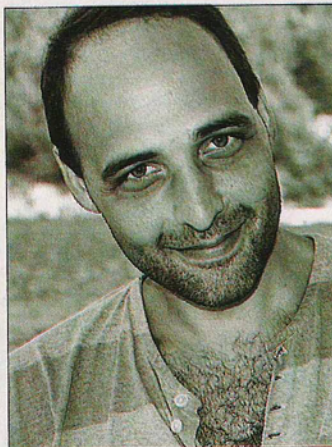


Materia / **Ciencia**

Un testigo del universo embrionario

Desde su descubrimiento sorpresivo, hace más de cuatro décadas, la radiación cósmica de fondo representa el vestigio más lejano de nuestro universo. Qué nos dice de lo que somos.

Por **ALEJANDRO GANGUI***



En 1964, dos radioastrónomos norteamericanos, Arno Penzias y Robert Wilson, no lograban desembarazarse de un persistente ruido de fondo de una antena de los laboratorios Bell, en Nueva Jersey, con la que intentaban medir las ondas de radio procedentes de un satélite de comunicaciones. Luego de un trabajo minucioso en el que descartaron todas las fuentes de ruido posibles e imaginables, concluyeron que el ruido era en realidad un enigmático fondo de radiación de unos tres grados por encima del cero absoluto. Tiempo más tarde, comprenderían que habían dado con un "débil susurro" del big bang: el vestigio más lejano y útil del universo embrionario, cuando su temperatura era similar a la que hoy tiene el Sol.

Es uno de los descubrimientos más importantes de la cosmología, quizás el ruido más productivo de la historia.

Es uno de los descubrimientos más importantes de la cosmología, quizás el ruido más productivo de la historia. En nuestra clase anterior (NOTICIAS del 28

de julio del 2007) nos habíamos ocupado de describir la evolución de nuestro universo, a partir de las épocas más primordiales a las que tenemos acceso a través de la física, y hasta el presente. Describimos la forma en la que pensamos que se fueron formando los cuerpos celestes, desde las estrellas —como nuestro Sol— hasta los planetas que rodean estas luminarias del cielo. Vimos que en todos estos escenarios, sin excepción, la gravitación jugó, y aún juega, un papel fundamental para aglutinar la materia dispersa y, con el correr de los miles de millones de años, construir las entidades astronómicas que ahora nos muestran los telescopios.

Mencionamos que estas estructuras habían crecido a partir de ubicuas inhomogeneidades en la densidad de materia y que dichos "grumos" debieron también estar presentes durante la época que los cosmólogos llaman el "desacoplamiento de la radiación y la materia": de ser una suerte de "caldo" altamente energético, en su estado embrionario, formado por partículas elementales y radiación, el universo en expansión se fue enfriando.

Al cabo de unos 400.000 años de vida, su energía ▶

*COSMÓLOGO. INVESTIGADOR DEL INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y FÍSICA DEL ESPACIO (IAFE/CONICET), PROFESOR DEL CEFIEC, FCEyN-UBA Y AUTOR DE "EL BIG BANG: LA GÉNESIS DE NUESTRA COSMOLOGÍA ACTUAL" (EUDEBA).

ambiente decreció lo suficiente como para permitir la formación de la materia neutra, en la que los núcleos atómicos "desnudos" (de carga eléctrica positiva) lograron aferrar los electrones del medio ambiente y "cubrirse" con sus nubes de carga negativa. De este proceso, de esta "combinación", se originó la materia neutra más simple del cosmos –y que hoy nos resulta muy familiar– formada principalmente por átomos livianos.

Una vez que la mayor proporción de la materia del universo se encontró en estado neutro, la interacción entre los corpúsculos de la radiación (que llamamos fotones) y los átomos dejó de ser tan intensa. La materia se volvió transparente a la radiación y dejó así de obstaculizar el camino de los fotones. Estos últimos, libres de toda barrera que hasta ese momento les bloqueaba el paso, emprendieron su largo viaje sin rumbo por el universo, inundándolo con un fondo de radiación al que hoy se conoce como "la radiación cósmica de fondo de microondas". Ese "susurro del big bang" que escucharon, por primera vez, Penzias y Wilson.

