

**TERCERA SESIÓN GENERAL
SEMINARIO DE LA CÁTEDRA CTR
10 DE MARZO DE 2006**

DOCUMENTO MARCO:

I. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES Y COSMOLOGÍA
*por Josep Antoni Grifols, Universidad Autónoma de Barcelona,
Ponente*

II. PROYECCIÓN FILOSÓFICA DE LA COSMOLOGÍA MODERNA
*[Guión para la discusión]
reflexión elaborada por la CATEDRA CTR*

I

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES Y COSMOLOGÍA
Por Josep Antoni Grifols, Universidad Autónoma de Barcelona

Todos los pueblos, todas las culturas, todas las civilizaciones han tenido y tienen una representación del mundo, una idea sobre el origen de todas las cosas, una teoría sobre el Universo; en definitiva, una Cosmología. Evidentemente, dichas teorías sobre el mundo reposan en aparatos conceptuales de índole muy diversa dependiendo del grado de desarrollo cultural de la sociedad que las propone. Así, existe una cosmología mágica o animista de los pueblos más primitivos, existe una cosmología mítica que imagina al mundo gobernado por dioses de comportamiento totalmente antropomórfico (la mitología de los antiguos pueblos mesopotámicos, pongamos por ejemplo), existe la cosmología

ptolomaica de las esferas celestes adoptada por el mundo medieval judeocristiano e islámico, etc.

La Cosmología que ahora nos ocupa es otra posible interpretación del mundo. Es, sin embargo, una interpretación radicalmente distinta a otras explicaciones del mundo porque sus herramientas conceptuales y exegéticas reposan en la Ciencia. Existe hoy, en el siglo XXI, una teoría del Universo que posee el pedigrí de rigor y verisimilitud de toda buena teoría física: “el modelo cosmológico estándar”. Es a esta cosmología que queremos dedicar las líneas que siguen a continuación. Nuestro enfoque o hilo narrativo descansa en Principios fundamentales que nos servirán de mojones a lo largo del camino que lleva a la formulación del Big Bang.

El Principio de Equivalencia

Puesto que el universo es, por definición, todo lo que hay, es obvio que la cosmología se ocupa de todo lo que hay. Y lo que hay es, en términos físicos, espacio, tiempo, materia y energía. El modelo estándar de la física de partículas nos proporciona una teoría sobre la materia. La relatividad general nos procura una teoría sobre el espacio-tiempo y su relación con la materia-energía. Volveremos sobre la física de partículas más adelante. Ahora nos ocupamos del espacio-tiempo. Según confesión del propio Einstein, la idea física más feliz de su vida la tuvo en la oficina de patentes de Berna donde se le ocurrió que cuando una persona cae al vacío no siente su propio peso, es decir, no pesa. Esta reflexión es en esencia el contenido del Principio de Equivalencia y el germen de la teoría de la Relatividad General. La fuerza de la gravedad, el peso de una persona, se anula cuando la persona está en caída libre pero también de cualquier objeto que cae con la persona, independientemente de su masa. En caída libre, por tanto, todos los cuerpos tienen un comportamiento inercial; los movimientos relativos de unos cuerpos respecto de otros obedecen a la ley de la inercia: son movimientos rectilíneos y de velocidad uniforme. Esto significa que el espacio físico que les alberga es un espacio euclídeo cuyos puntos están unidos por rectas y donde la noción de paralelismo tiene sentido. Recíprocamente, podemos “crear” gravedad acelerando globalmente, en ausencia de campo gravitatorio alguno, un sistema de cuerpos contenidos en un recinto. En una astronave, por ejemplo, en medio del espacio interestelar y alejada de todo astro o planeta, creamos gravedad artificial en el interior si encendemos los motores y aceleramos la nave. La imposibilidad de distinguir físicamente aceleración de gravedad es lo que llamamos

