo en estado gaseoso que se acumula con facilidad en lugares mal ventilados como son los túneles.

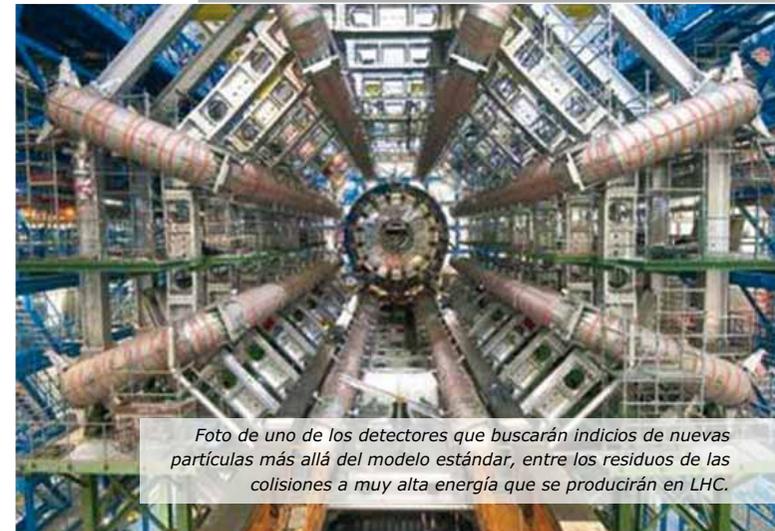
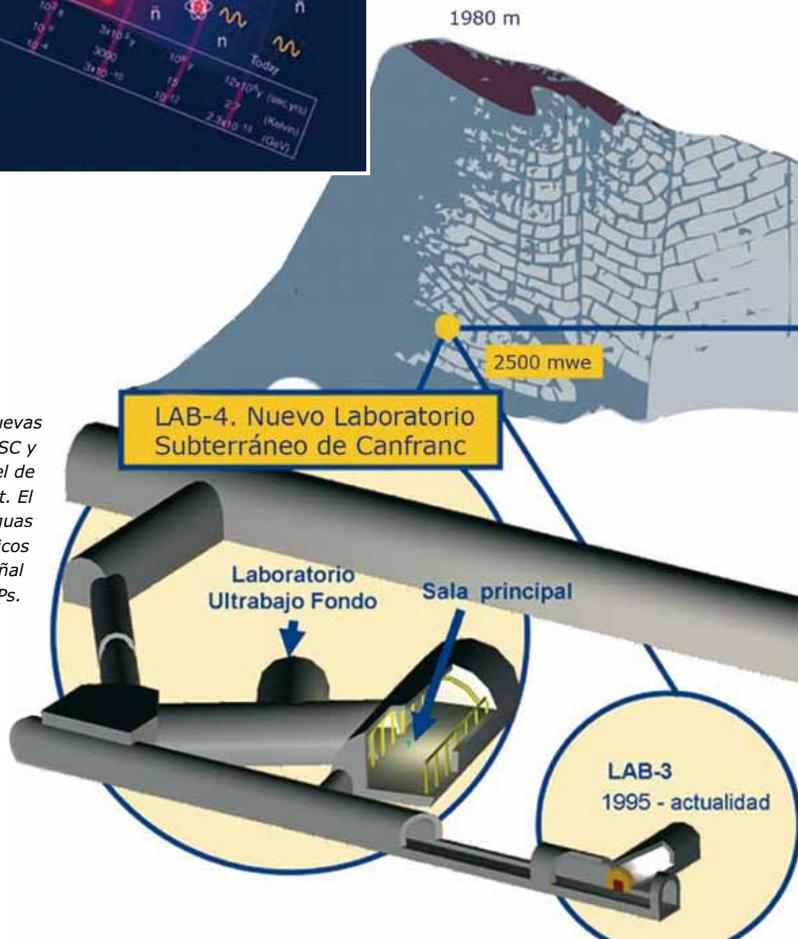


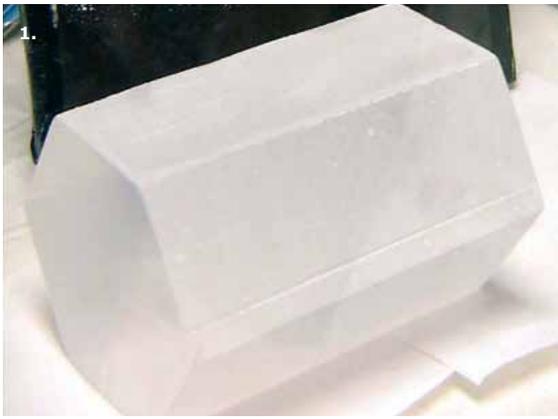
Foto de uno de los detectores que buscarán indicios de nuevas partículas más allá del modelo estándar, entre los residuos de las colisiones a muy alta energía que se producirán en LHC.

- La detección directa consiste en la detección de la interacción de los WIMPs con los núcleos de un detector adecuado, principalmente mediante mecanismos de dispersión elástica.

Esquema de las nuevas instalaciones del LSC y perfil orográfico del túnel de ferrocarril del Somport. El Tobazo actúa como paraguas frente a los rayos cósmicos que enmascararían la señal de los WIMPs.



Fósiles del universo primitivo



qué está compuesto el 96% de nuestro Universo? ¿Qué hay más allá del modelo estándar de la Física de Partículas? Y que para responderlas se utilice toda la tecnología y propiedades de los materiales a nuestro alcance en la fabricación de detectores de partículas cada vez más sensibles y versátiles. De hecho, temperaturas tan bajas como las que se usan en la operación de los bolómetros de ROSEBUD, se producen en muy pocos otros lugares en España. Considerando



1) Cristal de 10,7 kg de NaI utilizado en uno de los prototipos del experimento ANAIS.

2) Bolómetro centelleador de 46 g de BGO utilizado en el experimento ROSEBUD.

3) Blindaje del experimento DM32 en Canfranc a comienzos de los años 90.

4) Trabajando en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc con uno de los prototipos de ANAIS.



ando que la temperatura de la radiación cósmica de fondo de microondas que llena el Universo es, en la actualidad, 2,7K podemos afirmar que en Canfranc se encuentra uno de los lugares más fríos del Universo.

María Luisa Sarsa y Eduardo García son profesores del área de Física Atómica, Molecular y Nuclear y trabajan en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc en los experimentos ANAIS y ROSEBUD.



El experimento DAMA-LIBRA, en el Laboratorio Nacional del Gran Sasso, en Italia, ha presentado recientemente datos que confirman resultados previos del mismo equipo investigador y que interpretan como una señal inequívoca de la detección de la materia oscura del halo galáctico. Esta detección se basa en la observación de una modulación con periodicidad anual en los ritmos de interacción de la materia oscura con los núcleos del detector, debida al cambio en la velocidad relativa WIMP-detector que resulta del movimiento de traslación de la Tierra en torno al Sol.

El análisis de esta modulación es también el objetivo fundamental del experimento ANAIS que podría corroborar el resultado de DAMA-LIBRA y ayudar en el análisis de los efectos sistemáticos que pudieran afectar a la señal de la materia oscura buscada.