Este fondo de radiación "residual" viaja virtualmente inalterado durante la casi totalidad de la vida del universo, desde su momento de "emisión", cuando el universo tenía varios cientos de miles de años, hasta hoy que son recogidos por antenas adecuadas, unos 14.000 millones de años más tarde. Las cifras realmente impresionan. Sin embargo, este fondo de radiación tan primordial está aún lejos de mostrarnos una "fotografía" del origen del universo (si hubo origen). Recordemos que el desacoplamiento de la radiación ocurrió bastante más tarde que el hipotético "origen" de los tiempos, ese tiempo inasible al que a veces se cita como el momento de la creación o "el tiempo cero".

SEMILLAS GRAVITATORIAS Y EL MISTERIO DE LA "ANISOTROPÍA"

Los grumos –o semillas–, primordiales, a partir de los que crecieron las grandes estructuras astrofísicas del universo debieron ya estar allí en la época del "desacoplamiento". Y es simplemente por este hecho que hoy pensamos que esta radiación cósmica de fondo fue un "testigo" de épocas muy remotas. Extrayendo de este fondo cósmico la información necesaria, es posible comprender cómo era el universo en épocas en las que nada de lo que hoy vemos alrededor de nosotros podía existir, cuando las temperaturas reinantes apenas permitían que comenzase a formarse la materia neutra y un termómetro imaginario hubiese indicado una temperatura de varios miles de grados, una cifra bastante próxima a la que reina hoy en la superficie de nuestro Sol.

Hagamos aquí una pausa y pensemos qué hubiese visto un hipotético observador al que le hubiese tocado vivir cuando el universo contaba con apenas

400.000 años de vida. La cosmología nos enseña que la radiación cósmica de fondo no siempre fue así, pues en la época del desacoplamiento su longitud de onda se hallaba en el rango de la luz visible. Esta longitud de onda fue luego estirándose con la expansión del universo hasta llegar hoy a unos pocos milímetros (el rango de las microondas). Nuestro hipotético observador, si en efecto hubiera existido en aquella época, se hallaría así "encandilado" por esta radiación. No sólo sus días serían ardientes de luz (no por el Sol, que aún no existía), sino que también sus noches resultarían una verdadera tortura. Él no imaginaria jamás que el futuro podría depararnos largas y hermosas noches oscuras... Afortunadamente, cuando las condiciones físicas del universo eran así de extremas, no había ni estrellas, ni planetas, ni mucho menos observadores con ojos como los nuestros. Quizá por esta misma razón no existan hoy seres vivos con "ojos" que vean las microondas, porque debido a la existencia de este tipo de radiación de fondo sería en realidad como no tener ojos...

Mencionamos que la radiación de fondo fue un testigo privilegiado de aquellas épocas remotas en las que se formaron las primeras aglomeraciones de materia, y que de estas surgieron todas las estructuras astrofísicas que nos rodean hoy. Vemos el árbol ya formado, queremos saber cómo era la semilla que le dio la vida. Las estrellas y galaxias actuales nacieron de pequeñas "semillas gravitatorias",

Las estrellas y galaxias actuales nacieron de pequeñas "semillas gravitatorias"

y hoy queremos saber cómo eran estas últimas. Nos hace falta un registro primordial, una "fotografía del nacimiento". Pues bien, la radiación cósmica de fondo nos provee esa imagen que buscamos. El único inconveniente es que, dado que las semillas eran tan pero tan pequeñas, su "huella" impresa en la radiación de fondo resulta ser verdaderamente diminuta.

La radiación de fondo nos llega de todas las direcciones del cielo imaginables, como si estuviéramos en el centro de un inmenso horno de radiación. ¿Esperaríamos verla idéntica en todas las direcciones? Si así fuera, ¿qué clase de huella podríamos detectar?

No, la radiación de fondo no puede tener las mismas características en cualquier dirección o, en términos más técnicos, no puede ser isótropa. La huella impresa que esperamos detectar debe venir "codificada" en forma de "anisotropías" en alguna de sus propiedades, por ejemplo, en su intensidad o –como acostumbra decir los astrónomos desde hace años– en su temperatura efectiva. Y son estas anisotropías en la intensidad –o temperatura– lo que los cosmólogos estuvieron tratando de detectar durante tres décadas a partir del año 1964, luego del descubrimiento fortuito e inesperado de la radiación de fondo. Sin embargo, y por muchos años, este fondo de radiación se mostró absolutamente isótropo e idéntico en cualquier dirección que se lo detectase.

Evidentemente, esto presentaba un serio problema ▶

para los modelos de formación de estructuras astrofísicas. La radiación de fondo, que en la época del desacoplamiento iniciaba su camino libre de interacciones, no debía ser completamente isótropa, ya que debido a las inhomogeneidades en la distribución de la materia, la "tela" espacio-temporal por donde viajan los fotones se debería haber "deformado" de distinta manera en dos lugares vecinos cualesquiera.

