

# El lado oscuro del universo

Hector Rago \*

La buena noticia es que en los últimos años la ciencia se ha anotado un éxito importantísimo tras haber logrado “armar el rompecabezas” del universo, en donde todas las observaciones encajan armoniosamente sin contradecirse unas a otras.

La mala noticia es que las piezas del formidable crucigrama encajan porque 96% de la materia que constituye al universo no es materia “ordinaria”, y para decirlo de una vez y honestamente no sabemos mucho de qué se trata.

En las líneas que siguen intentaremos describir las frases anteriores y trataremos de entender el porqué de la efervescencia que reina en esa área caliente de la astronomía.

## El lado claro

Tal vez, en última instancia, la ciencia no sea sino el esfuerzo desesperado de darle coherencia a un mundo físico para establecer nuestra relación con él. Para eso hemos aprendido a medir las propiedades medibles del universo, cada vez con más precisión. Hemos diseñado conceptos útiles, hemos elaborado leyes y teorías que capturan la manera cómo funciona el mundo físico en diversas escalas, y tenemos razones para presumir que estas teorías y leyes son válidas en todas partes y en todo momento.

La humanidad puede sentirse orgullosa de entender razonablemente bien la estructura y composición de la materia a nuestro alrededor. Varios siglos de observaciones, experimentos y teorías nos han enseñado que estrellas, planetas, piedras, seres vivos, computadoras y mares, están compuestos de

las mismas partículas fundamentales como quarks, electrones, fotones, neutrinos, gluones y unas cuantas más. Estas partículas interactúan entre ellas con diversas fuerzas y de acuerdo con leyes que conocemos razonablemente bien.

La acertada combinación de experimentos en aceleradores de partículas y teorías bien diseñadas, nos han permitido una comprensión de la materia y de las partículas fundamentales que la componen, verdaderamente notables.

Por otra parte, sabemos que la Física a grandes escalas está dominada por la fuerza de gravedad,

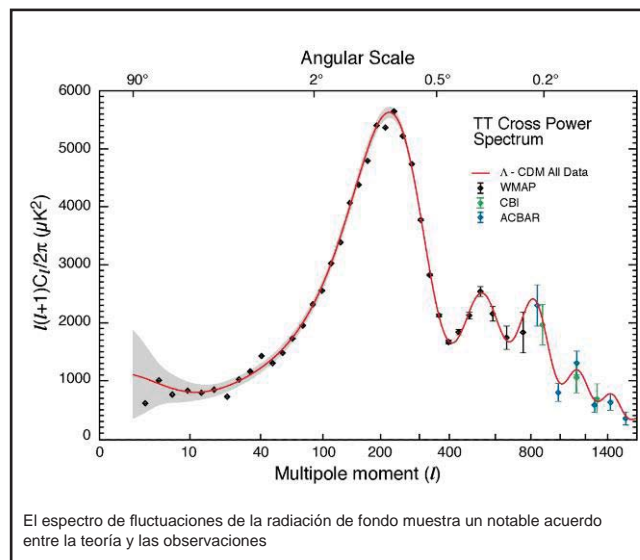
cuyo comportamiento está bien descrito por la teoría general de la relatividad, que corrige a la ley de gravitación universal de Newton en las circunstancias en las cuales ésta falla, como cuando como por ejemplo los campos gravitacionales son muy fuertes.

Así las cosas, los sofisticados telescopios actuales, en tierra o en el

espacio, que “miran” la luz visible o luz ultravioleta, rayos X, microondas, ondas de radio...nos proveen una enorme cantidad de datos científicamente valiosos, que son manejados con sofisticadas computadoras e interpretados a la luz de las teorías y podemos construir modelos teóricos que simulen el comportamiento del universo real.

## El lado oscuro

Afinar la historia significa conocer y darle sentido a varios parámetros cosmológicos que determinan la evolución pasada y futura del universo. Es preciso conocer el ritmo o la tasa con la que se expande el



universo, llamado el parámetro de Hubble. Es preciso conocer también la geometría del espacio que a escala cosmológica (y debido a que en esa escala el universo es uniforme, homogéneo e isótropo) sólo puede ser esférica, hiperbólica o la habitual geometría euclidiana a la que estamos acostumbrados. Es necesario también conocer las densidades (es decir la cantidad de materia por unidad de volumen) de los diversos componentes del universo. Estas tres magnitudes, tasa de expansión, geometría y densidades están profundamente imbricadas entre sí a través de las ecuaciones de la gravitación aplicadas al universo en su conjunto.

## Las observaciones

Del estudio de la radiación de microondas que llena el universo es posible responder de una manera muy contundente a una de las más angustiosas preguntas de tipo cosmológico: la que se refiere a la geometría del espacio. La respuesta es que el espacio a escala cosmológica es un espacio euclidiano, la más simple de las posibilidades. Por otra parte esta es una predicción firme de algunas teorías (inflacionarias) que pretenden afinar el modelo del big bang.