Principio de Equivalencia. Pero hay que precisar un poco más. Evidentemente, cuerpos demasiado alejados entre sí en un campo gravitatorio no caen al mismo ritmo. Por lo tanto, cuando antes nos referimos a un conjunto de objetos en caída libre debimos añadir que dichos cuerpos deben ocupar una reducida zona del espacio para que la aceleración de la gravedad sea la misma en dicha región del espacio. Análogamente la astronave no puede ser arbitrariamente grande puesto que si este fuera el caso la simulación de la gravedad sería grosera: en todas las partes de la nave habría el mismo campo gravitatorio y un campo gravitatorio “real” no es uniforme. De modo que, en presencia de gravedad, el espacio sólo puede ser euclídeo “localmente”. Sólo localmente, las rectas son rectas y las rectas paralelas son rectas paralelas. En Matemáticas los espacios con dichas características se conocen como espacios “riemannianos”, espacios curvados. El gran hito intelectual de Einstein consistió precisamente en establecer la identificación entre gravedad y espacio curvado. La gravedad no es más que una característica geométrica. No es una fuerza. La gravedad es espacio-tiempo curvado. Nótese que dijimos espacio-tiempo. Espacio y tiempo, y esto también se lo debemos a Einstein, son entidades que no se pueden separar, que no tienen un significado absoluto por si mismas. El espacio y el tiempo son parte de una realidad que los engloba, el espacio tetradimensional o espacio-tiempo. El espacio-tiempo es curvado y los cuerpos en el espacio-tiempo no tienen otro remedio que moverse curvadamente. Así, la Tierra se mueve alrededor del Sol no porque el Sol la atraiga sino porque el espacio-tiempo del sistema solar es curvado. La pregunta inmediata es, claro está, por qué es curvo el espacio-tiempo o, dicho de otro modo, ¿qué curva el espacio-tiempo? La respuesta nos la da Einstein en su Teoría de la Relatividad General. La materia-energía deforma el espacio-tiempo. El Sol, en nuestro ejemplo anterior, es el responsable de la curvatura del espacio-tiempo de su entorno. No es éste el momento ni aquí el lugar para exponer la teoría de la Relatividad General en su detalle que, dicho sea de paso, costó a Einstein largos años de maduración hasta su formulación definitiva. Pero si que queremos dejar constancia de las ecuaciones que la encapsulan:

$$G^{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T^{\mu\nu}$$

Estas ecuaciones (aunque sólo aparezca una ecuación, en realidad son 10 ecuaciones debido al carácter tensorial de la igualdad) consagran la geometrización de la Gravitación. El miembro izquierdo de la ecuación es el tensor de Einstein, contiene las cantidades que caracterizan la geometría del espacio-tiempo y el miembro de la derecha, el tensor

energía- momento, lleva la información sobre la materia-energía. Básicamente, estas ecuaciones expresan cómo la materia-energía “obliga” al espacio-tiempo a curvarse. Tanto si se trata de una estrella (como el Sol), de una enana blanca, de una estrella de neutrones, de un agujero negro o del mismísimo Universo, el carácter del espacio-tiempo de estos sistemas viene condicionada por la materia que los constituye. La solución de las ecuaciones de Einstein nos da, en cada caso, la naturaleza concreta del espacio-tiempo correspondiente.

El Principio de Contenencia

(Arcaísmo. “Lo que se contiene dentro de una cosa”)

El espacio y el tiempo en la relatividad general, como acabamos de ver, tienen un carácter radicalmente distinto al que tradicionalmente tuvieron en la física clásica. Convendría pues contrastar el paradigma espacio-temporal einsteiniano con el paradigma de espacio y tiempo que convencionalmente tuvo la ciencia y, me atrevería a decir que todavía tiene, el ciudadano de a pie. A este paradigma tradicional lo llamaré paradigma espacio-temporal newtoniano para confrontar dos visiones opuestas cuyos máximos representantes son Newton y Einstein.

El espacio, para Newton, es el escenario vacío e inerte donde se ubican las cosas de este mundo- las galaxias, las estrellas, los planetas, ...- y en donde suceden todas las cosas de este mundo. El tiempo, para Newton y para la física clásica, es el marcapasos universal que secuencía y ordena los sucesos de este mundo. Espacio y tiempo son pues elementos externos al Universo, elementos que le contienen y delimitan. En Newton estas nociones son claramente así puesto que para él espacio y tiempo son atributos de Dios. Un Dios infinito que no solo está presente en todas partes de este espacio sino que también contempla todo el infinito pasado y todo el infinito futuro. En la concepción clásica el Universo está “dentro” del espacio infinito y “dentro” del tiempo infinito. Ambos, espacio y tiempo, son realidades “externas” al mundo material. Son el “continente” donde se alberga el mundo. Dios, en su omnipotencia infinita podría aniquilar “todo” lo que hay y, sin embargo, el espacio y el tiempo seguirían intactos.

Esta cualidad inmutable del espacio y tiempo clásicos, que les hace ajenos a las propiedades de la materia y de la energía, se pierde totalmente en el paradigma einsteiniano. El espacio-tiempo cobra un carácter dinámico, activo, íntimamente relacionado con la materia y energía, que influye y es influido por éstas y evoluciona con ellas. En esta nueva “Weltanschauung”, espacio y tiempo, juntamente con materia y

energía son el “contenido” del Universo. No hay espacio ni tiempo sin Universo. Por este mismo motivo las preguntas frecuentemente formuladas de que había “antes” del origen del Universo o que hay “fuera” del Universo son preguntas formuladas dentro del paradigma newtoniano y que pierden su sentido original dentro del nuevo paradigma einsteiniano.

