

ENTREVISTA HOY VIERNES

--La física moderna formula un Big Bang, teoría que hoy goza de la credibilidad de la mayor parte de los cosmólogos. Sin embargo, encontramos lo siguiente: la física moderna también admite que sólo puede explicar el universo hasta un punto llamado "tiempo de Planck", lo cual supone que entre el Big Bang y el "tiempo de Planck" hay un lapso en el que las leyes de la física tienen que rendirse. ¿Qué puede comentarnos al respecto?

R.- Quisiera aprovechar esta pregunta para comenzar enaltecendo la enorme contribución de la cosmología del siglo XX, al establecer de manera definitiva que el universo observable evoluciona, que no es igual ahora que como era hace millardos de años; pero además por brindarnos las leyes que rigen esta evolución. La humanidad puede por primera vez, trazar la historia de nuestro universo desde fracciones de segunda después del big bang hasta la Quinta República, y ese colosal logro intelectual no puede sino impresionar.

El hecho de que no existan en el mercado teorías adecuadas para describir el comportamiento de la materia en tiempos cercanos al tiempo de Planck no le quita méritos a una descripción coherente, con capacidad predictiva, muchas evidencias a favor -e igualmente importante, ninguna en contra-, de la evolución del universo desde una diez milésima de segundo después del big bang (tiempo en el que las condiciones prevalentes requieren de una física que comprendemos razonablemente bien), hasta hoy, unos quince millardos de años después. Esto no significa que comprendemos todos los detalles, sino que se dispone de un marco con el cual interpretar y coordinar las observaciones y desde el cual plantear los próximos e inevitables retos.

En la medida en que consideremos instantes más y más cercanos al big bang, la descripción se hace más y más incierta y especulativa porque las escalas de energía son bastantes más grandes que las accesibles en los aceleradores de partículas y por tanto carecemos de la guía experimental para formular las teorías. Yo diría que las leyes que hoy conocemos de la física, se rinden bastante después del tiempo de Planck, sin embargo, es importante explorar las consecuencias teóricas de todos los modelos posibles.

Se piensa que las condiciones reinantes durante el tiempo de Planck exigen una descripción que ponga de manifiesto las propiedades cuánticas del espacio y el tiempo, es decir, una teoría cuántica de la gravitación. Los propugnadores de las supercuerdas (o tal vez M-branas) insisten en que esa es la teoría solicitada, pero las implicaciones de esas teorías en la cosmología apenas comienzan a trabajarse. La(s) propuesta(s) del salto cuántico se basan en asignarle una función de onda mecánico-cuántica al universo, al igual que se hace con los electrones o con los átomos; y estudiar las probabilidades de transición de una fase pre-big bang al universo de la cosmología convencional. Es justo decir que estos intentos no han sido particularmente fructíferos. No en balde pienso que se deben explorar todas las posibilidades. Los caminos de la ciencia suelen ser extraños: nadie hubiera podido prever en los primeros años del siglo XX que la manera como el sol brilla está profundamente relacionada con el atraso de los relojes en movimiento o con la constancia de la velocidad de la luz.

--¿Qué es lo que hay de nuevo en materia de cosmología y cuáles ideas se han desechado definitivamente?

Tal vez lo más impactante ha sido la detección de fluctuaciones en la temperatura de la radiación cósmica de fondo en diversas escalas, y haber aprendido a decodificar la información que está impresa en estas fluctuaciones. La radiación de fondo es mensajera de una época temprana y luminosa, cuando el universo era más simple (porque era más caliente) y nos habla de las propiedades del universo cuando tenía el 0,02% de su edad actual.

Su mera existencia da fe de un universo caliente en el pasado. Su espectro nos dice que la radiación estuvo en equilibrio térmico con la materia y además que el universo es tremendamente uniforme. Las (esperadas) fluctuaciones o variaciones de su temperatura validaron la idea de formación de estructuras por inestabilidad gravitacional, y haciendo estadística de las diminutas variaciones de temperatura de la radiación en regiones del cielo separadas décimas de grado, podemos deducir que el espacio es euclidiano. Las próximas observaciones de la radiación de fondo (observaciones del MAP de la NASA a finales del 2000 y del Planck, de la Agencia Espacial Europea, en 2005) permitirán conocer de manera muy precisa algunos parámetros cosmológicos y con ello se irá afinando el modelo de universo que mejor describe al universo real.