Antes de seguir, hagamos aquí un breve paréntesis. Recordemos que la cosmología que estamos describiendo es relativista. La relatividad general de Einstein nos enseña que la materia (también la radiación y toda forma de energía en general) modifica la estructura del espacio que la contiene y también altera el fluir del tiempo, es decir, modifica el espacio-tiempo. Diferentes densidades de materia en dos lugares distintos del universo modificarán el espacio (y su geometría) de forma diferente.

Pero recordemos también que alteraciones en el espacio afectarán a la energía de la materia (o de la radiación) que se mueve en ese espacio. Y esto es lo original y novedoso que sintetiza la teoría de Einstein: la materia actúa sobre el espacio-tiempo y le indica a este último cómo se debe "curvar". Por su parte, el espacio-tiempo reacciona sobre la materia y le indica a esta de qué manera y por dónde se tiene que desplazar.

Dos corpúsculos de luz que recorran dos regiones con diferentes grumos en la distribución de la materia se verán alterados en su energía de manera diferente. Por ello, la temperatura efectiva de la radiación que detectamos luego de que esta recorre zonas con inhomogeneidades en la densidad de la materia, por supuesto, no será homogénea.

Pero nosotros no nos movemos por el universo para verificar estas inhomogeneidades. Como observadores, permanecemos en la Tierra y es en esta ubicación que detectamos el fondo de radiación. Luego, para nosotros estas inhomogeneidades se traducen en diferencias de las características de los fotones que nos llegan desde distintas direcciones de la bóveda celeste. Cuando algo (el fondo de radiación, por ejemplo) presenta diferentes propiedades en distintas direcciones (como es el caso del cielo) decimos que "ese algo" no es isótropo. El fondo de radiación que estamos describiendo aquí es efectivamente anisótropo.

EL SATÉLITE COBE Y EL FIN DE LA ANGUSTIA

Volviendo ahora a las inhomogeneidades en la distribución de la materia del cosmos, es fácil ver que una sobredensidad en un dado lugar generará una subdensidad en su vecindad. De hecho, la gravitación hace precisamente eso, como si fuera un Robin Hood al revés: al que más tiene, más le da, y al que tiene poco, se lo saca (no tan poco a poco). Un fotón que inicia su camino desde el fondo de un "pozo gravitatorio"

(es decir, una sobredensidad de materia) sufriría una pérdida de energía al "escapar" de esa región, de igual manera que una flecha disparada verticalmente pierde velocidad con la altura debido al campo gravitatorio terrestre. Lo contrario sucedería con un fotón que partiese de una región con una subdensidad de materia, digamos una "colina gravitatoria": al descender de dicha colina, el fotón ganaría energía comparado con sus pares de colinas más bajas.

En resumen, dos fotones que nos llegaran procedentes de distintas direcciones de la esfera celeste habrían perdido diferentes cantidades de energía en sus viajes y por ende sus intensidades —o temperaturas efectivas— serían distintas. Con esto en mente y luego del descubrimiento de la radiación cósmica de fondo, en 1964, varios grupos se dieron a la difícil tarea de "cartografiar" el fondo cósmico en detalle. Se sabía que debía existir una cierta "estructura" intrínseca en la distribución de su temperatura efectiva, quizá manchas más cálidas en ciertos lugares de la bóveda celeste acompañadas de otras más frías en diferentes direcciones. Pero los años pasaban, las mediciones se multiplicaban y luego de sustraer las señales espurias, nada aparecía.

Estos resultados hacían peligrar a virtualmente todos los modelos teóricos de formación de estructuras del momento. Muchos años pasarían antes de que el satélite norteamericano COBE (acrónimo de Cosmic Background Explorer, o "explorador del fondo cósmico") revelara, en 1992, los

tan ansiados "rizos" primordiales en la suave "cabelleza" de la radiación de fondo. Y no exageramos en acotar que estas observaciones cerraron un largo período de angustias para la mayoría de los cosmólogos.

En efecto, observaciones previas a 1992 habían sólo provisto cotas superiores a las fluctuaciones en la temperatura de la radiación de fondo. De no haberse encontrado prueba fehaciente de las anisotropías a un nivel de una parte en 100.000 (como COBE las encontró), los modelos de formación de estructuras basados en la inestabilidad gravitacional habrían pasado un mal momento (al igual que sus proponentes). Y esto debido a que las fluctuaciones en la densidad de materia (estrechamente asociadas a las anisotropías en la radiación de fondo) hubiesen resultado demasiado pequeñas y a causa de esto "no habrían hecho a tiempo" a formar las conspicuas estructuras astrofísicas que conocemos hoy.