El Principio Cosmológico

Cuando se aborda el problema de resolver las ecuaciones de Einstein para el Universo como una totalidad, no para una parte de él, se comprende fácilmente que la cuestión no es banal. El problema es, en principio, intratable. Muy complicado. Por lo tanto debemos recurrir a todo aquello que pueda simplificar el problema y hacerlo matemáticamente manejable. Un input filosófico que estamos dispuestos a aceptar sobre el Universo es que el Universo no tiene centro. Desde Copérnico hemos aprendido a convivir psicológicamente con la idea de que no ocupamos un lugar privilegiado en el sistema solar, el Sol tampoco lo ocupa en la Vía Láctea y ésta no está en el centro del Grupo Local de galaxias que la contiene. El Principio Cosmológico generaliza esta constatación y establece que ningún lugar en el Universo es privilegiado respecto de ningún otro lugar. Esta afirmación debe entenderse en el sentido siguiente. Las propiedades físicas del Universo, como por ejemplo la densidad de materia, promediadas sobre distancias cósmicas, son iguales en cualquier punto del Universo. Es decir, a gran escala- a “vista de pájaro”- el Universo aparece homogéneo e isótropo. Naturalmente, esto es una hipótesis porque lo único que es observacionalmente cierto es que “desde nuestra posición” en el Universo, éste aparece como homogéneo (la materia a partir de centenares de millones de años luz se distribuye uniformemente) e isótropo (la radiación de fondo de microondas, por ejemplo, es muy igual en todas las direcciones). El Principio Cosmológico es una poderosa “navaja de Occam” que en manos de los cosmólogos permite simplificar enormemente las ecuaciones de Einstein del Universo. En efecto, este principio tiene una implementación matemática inmediata. Sólo hay tres tipos de espacio que sean compatibles con el Principio Cosmológico. El espacio plano, el espacio esférico y el espacio hiperbólico. Estos tres espacios son “isotrópicos” o, en otras palabras, no tienen “centro”. Si se admiten únicamente estos espacios en el miembro reservado a la geometría del espacio-tiempo de las ecuaciones de Einstein y en el otro miembro de dichas ecuaciones introducimos lo que se sabe acerca de la

materia-energía, entonces las ecuaciones son solubles y el resultado es un Universo dinámico, un Universo en evolución. En otras palabras, las ecuaciones de Einstein (1916) predicen lo que Hubble descubrió años más tarde (1929): el Universo se expande. Es más, Hubble descubrió que el Universo se expande de una manera muy concreta, siguiendo una ley que fue bautizada con el nombre de quien la formuló, la ley de Hubble. “Las galaxias se alejan a velocidades proporcionales a la distancia a que se encuentran”.

La ley de Hubble, que es un resultado observacional, es sin embargo consecuencia directa del Principio Cosmológico. Se puede demostrar fácilmente que un espacio isótropico en expansión forzosamente implica que la velocidad con que se alejan dos galaxias cualesquiera es proporcional a la distancia que las separa. He ahí pues un Principio filosófico, el Principio Cosmológico, que es “falsable” en el sentido popperiano. Si la ley de Hubble no se cumpliera, el Principio Cosmológico sería falso.

Conviene hacer una puntualización muy importante. La formulación de la ley de Hubble tal como la hemos presentado, que es la forma tradicional (la del propio Hubble), es equívoca porque está formulada en el “viejo paradigma newtoniano”: un espacio vacío dentro del cual se mueven las galaxias, retrocediendo las unas de las otras. Lo que realmente se expande es el espacio mismo. Las galaxias están fijadas sobre un “tejido” espacio-temporal en expansión. El espacio entre galaxias “crece”, podríamos decir abusando del lenguaje, como crece orgánicamente un ser vivo. Este es, ni más ni menos, el nuevo paradigma einsteiniano sobre el espacio-tiempo en el Universo.

El Primer Principio de la Termodinámica

Hasta ahora pusimos mayor énfasis en la componente de espacio y tiempo de las ecuaciones de Einstein. Volvamos ahora sobre la materia-energía. Puesto que el Universo como hemos visto se expande, en el pasado el Universo era más denso. Cuanto más retrocedamos en el tiempo más denso será el Universo. El Universo en sus primeros instantes, el Universo primordial, es un Universo extraordinariamente denso. Un Universo muy denso es un Universo muy caliente donde la materia, totalmente desleída en sus elementos fundamentales, está en equilibrio termodinámico con radiación. No existe ningún tipo de estructura: por supuesto no hay galaxias, no hay estrellas, no hay moléculas, no hay átomos, no hay núcleos atómicos. Está la materia totalmente ionizada (protones, neutrones, electrones). Y hay fotones y neutrinos. También hay

antimateria. En la primera centésima de segundo, pongamos por caso, la única antimateria que hay son antineutrinos y positrones, o sea antielectrones. En épocas todavía más pretéritas, cuando la temperatura del plasma cósmico era tan elevada que permitía la creación sostenible de antimateria más pesada (materia y antimateria se pueden crear a partir de energía pura), abundaban los antiprotones y antineutrones.