Las evidencias de una constante cosmológica o energía del vacío, (observando la curva de luz de las supernovas) en conjunción con lo anterior ha sido también muy importante. La triple conjunción de mejores observaciones (gracias a mejores tecnologías), mejor comprensión de las teorías fundamentales y el manejo de grandes volúmenes de datos gracias a los adelantos en informática, ha sido la clave del reciente boom de la cosmología.

Es arriesgado decir cuáles ideas se han desechado definitivamente. Recordemos la saga de la constante cosmológica, invocada y desechada tantas veces. Sin embargo, diría que la imagen de un universo

siempre igual a si mismo, estilo la teoría del estado estacionario, ha sido superada. Las observaciones descartan también un modelo de universo con geometría euclidiana pero en donde la materia ordinaria constituya "todo lo que hay" (modelo Einstein-de Sitter). Las simulaciones de formación de estructuras con materia oscura relativista (hot dark matter) tampoco son consistentes con las observaciones.

--¿Qué hechos han venido en los últimos años a confirmar la veracidad de la Teoría de la Relatividad General?

R.- La relatividad general fue aceptada inicialmente por la comunidad de físicos teóricos por su intrínseca capacidad de seducción, por su elegancia y su simplicidad conceptual. Pero en ciencia sabemos que eso no basta. Si no la apoyan las observaciones, no sirve, por atractiva o ingeniosa que sea y por muy Einstein que la haya formulado. Desde sus inicios la RG hizo contacto con la realidad a través de la explicación del desplazamiento de la órbita de Mercurio. En 1919 vino el éxito de la medición de la curvatura de la luz por la gravedad. A partir de allí, y sobre todo desde los sesenta, la relatividad, como buena teoría que es, no ha dejado de vivir en peligro esperando la zancadilla de la realidad. Pero como buena teoría que es, ha salido airosa de toda confrontación.

Sus mayores éxitos son: la detección de imágenes múltiples (quasars dobles, anillos de Einstein...) por enfoque gravitacional, hoy por hoy herramienta importante del astrofísico. Comprobaciones directas del comportamiento de relojes en campos gravitacionales, efecto Shapiro o retardo de una señal luminosa debido a la gravedad: la detección indirecta de emisión de ondas gravitacionales, atestiguadas en el cambio del período de órbitas en pulsares binarios; la acumulación de evidencias de agujeros negros de masas estelares y sobre todo, supermasivos, de millones de masas solares en los centro galácticos. La propia dinámica del universo y su descripción es un gran triunfo de la RG. En los próximos años deben entrar en funcionamiento detectores de ondas gravitacionales muy precisos, que nos abrirán una nueva manera de "ver" fenómenos como choque agujeros negros, o los primeros instantes del big bang.

No sólo a través de sus predicciones ha sido puesta a prueba la relatividad. Sus propios fundamentos y postulados son escudriñados con saña por los experimentadores, sin que hasta ahora existan desacuerdos. Hoy por hoy la RG es una de las teorías de la física mejor corroboradas y un pilar fundamental en nuestra comprensión del mundo. Además es hermosísima.

¿Cuál es el modelo cosmológico que Ud. postula y defiende?

Actualmente las evidencias observacionales tienden a favorecer un modelo cosmológico en el que el espacio tiene curvatura nula (es decir, es euclidiano pero en expansión). Esto significa que la densidad de materia y energía total debe ser igual a un cierto valor crítico, que corresponde a unos cinco átomos de hidrógeno por metro cúbico. Aproximadamente un tercio de esta densidad corresponde a la materia "normal" y a la materia oscura. Los dos tercios restantes corresponden a la energía del vacío. Como consecuencia de la existencia de esta energía del vacío, o constante cosmológica o tal vez algo parecido (quintaesencia), la expansión de este modelo de universo debe acelerarse en lugar de frenarse y por tanto la posibilidad de un big crunch pareciera estar descartada. Esta aceleración ha sido detectada recientemente observando la luz de supernovas lejanas. Además el modelo incorpora una fase de expansión exponencial o "inflación" en los primerísimos instantes. Esta fase es responsable de haber homogeneizado el universo, de haber eliminado la curvatura y de proveer el patrón de irregularidades que mucho más tarde habrían de aglutinar la materia para formar las grandes estructuras que hoy atestiguamos: galaxias, cúmulos de galaxias...