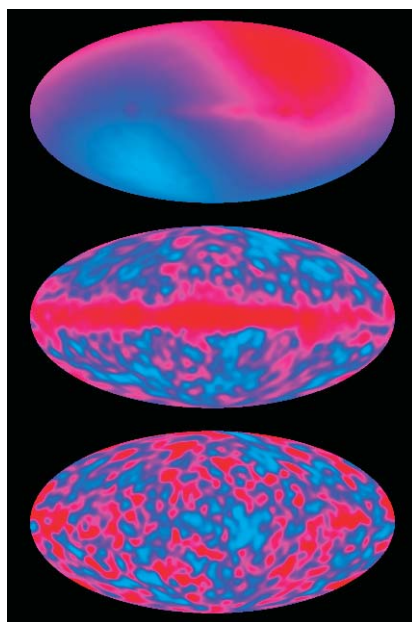
Siendo la geometría del espacio euclidiano, es posible concluir de las ecuaciones de la relatividad, que la densidad total de la materia y energía, es igual a un valor llamado densidad crítica, precisamente el valor que hace que el espacio sea euclidiano; de suerte que respecto de ella la densidad tiene el valor uno. Veamos que dicen las observaciones.

La densidad de la radiación y de los neutrinos que abundantemente llenan el universo, es demasiado pequeña para contribuir a la densidad total.

Podemos medir la masa de una galaxia por ejemplo estimando la masa de una estrella promedio y multiplicando por el número de estrellas que contiene. También podemos estimar su masa por los efectos gravitacionales que tiene en las estrellas de la periferia. Mientras más rápido se muevan las estrellas por la gravitación de la propia galaxia, mayor

será la masa de la galaxia. Desde los años treinta del siglo pasado se sabe que estos dos procedimientos de medir masas, dan resultados muy diferentes. Que tiene que haber una gran cantidad de materia invisible que juega un papel en la autogravitación de la galaxia porque en caso contrario la galaxia se dispersaría dada las velocidades de las estrellas. Las observaciones sugieren que hay cinco veces más materia invisible que luminosa.

Usando observaciones de cómo se mueven grupos de galaxias, también es posible concluir que las galaxias están inmersas en un halo de materia oscura que contribuye a la masa gravitacional, pero que no es luminosa.



La temperatura de la radiación de microondas: la última imagen se eliminaron los efectos del movimiento de la galaxia y de su radiación

Idéntica conclusión se obtiene estudiando la desviación de la radiación emitida por objetos muy lejanos (cuasares) debida a la gravedad de alguna galaxia interpuesta en el camino. Este “enfoque gravitacional” permite obtener las masas de las galaxias.

Las observaciones conjuntas sugieren que el 30% del total del contenido del universo está en las galaxias y en la materia oscura.

Por otra parte, del estudio de la producción de elementos ligeros como helio, litio y deuterio en el universo temprano es posible concluir que la densidad de materia ordinaria (llamada bariónica por los físicos) es de 4% del total. De no ser así, la proporción de elementos ligeros no se correspondería con las observaciones. Pero esa determinación significa que del 30% correspondiente a la densidad de la materia, 26% es un tipo de materia exótica, distinta de la materia ordinaria que nos compone y que describen nuestras teorías. Los físicos teóricos de altas energías han sido pródigos a la hora de proponer partículas candidatas a representar esta materia oscura, probablemente partículas exóticas creadas en las extremas condiciones del big bang. Sabemos que no tienen carga eléctrica porque si no, interactuaría con la luz y seríamos capaces de verlas en alguna zona del espectro electromagnético. Es honesto decir que no sabemos qué constituye este 25% de materia que se exhibe a través de sus efectos gravitacionales, pero sólo a través de ellos.