La radiación, o sea los fotones, nos llega hoy, mucho más fría en forma principalmente de microondas. Esta radiación, detectada por primera vez en 1965, es la información más arcaica que tenemos sobre el Universo y su estudio y análisis es una herramienta fundamental para los cosmólogos. Por ejemplo, gracias a ella sabemos hoy (de hecho, muy recientemente) que el Universo es a gran escala plano. Recordemos que el Principio Cosmológico nos brindaba tres opciones, la plana entre ellas. Pero gracias a ella podemos también reconstruir la temperatura del Universo en el pasado gracias a haber medido hoy su temperatura, que como dijimos, es muy fría: unos 270 C bajo cero, apenas unos 3 grados por encima del cero absoluto. Hablaremos de ello dentro de poco.

Consideremos ahora un cierto volumen (comóvil con la expansión) del Universo primitivo que contiene una porción fija de plasma de materia y radiación. El primer principio de la termodinámica, esto es, el principio de conservación de la energía, exige que en el trabajo de expansión de este volumen se haga a expensas de una disminución de su energía interna. La materia no relativista (por abuso de lenguaje, a partir de ahora simplemente materia) en este volumen no ejerce presión y por tanto el trabajo de expansión es nulo y la energía interna de la materia (que no es otra cosa que la energía que radica en su masa) no cambia. Por otro lado, la radiación sí ejerce presión y por tanto la energía interna de la radiación en dicho volumen decrece. Con el paso del tiempo por tanto la importancia relativa de la radiación respecto de la materia en el segundo miembro de las ecuaciones de Einstein (en el tensor energía-impulso) disminuye. O, a la inversa, la importancia de la radiación en las ecuaciones de Einstein es tanto mayor cuanto más primitivo es el Universo. Hay que recordar que las ecuaciones de Einstein describen el “crecimiento” del Universo causado por el contenido material del Universo. Pues bien, la expansión del Universo a partir de un cierto instante viene gobernada por la materia no relativista. Antes de este instante, estuvo gobernada por la radiación. El primer principio de la termodinámica junto con las ecuaciones de Einstein permite obtener el ritmo de crecimiento de las distancias cósmicas con el tiempo en ambas épocas. En la era dominada por la radiación las distancias crecen con la raíz cuadrada del tiempo. En la era dominada por la materia las distancias crecen con la raíz cúbica del cuadrado del tiempo. La transición de un

régimen al otro se produce alrededor de unas pocas decenas de miles de años de vida del Universo.

El Segundo Principio de la Termodinámica

Acabamos de ver como se expande el Universo con el tiempo. Antes comentábamos sobre la temperatura de la radiación de fondo que se detecta actualmente y de la posibilidad de, a partir de este dato, colegir la temperatura del universo en el pasado. El segundo principio de la termodinámica nos da la clave. La entropía de un sistema termodinámico aislado no puede decrecer. Si la transformación que experimenta el sistema es reversible, la entropía se mantiene constante. La radiación contenida en el volumen comóvil que considerábamos antes constituye un fluido relativístico perfecto y por tanto su evolución es adiabática (sin pérdidas de calor) y reversible. La entropía del gas de fotones en este volumen es constante. Pero la entropía de un gas de fotones es proporcional al volumen del gas y al cubo de la temperatura. La constancia de la entropía implica por consiguiente que la temperatura descienda con la raíz cúbica del volumen o, equivalentemente, que la temperatura sea inversamente proporcional a la escala de distancias. Ello significa, por ejemplo, que si ahora la temperatura es de 3K aproximadamente, cuando el Universo visible actual ocupaba una octava parte de su volumen presente la temperatura era de 6 K aproximadamente. Conocíamos ya la ley de crecimiento de las distancias con el tiempo. Ahora conocemos la ley de decrecimiento de la temperatura con las distancias (y por tanto también con el tiempo). Conocida la temperatura en cada momento de la vida del Universo primitivo es posible conocer los procesos físicos que tuvieron lugar gracias a la física de las partículas elementales o física de altas energías. Ello nos permite reconstruir la historia de la evolución del Universo desde las primeras fracciones de segundo. Algunos de los momentos cruciales de esta historia los comentaremos en el próximo apartado. Aquí mencionaremos que en la primera centésima de segundo, instante al que ya aludimos en el apartado anterior, el medio cósmico tenía una temperatura de unos cien mil millones de grados y su densidad era un factor de varios miles de millones de veces la densidad del agua. Digamos también que la física de los procesos que entonces (a los 0,01 segundos) tuvieron lugar es perfectamente conocida y no ofrece dudas. Sin embargo, cuanto más retrocedamos en el tiempo antes de la primera centésima de segundo, mayores son las incertidumbres acerca de los

procesos físicos que se produjeron. Dejemos para más tarde algunas consideraciones al respecto.

El Principio Antrópico

Hemos dejado para este apartado aquellos momentos y sus fenómenos asociados que tienen especial relevancia para que el Universo sea como es actualmente y no de otra manera y para que, en particular, sea “hospitalario” para la vida y para nosotros, observadores que somos de “este” Universo y no otro. De ahí haber elegido como encabezamiento del apartado el principio antrópico. En su enunciado débil dice así: “lo que podemos observar debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores”. En su forma fuerte y más polémica: “el Universo necesariamente tiene las propiedades requeridas para la existencia de la vida”. De forma más coloquial: “ el Universo es como es debido a que existimos”. Obviamente el carácter de este principio es completamente distinto de los principios expuestos anteriormente. De alguna manera, aquellos principios “explican” el Universo, el principio antrópico “nos explica”.