--Uno de los ejes fundamentales de la teoría del Big Bang es la isotropía del universo, la cual se evidencia, entre otras cosas, en la detección de la radiación de microondas. El satélite COBE, en los últimos datos que se conocen, ha aumentado el porcentaje de anisotropía del universo y esto parece de algún modo comenzar a abrir una nueva discusión. Si no hay isotropía, ¿queda acaso negado el modelo de la expansión universal? El hecho de que los quasars sólo se detecten en determinadas regiones y no en todas partes, ¿no niega esa isotropía?

R.- Ciertamente la uniformidad es una de las suposiciones necesarias, en trance de comenzar a construir modelos de universo. Pero es una suposición avalada por los hechos: la isotropía de la radiación, de una parte en cien mil, muestra que el universo es y sobre todo era en el momento de emisión de la radiación, muy uniforme (con el envejecimiento del universo la gravedad ha amplificado las no uniformidades: la gravitación es la gran "heterogenizadora"). Claro, bueno es uniforme pero no tanto. Si el universo hubiese sido demasiado uniforme, estaríamos en aprietos a la hora de entender la formación de cúmulos, galaxias, estrellas y las estructuras complejas que nos explican. La evolución del universo apunta de lo más simple a lo más estructurado, de lo más simétrico a lo menos simétrico. La emergencia de la complejidad, conducida por la gravedad es una de las partes menos pulidas en la descripción de la historia cósmica.

De modo que cuando la cosmología propone un modelo homogéneo e isótropo, es que está considerando una escala en la cual irregularidades como galaxias no son importantes. Es como afirmar

que la Tierra es esférica, a pesar de sus montañas, valles y otras irregularidades: una verdad que depende de la escala que nos interese.

Por otra parte, no es cierto que los cuasares se detectan en determinadas regiones del espacio. Su distribución es espacialmente uniforme. Se detectan en determinadas "regiones" del tiempo, es decir, corresponden a una época y no a una región, de tal suerte que no hay violación alguna de las premisas de la cosmología.

--Los físicos señalan que los objetos que vemos en el universo no están donde los vemos porque lo que vemos es la luz que de ellos nos llega y en la actualidad esos objetos están realmente en otra parte o ya no existen. ¿Cómo se podría hacer un mapa del universo que no fuera aproximado sino que mostrara los objetos donde están realmente, es decir, cómo puede hacerse un mapa "sincrónico" del universo?

R.- Afortunadamente, debido a que la velocidad de la luz es finita podemos ver las cosas como eran. Los telescopios poderosos son máquinas para mirar el pasado. Gracias a ellos podemos mirar el universo cuando su edad era de un millardo de años y las galaxias apenas empezaban a gestarse; y más temprano aun, cuando tenía 300.000 años de edad y era un plasma caliente en el que aparecían átomos por primera vez. En fin, que la debilidad se convierte en virtud porque nos permite poner a prueba las distintas piezas del rompecabezas de la evolución del universo. A la cosmología no le incumbe hacer un mapa "que no sea aproximado", si es que tal cosa existe. En promedio, podemos afirmar que una región muy distante y que sólo podemos ver en el pasado, ha evolucionado de manera similar a nuestra región que por cercana, la vemos sincrónicamente.

--Einstein negó la existencia de un tiempo absoluto. Si se dice que el Universo tiene aproximadamente entre 8 y 15 mil millones de años, ¿esa edad del universo es relativa a qué sistema de referencia? ¿A nosotros mismos, al fotón, o a qué? Si fuera el fotón, ¿qué edad tendría el universo?