## Energía oscura

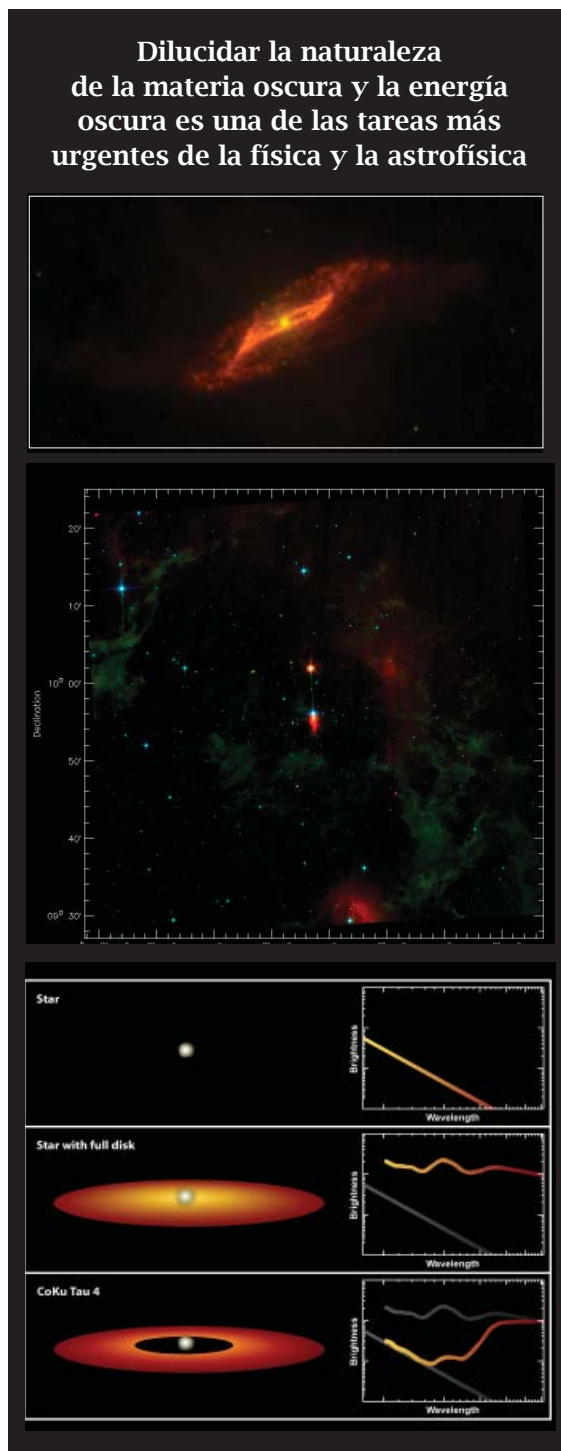
Si la densidad de la materia ordinaria y oscura es del 30% ¿dónde está el 70% restante? La más simple de las posibilidades es que el resto de la densidad necesaria para alcanzar la densidad crítica corresponde a la energía del vacío. En 1917 Einstein modificó las ecuaciones originales de la relatividad general añadiéndole un término que incluía una constante que se llamó constante cosmológica. El efecto de este término era producir un efecto repulsivo que contrarrestara la atracción de la materia y permitiera construir un modelo estático de universo, pues en esa época no existían evidencias de la expansión del universo. Cuando Hubble mostró pruebas irrefutables de la expansión, Einstein abjuró de la constante cosmológica y la llamó “el mayor error de mi vida”. Es posible que el segundo mayor error haya sido desecharla. La constante cosmológica tiene el efecto de acelerar la expansión, es decir, producir una expansión cada vez mayor. En 1998, dos equipos de observadores detectaron independientemente los efectos de la aceleración del universo. Analizando la luz de unas supernovas (cuyo brillo absoluto se conoce bien y por tanto permiten determinar distancias con gran precisión) concluyeron que el universo se expandió aceleradamente mientras la luz de las supernovas viajaba hacia nosotros. Los resultados eran compatibles con una densidad de energía del 70%.

¿Qué es la constante cosmológica además de un nombre y un valor numérico? Una posibilidad es

asociarla con la densidad de energía del vacío. De acuerdo con la física cuántica, el vacío no es la nada inerte, sino un sistema físico donde constantemente están apareciendo pares de partículas y antipartículas y constantemente aniquilándose. El problema es que si se calcula la densidad de masa del vacío usando las técnicas usuales de la física cuántica, el resultado difiere bárbaramente del valor observado (¡difiere por 120 órdenes de magnitud!) transformándose en el peor desacuerdo entre la teoría y la observación en la historia de la ciencia.

De tal suerte que no sabemos tampoco qué constituye el 70% del contenido del universo y responsable de la aceleración observada. Los modelos teóricos y las propuestas abundan, pero no hay nada concluyente.

La materia oscura y la energía oscura nos hablan de un universo mucho más complejo e interesante que el que figurábamos apenas hace unas décadas. Dilucidar su naturaleza es una de las tareas más urgentes de la física y la astrofísica. A la vez, reconocer que hoy tenemos una descripción razonable de la materia que forma apenas el 4% del universo, nos devuelve algo de la humildad perdida.



Ilustraciones págs. 41 y 42 suministradas por el autor. Fotos Pág. 43 cortesía del profesor Cesar Briceño del CIDA.

\* Licenciado en Física (UCV), M.Sc. IVIC,  
 Doctorado en Ciencias Físicas (UCV),  
 Profesor Titular, adscrito al Grupo de Física Teórica y al Centro  
 de Física Fundamental, Facultad de Ciencias ULA  
 Email: rago@ula.ve