Cuando el universo tiene apenas una millonésima de segundo y la temperatura es de unos diez millones de millones de grados, el Universo todavía contiene gran cantidad de antimateria (bariónica, i.e. antiprotones y antineutrones). Contiene igual proporción de materia que antimateria. Prácticamente tantos antiprotones (antineutrones) como protones (neutrones), tantos como electrones o positrones, tantos como neutrinos o antineutrinos, tantos como fotones. Igual número de todos ellos, no importa si son materia o antimateria. Recordaremos que llegada la primera centésima de segundo ya no quedan antibariones (esto es, antiprotones y antineutrones). Se extinguieron con los bariones (materia y antimateria se aniquilan dando origen a energía pura, fotones) sin que pudieran ser resintetizados de nuevo por la energía en el medio cósmico. Pero había, a los 0,01 segundos, protones y neutrones, desde luego, puesto que estos constituyen la materia ordinaria de la cual están hechas las galaxias, las estrellas, los planetas, nosotros mismos. En un principio pues no podía haber “exactamente” igual cantidad de materia que de antimateria. De lo contrario hoy no estaríamos aquí para contarlo. Así que, prudentemente, dijimos unas líneas más arriba que había, cuando el universo tenía una millonésima de segundo, “prácticamente” tantos protones o neutrones como antiprotones o antineutrones. Es hora de concretar este calificativo. Por cada mil millones de antiprotones (o antineutrones) había mil millones y un protones (o neutrones). El déficit

de antimateria era ridículamente pequeño: por cada quilo de materia había un quilo menos una millonésima de gramo de antimateria. Esto significa que sólo queda ahora una mil millonésima parte de la materia que hubo antes (antes del “exterminio” total de la antimateria con una cantidad equivalente de materia). Las galaxias, cúmulos y supercúmulos que hoy observamos son la migaja residual de una “gran extinción”. Este es todavía un gran misterio de la cosmología. Es más fácil construir teorías físicas con una perfecta simetría entre materia y antimateria, que entender físicamente una desviación tan ínfima de la perfecta igualdad. Pero, paradójicamente, en un mundo exactamente simétrico respecto a materia y antimateria, ¿no habría físicos para comprenderlo! (¿principio antrópico?). Más tarde, transcurrido un segundo, lo mismo les pasará a los positrones que hasta este momento abundaban en la “sopa cósmica”: desaparecerán por aniquilación con electrones. Sólo una fracción pequeñísima de electrones sobrevivirá esta extinción. Uno de cada mil millones. En el futuro estos electrones, junto a protones y neutrones, formarán los átomos que constituyen la materia ordinaria de nuestro Universo.

Otro episodio importante en la vida del Universo que incide en el aspecto antrópico es la llamada nucleosíntesis primordial o aparición de los núcleos ligeros, notablemente el helio. Digamos de entrada que “grosso modo” el 75% (en masa) de la materia ordinaria del Universo es hidrógeno, el 25% restante es helio. El núcleo de helio consta de dos protones y dos neutrones. Cuando han transcurrido tres minutos y el Universo se ha enfriado a algo menos de mil millones de grados, las reacciones nucleares que terminan en la formación de núcleos de helio pueden proceder con éxito. Antes no es posible porque para que se produzca helio se requiere un paso intermedio: la producción de deuterio (núcleo con un protón y un neutrón). Pero el deuterio es un núcleo muy frágil. Se rompe fácilmente (por fotodisociación). Sólo puede estabilizarse en un medio suficientemente frío. Lograda la estabilización del deuterio, el helio puede generarse por la unión de núcleos de deuterio o por la síntesis previa de tritio o helio-3 a partir del deuterio. La proporción de helio producido (el 25%) depende críticamente de varios factores. Depende de la energía de enlace del deuterio (relativamente pequeña, como hemos comentado). Depende de la diferencia de masa entre el neutrón y el protón. Depende del número de fotones por barión del plasma cósmico. Depende también del número especies de neutrino (pero aquí no vamos a entrar). La energía de enlace del deuterio es sólo un poco mayor que la diferencia de masas entre neutrón y protón. Este hecho fortuito es responsable de que haya hidrógeno en abundancia en el Universo y por tanto que las estrellas brillen. En efecto, un deuterio menos frágil se estabilizaría a una temperatura superior, o sea, antes en la