En efecto, la relatividad afirma la equivalencia de los distintos observadores en movimiento relativo, cada uno con su tiempo privado. Ello no obsta para que estudiando un sistema particular, el universo en este caso, la simetría del problema no privilegie una clase de observadores, aquellos respecto de los cuales el universo luce isótropo y uniforme, es decir, los que participan de la expansión dejándose arrastrar, sin ningún movimiento propio. Son estos los observadores, (o sistemas de referencia, para quitarle la connotación antropomórfica) que miden el tiempo cósmico, actualmente calculado en alrededor de quince millardos de años.

Si el observador fuera un fotón la pregunta carece de sentido.

--Qué ideas de Stephen Hawking Ud. no comparte?

R.- No creo que se trate de compartir ideas o no compartirlas. Las contribuciones de Hawking (al igual que las de cualquier científico) deben colaborar en armar el rompecabezas general y a veces es difícil o imposible saber si un modelo dado, una idea, representa una buena pieza del rompecabezas. El tiempo lo dirá. Por los momento creo que el haber establecido la ley de radiación cuántica de los agujeros negros (en 1974), es un enorme logro, porque representa un fenómeno del cual tendrá que dar cuenta una eventual teoría cuántica de la gravitación. En cambio, los presuntos miniagujeros negros con masa de un billón de kg y del tamaño de un protón me luce altamente temeraria.

--Hay científicos que admiten que la gravedad viaja a la velocidad de la luz. No obstante, quisiéramos entender la siguiente situación: si desapareciera el sol en este instante, sabemos que veríamos su luz por ocho minutos en la tierra y luego se extinguiría, pero ¿ocurriría lo mismo con la gravedad, es decir, tardaría ocho minutos la tierra en dejar de girar en torno al sol? Por lo demás, ¿hay alguna relación entre la gravedad y la termodinámica?

R.- Si, con un poquito más de precisión: yo no diría que hay científicos que admiten que la gravedad viaja a la velocidad de la luz, sino que la mejor teoría de la gravedad que tenemos, con suficientes victorias y ninguna derrota en su lidiar con la realidad, la relatividad general, predice que las perturbaciones del campo gravitacional viajan a la velocidad de la luz. Otras teorías gravitacionales hacen predicciones diferentes. Como aún no se han detectado directamente las ondas gravitacionales, no se les ha medido su velocidad, pero la consistencia de la RG y sus éxitos empíricos hacen que la comunidad apueste a que la predicción einsteniana es la correcta. Si pudiéramos "apagar" la gravedad del sol, a los ocho minutos sentiríamos el efecto, o mejor dicho, dejaríamos de sentir el efecto de la gravedad y la Tierra saldría por la tangente de su órbita, como una honda que se ha liberado de la mano.

Respecto de la segunda pregunta; hay profundas vinculaciones, muchas no del todo comprendidas, entre la gravedad y la termodinámica. En primer lugar un sistema de partículas gravitantes tiene un comportamiento antientrópico, o más exactamente, se comporta como un gas con capacidad calorífica negativa: las partículas de un gas tienden a dispersarse y a enfriarse, mientras que un sistema gravitante tiende a aglutinarse y a aumentar su energía cinética (temperatura). La razón de esto es que la energía gravitacional es negativa porque la gravitación es una interacción atractiva. Gracias a esta propiedad es como pudieron emerger estructuras complejas de una distribución casi uniforme de

materia y energía: del desorden total se pasa a estructuras ordenadas. Los físicos sospechan que no hay violación del principio de máxima entropía porque en el balance no se ha tomado en cuenta la entropía asociada con el propio campo gravitacional. El problema es que no disponemos de una expresión sensata que cumpla tal misión. Roger Penrose tiene una propuesta interesante, asociando la entropía de la gravedad a una entidad matemática llamada el tensor de Weyl, pero no creo que haya mucho progreso en esa dirección.

Por otra parte, en la física de agujeros negros podemos asociar el área de un agujero negro con la entropía y por consiguiente definir temperatura de un agujero negro. Esas fueron las ideas que desembocaron en la ley de radiación de Hawking para un agujero negro.