El satélite COBE comprobó, además, que la reparación en frecuencias de la radiación de fondo (o equivalentemente, su espectro) es muy particular. Este espectro, que tiene un claro máximo en el rango de las microondas, reproduce con increíble precisión la curva teórica de lo que en lenguaje algo más técnico se llama un "espectro térmico de cuerpo negro" a una temperatura de unos 3 Kelvin (unos 270 grados centígrados bajo cero). Bien, precisamente esta es la predicción de los modelos del big bang, ya que este espectro sólo

Para los cosmólogos, estas observaciones cerraron un largo período de angustias

CLASES MAGISTRALES

puede resultar de un estado de equilibrio térmico casi perfecto entre todos los constituyentes del universo, como en efecto lo predicen los modelos con una fase temprana extremadamente densa, energética y caliente. Este es un ingrediente fundamental que sustenta nuestra credibilidad en la cosmología actual.

OTRO NOBEL PARA LA COSMOLOGÍA

La radiación cósmica de fondo, como lo mencionamos, había sido descubierta sorpresivamente en 1964. Y una vez que la comunidad de cosmólogos interpretó correctamente este hallazgo, el vuelco que produjo en la cosmología fue tal, que culminó haciendo a Penzias y Wilson acreedores del premio Nobel de Física en 1978 (14 años después del gran descubrimiento), mientras que la antena que utilizaron es monumento histórico nacional desde el 20 de diciembre de 1989.

En el 2006 -14 años después de la publicación de los resultados de COBE-, el comité Nobel volvió a premiar un hallazgo en cosmología. El galardón de Física fue otorgado a un par de astrofísicos estadounidenses que con su trabajo permitieron a los cosmólogos

mirar hacia atrás en el tiempo, hasta la época en que el universo tenía apenas unos 400.000 años de edad (nada, comparado con los 13.700 millones de años que se estima que tiene en la actualidad).

Los ganadores fueron John C. Mather, del Centro Goddard de la NASA, y George F. Smoot, del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, de California. Según el Comité Nobel, ambos fueron premiados "por su descubrimiento de la forma de cuerpo negro y de las anisotropías de la radiación cósmica del fondo de microondas". Ambos compartieron un premio de 1,37 millones de dólares (una diez milésima parte de la edad del universo, pero no expresada en años, sino en la moneda norteamericana).

Aunque esta vez, los dos nombres galardonados, Mather (responsable principal del experimento que reveló el espectro preciso del fondo de radiación) y Smoot (responsable de revelar las tan ansiadas anisotropías) no se encontraron sorpresivamente con los resultados, sino que los persiguieron por muchos años. Y son tan solo la punta visible de ese iceberg de más de mil personas que estuvieron implicadas en esta extraordinaria aventura científica.

[El plan de **estudios**]

Por primera vez en la Argentina, trece profesores de nivel internacional, abren sus clases para los lectores de NOTICIAS. Cada semana, uno de estos académicos expondrá sus conocimientos con una profundidad que no será limitada por el espacio ni el diseño. Estás invitado.

[Todas las semanas en **NOTICIAS**]

CLASES MAGISTRALES

[Los **profesores**]



FLORENCIA
LUNA



MARTÍN
VARSAVSKY



SLAVOJ
ŽIZEK



MARCOS
AGUINIS



ALBERTO
KORNBLITH



ROBERTO
LAVAGNA



CLAUDIO
FANTINI



SILVINA
GVIRTZ



PACHO
O'DONNELL



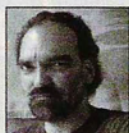
ALEJANDRO
ROZITCHNER



OMAR
BELLO



ALFONSO
PRAT-GAY



FERNANDO A.
IGLESIAS

[Las **materias**]

Ética y razón Žižek / **América Latina** Aguinis / **Educación y nuevas tecnologías** Varsavsky / **Filosofía** Rozitchner / **Globalización** Iglesias / **El mundo y las Ideas Políticas** Fantini / **Microeconomía** Prat-Gay / **Macroeconomía** Lavagna / **Ciencia** Kornblith / **Historia Argentina** O'Donnell / **Filosofía** Bello / **Educación** Gvirtz / **Bioética** Luna