vida del Universo. Pero que la nucleosíntesis del helio se produzca a una temperatura mayor implica que la cantidad de neutrones disponibles relativa a los protones sea mayor (la fracción de neutrones sobre protones disminuye cuanto más pequeña sea la temperatura en relación con la diferencia de masas entre neutrón y protón). Ello significa que se puede sintetizar mayor cantidad de helio (y por tanto habrá menos hidrógeno). Un deuterio tan solo un poco más ligado provocaría que todo el hidrógeno fuera consumido durante la síntesis del helio. Cuando, mucho más tarde en la evolución del Universo, la materia colapsara para formar estructuras- galaxias, cúmulos, etc- no habría el hidrógeno para que las estrellas lo combustionaran. Y en consecuencia, tampoco habría vida. El mismo efecto lo causaría también un número mucho menor de fotones por barión porque en este caso los procesos de fotodisociación del deuterio serían mucho más raros y por tanto la estabilización del deuterio se produciría antes. Pero un número excesivo de fotones por barión también tendría repercusiones negativas para la formación de estructura, puesto que en este caso el Universo estaría dominado por la radiación durante un tiempo mayor y no habría habido tiempo suficiente para la formación de estructura. O sea, que otro parámetro que “parece” ajustado para que el Universo sea “hospitalario” es este mil millones de fotones por cada protón (o neutrón) que antes apareció en el contexto materia/antimateria.

Para finalizar esta sección, abordemos la cuestión de la formación de estructura (a la que ya hicimos referencia hace poco). Después de la nucleosíntesis del helio no se produce ningún evento relevante, salvo claro está el continuo enfriamiento y expansión del Universo y la transición de un Universo dominado por la radiación a un Universo dominado por la materia, hasta llegar a los 350.000 años. Ahí se produce la llamada “recombinación”, que no es otra cosa que la formación del hidrógeno atómico (cada protón se combina con un electrón). La temperatura ahora es del orden de los diez mil grados y los fotones del medio cósmico ya no pueden romper los enlaces atómicos. Inmediatamente después de la recombinación los fotones se desacoplan de la materia. Desde este momento viajarán sin volver a interactuar de nuevo con la materia. Es esta radiación la que se detecta ahora en forma de microondas y que ha viajado intocada hasta nosotros durante unos catorce mil millones de años. Un análisis detallado de esta radiación a lo largo y ancho de la bóveda celeste nos proporciona pues una “radiografía” del Universo de aquel entonces. Concretamente, el estudio de las minúsculas (de una parte sobre cien mil) variaciones de temperatura entre unas direcciones y otras en el firmamento nos da información sobre las inhomogeneidades en la distribución de materia en el Universo primitivo. Estas inhomogeneidades son “las semillas” sobre

las cuales fueron creciendo por atracción gravitatoria las futuras estructuras cósmicas- las galaxias, los cúmulos y los supercúmulos- que pueblan el Universo actual. La escala de tiempo requerido para ello es de miles de millones de años. Sabemos por este análisis detallado de la radiación de fondo que el Universo es espacialmente plano, que el 73% de la energía del Universo es oscura (no asociada a materia alguna), que el 23% es materia oscura (materia desconocida) y que el resto (un 4%) es la materia bariónica (la materia ordinaria de la que estamos fabricados las estrellas, los planetas y nosotros). Pues bien, he ahí otro dato que puede ser visto bajo el prisma del principio antrópico. La gran proporción de materia oscura es absolutamente necesaria para la formación de las estructuras (galaxias, etc) observadas en el Universo. Sin ella no podrían crearse los potenciales gravitatorios necesarios para que la materia ordinaria se precipite sobre ellos y condense en las estructuras conocidas en un lapso de tiempo compatible con el tiempo de vida del Universo. En otras palabras, hoy todavía no habrían aparecido las galaxias, cúmulos y supercúmulos de no ser por la materia oscura.

El Principio de Incertidumbre

Llegamos al final de nuestro periplo por los principios que sostienen el paradigma cosmológico actual y no queremos dejar de mencionar cuál es el límite que nos impone la física sobre nuestra capacidad de conocer el pasado del Universo. ¿Cuál es el tiempo más remoto al que podemos acceder con nuestras actuales teorías físicas?

La mecánica cuántica impone, a través del principio de incertidumbre, una indeterminación esencial en las variables que definen el estado de un proceso o sistema físico. Por ejemplo, velocidad y posición de un electrón en un átomo son magnitudes que en este electrón no pueden estar perfectamente determinadas ambas a la vez. Existe un compromiso entre lo bien determinadas que están una y otra. Cuanto mejor definida está la posición peor definida está la velocidad y viceversa. Con tiempo y energía también rige un principio de incertidumbre. Cuanto mayor es el tiempo que dura un cierto proceso físico, más estrechamente determinada está la energía involucrada en este proceso. En los tiempos más remotos de la vida del Universo, la duración de los procesos físicos forzosamente es cortísima (simplemente por que todavía no ha podido pasar el tiempo suficiente). El principio de incertidumbre exige entonces que, puesto que el tiempo es corto, la indeterminación en la energía sea grande. Pero la teoría de la relatividad general, por otro lado, dice que toda energía genera gravedad. En

definitiva, la indeterminación de la energía provoca indeterminación en el campo gravitatorio, es decir, en el espacio-tiempo. El tejido espaciotemporal también fluctúa cuánticamente. En este momento la teoría einsteiniana de la gravitación deja de ser válida (la relatividad general es una teoría clásica en el sentido de que no incorpora a la mecánica cuántica en su seno). El conflicto de la mecánica cuántica con la relatividad general se produce específicamente en el “tiempo de Planck”, a los 10^{-43} segundos, que corresponde al momento cuando la energía gravitatoria de una región causalmente conectada es del mismo orden de magnitud que su propia indeterminación cuántica. Aquí nos topamos con un muro que sólo podremos salvar con la construcción de una teoría de la gravedad que sea cuántica.