--Se habla de agujeros negros, de materia oscura, de estrellas oscuras ¿Acaso la cosmología ha optado por el ennegrecimiento del universo, es decir, por explicar el misterio en base a misterios teóricos más o menos sugerentes que le han restado elegancia a los modelos cosmológicos actuales?

El universo se ha “ennegrecido” el solito a medida que se ha enfriado, no los cosmólogos. Los agujeros negros son una predicción de la relatividad, ella los prefigura teóricamente, sabemos qué son, y de repente comienzan a encontrarse evidencias de que están allí. Con la materia oscura ocurre lo contrario: primero se detecta observacionalmente: la masa de galaxias y de cúmulos de galaxias calculada por sus efectos gravitacionales es mucho mayor que la que vemos. De modo que la materia oscura está allí y debemos saber qué la compone. A escala cosmológica las observaciones indican que (en alguna unidad) la densidad de materia debe ser uno. Sin embargo, los cálculos de las reacciones nucleares en los primeros minutos luego del big bang dan como resultado una abundancia de elementos ligeros (helio, litio y sobre todo deuterio que no hay proceso astrofísico que lo produzca y por tanto todo el deuterio que observamos se cocinó en el temprano universo) consistente con las observaciones, solamente si la densidad de la materia normal (protones y neutrones) es de 5%. Por tanto, debemos invocar a la materia oscura. Parte de esta materia oscura puede consistir en estrellas frustradas que por no tener la masa suficiente no lograron brillar con luz propia, y sin duda agujeros negros, pero no toda puede ser de materia normal (aunque la materia que nos forma y que llamamos “normal” es realmente la exótica, es apenas el 5% de la masa del universo) y es por eso que la desbordada imaginación de los teóricos ha brindado no pocos candidatos a materia oscura: fotinos, axiones, wimps (weak interacting massive particles)...desechos fósiles de los primerísimos instantes del universo. Hay varios detectores actualmente tratando de descifrar su identidad, pero es honrado decir que no se tiene idea de su naturaleza. Esta ignorancia no significa que estemos sustituyendo un misterio por un enigma. Significa que el rompecabezas no está totalmente armado y se postulan entidades que suplan las piezas faltantes, mientras tanto y por si acaso. Nada que no haya ocurrido en repetidísimas ocasiones en la historia de las ciencias, ocasiones en las que el científico se aferra a la esperanza de Eudomar Santos: como vaya viniendo, vamos viendo.

¿Cuáles son las medidas aceptadas para el radio del universo?

Esta pregunta permite hacer un breve digresión levemente semántica. La palabra “Universo”, así, con U mayúscula, puede indicar el conjunto de todo cuanto existe. Pero también universo o universo observable se usa para denotar la parte del universo total cuya luz ha tenido tiempo para llegar, viajando desde el big bang hasta ahora. El tamaño del universo observable crece a medida que el universo envejece, y es esta acepción de la palabra universo la que le interesa a la cosmología observacional. Si como parece, el espacio a escala cosmológica es euclidiano, el Universo es infinito en extensión y contiene infinitas galaxias (si es que la hipótesis de homogeneidad sigue válida más allá del horizonte del universo observable, lo cual por definición no es comprobable). Pero nuestro universo observable es finito y con un número finito de galaxias (unos cien millardos de galaxias) y por tanto representa una fracción nula del Universo. La pregunta obviamente se refiere al universo observable. La primera respuesta, la aproximación más burda, se obtiene multiplicando la velocidad de la luz por el número de años que han pasado del big bang hasta hoy. Eso resulta en unos quince millardos de años luz (el número quince no es totalmente preciso, pero no es ni uno ni cien, es doce o catorce o algo así). Si queremos ser un poco más precisos debemos señalar que en ese cálculo no está tomado en cuenta la expansión. Si suponemos que la mayor parte de la edad del universo la expansión ha estado dominada por la materia (no relativista), tenemos un factor tres adicional y el resultado sería de cuarenta y cinco millardos de años luz, que en centímetros corresponde aproximadamente a un cuatro con veintiochos ceros.