Epílogo

En este repaso de la historia del Universo naturalmente no hemos tocado todos los aspectos de la cosmología ni hemos podido profundizar demasiado en aquellos puntos que sí hemos discutido. En la penumbra ha quedado, por ejemplo, la teoría de la inflación o la discusión de las distintas transiciones de fase que se supone sucedieron en el Universo muy primitivo. Estas últimas y la época inflacionaria debieron ocurrir entre la época de Planck y las épocas que hemos mencionado explícitamente. En estas edades tan remotas el Universo tiene, según las especulaciones de los físicos, un grado sumo de simetría o de perfección. Simetría o perfección que va perdiendo en las sucesivas transiciones de fase a las que acabamos de referirnos hace muy poco. En la cosmología aristotélica al uso en el Renacimiento, antes de la revolución copernicana, el Universo estaba dividido en dos. Por una parte el mundo sublunar, imperfecto, perecedero, caótico, con el estigma del mal. Y por otra, el mundo más allá de la esfera de la luna, perenne, donde reinaban el orden y la perfección. Esta división radical que la cosmología precopernicana impone en el espacio y cuya línea divisoria es la luna, reaparece en la cosmología moderna como una drástica división en el tiempo donde un Universo altamente simétrico existiría “antes” de un cierto instante muy remoto en el pasado. Sin embargo, es sólo gracias a haber “perdido” este “paraíso” que, en la moderna cosmovisión, nuestra existencia es posible.

Josep Antoni Grifols
Universidad Autónoma de Barcelona

II

PROYECCIÓN FILOSÓFICA DE LA COSMOLOGÍA MODERNA

[Guión para la discusión]

Cátedra CTR, Universidad Comillas, Madrid

La cosmología moderna y sus principios

La ciencia tiene su epistemología propia, situada además en el marco interdisciplinar de las diversas ciencias, naturales y humanas. La ciencia física, tal como es entendida por los científicos, trata de conocer el mundo a partir de los hechos. Es decir: explicar los fenómenos físicos a partir de sus causas. Pero, para la ciencia, las “causas explicativas” son hechos empíricos constatables, a ser posible por el método experimental. La ciencia puede inferir eventos (no constatados directamente) pero implicados lógicamente, según las leyes de la física, en las evidencias empíricas. La ciencia además puede especular, imaginar teorías todavía no confirmadas por la investigación experimental. Pero la especulación (que tiene una legitimidad heurística en la ciencia) sólo es conocimiento (o sea, ciencia) cuando está confirmada globalmente por los hechos empíricos (y las inferencias bien construidas desde ellos); hechos, por otra parte, descritos por aplicación de los variados métodos empíricos de la ciencia (que no debemos reducir sólo a la experimentación).

Así, puede haber teorías complejas muy especulativas, como es la cosmología moderna que se remonta a los mismísimos orígenes del universo, que no son arbitrarias porque están fundadas en argumentos, inferencias y supuestos perfectamente conformes con nuestra experiencia

actual del universo. En este sentido se trata de conocimiento científico (es decir, conocimiento del cosmos en congruencia con nuestra experiencia empírica del universo actual); conocimiento que tampoco pretende ser considerado como absoluto y cierto, esto es, exento de seguir siendo sometido a crítica y revisión (en conformidad con los principios de una epistemología popperiana).

El profesor Grifols ha expuesto cuáles son los principios básicos, así como los hechos e inferencias que los soportan, que constituyen hoy la lógica argumentativa de la cosmología moderna: el *principio de equivalencia* que, a través de las ecuaciones de Einstein, consagra la geometrización de la gravitación; el *principio de contenencia* que presenta el espacio tiempo como producto de la materia-energía, sin un “contenente” externo, distinto del espacio-tiempo generado por la materia-energía misma; el *principio cosmológico* como hipótesis de un universo homogéneo e isotrópico, en concordancia con nuestras observaciones, permitiéndose entonces deducir de las ecuaciones de Einstein un universo dinámico; el *primer y segundo principio de termodinámica* que, a partir sobre todo de los datos conocidos sobre la radiación de fondo, permiten reconstruir la historia evolutiva del universo, con seguridad desde una centésima de segundo y con mayor inseguridad para los tiempos anteriores; el *principio antrópico* que da sentido al hecho del valor de ciertas variables o circunstancias producidas en la historia cósmica, en cuanto posibilitan un universo habitable por el hombre; por último, el *principio de incertidumbre* que establece la necesaria atención a los principios mecanocuánticos que plantean problemas no resueltos todavía (para unificar relatividad y mecánica cuántica) que supondrían el avance hacia una teoría de la gravedad cuántica.

La presentación del profesor Grifols no es exhaustiva; como dice, queda en la penumbra la teoría de la inflación o la discusión de las distintas transiciones de fase en el universo muy primitivo. Además, presenta los principios del modelo cosmológico estándar, dejando aparte aquellas teorías más especulativas que no gozan de un soporte empírico suficiente. Por consiguiente, la exposición traza la imagen teórica de la cosmología moderna con soporte empírico-experimental consistente. Esta nos dice que el origen del universo fue el evento que conocemos como *big bang*, cuya evolución somos capaces de reconstruir desde las reducidísimas fracciones de segundo iniciales, haciéndose así posible el seguimiento del proceso que conduce al nacimiento del espacio-tiempo como factor derivado de la materia-energía emergente, según las ecuaciones de Einstein.

El profesor Grifols no se refiere, al ceñirse a la exposición de los principios básicos, al futuro del universo. Evidentemente, las hipótesis que se hagan científicamente sobre su evolución deberán hacerse en concordancia con los principios expuestos por el procesor Grifols. Al parecer, las hipótesis sobre el futuro del universo dependen del cálculo sobre su masa, teniendo en cuenta los agujeros negros, los MACHOS, los neutrinos y la materia oscura fría. No parece, pues, según la opinión hoy más objetiva y “profesional” en los científicos no “ideologizados”, que el universo tenga la suficiente materia como para acercarse a una *masa crítica* que pudiera frenar en un determinado momento su fuerza de expansión, dando comienzo al proceso, con la línea del tiempo invertida, que condujera a un *big crunch*. Así el modelo de universo *acordeón* que propuso Stephen Hawking no parece de momento, por muchas razones, poder ser admitido dentro de los principios de la cosmología. Ha sido sólo la proposición de una especulación heurística sin confirmar. En todo caso, hay que establecer que se trata de una cuestión todavía abierta que pudiera depender de evidencias empíricas todavía por descubrir.

Consistencia científica de la cosmología moderna

La ciencia tiene su propia metodología y ámbito de conocimiento que se argumentan en la epistemología de la ciencia. Su objetivo es conocer la imagen del universo que las evidencias empíricas permiten establecer. La ciencia llega, pues, hasta donde llegan sus objetivos de conocimiento. No le compete, por tanto, plantear preguntas filosóficas (lo que no quiere decir que éstas, en el marco de la filosofía, no sean posibles). Así, por ejemplo, para la ciencia no tiene sentido, como observa el profesor Grifols, preguntar que hay fuera del espacio-tiempo producido por la materia-energía en el *big bang*. No tiene sentido plantear preguntas que no puede resolver con sus propios métodos: el *big bang* es el último estado físico que puede ser reconstruido por el razonamiento científico.

Esto supuesto, la ciencia pretende ofrecer un conocimiento del universo que se presente con una imagen *consistente*: es decir, como un conjunto de teorías especulativas fundadas lógicamente en evidencias empíricas que describan con coherencia armónica el pasado, el presente y el futuro del universo. Todo ello, naturalmente, de forma hipotética, no dogmática o cerrada, abierta a la crítica y revisión. La imagen *consistente* actual del universo, por tanto, queda trazada por la exposición de los principios básicos que fundamentan la cosmología moderna, en la presentación del profesor Grifols. Por su exposición vemos que la cosmología goza de una gran consistencia, pero no total y definitiva. Quedan aún lagunas que

deberán permitirle en el futuro alcanzar mayores niveles de consistencia o coherencia armónica.

Estas lagunas dependen de las evidencias empíricas que aparezcan en el futuro y, sobre todo, de los esfuerzos por lograr una teoría unitaria que englobe relatividad y mecánica cuántica, de tal manera que se entienda cómo desde los principios del mundo microfísico cuántico, que genera el universo desde el *big bang*, se pasa al mundo macrofísico clásico-relativista de la gravedad einsteniana.

Una cuestión que, a nuestro entender, podría discutirse es el sentido en que el *principio antrópico* debiera integrarse en la cosmología moderna. Es decir, si se trata de un principio explicativo científico (que la ciencia puede introducir dentro de su propio método) o filosófico (propio de la argumentación filosófica). Es una evidencia empírica que valores de variables físicas y circunstancias evolutivas del universo son los que son (pero pudieran ser otros), estando fácticamente en concordancia con las condiciones que han hecho posible la vida y la vida humana. Parece que el universo, puesto que el hombre ha sido posible, debiera tener *a priori* las propiedades necesarias para ello. Lo ha expuesto el profesor Grifols. Sin embargo, hablar de *principio antrópico* parece introducir en el discurso científico un factor de diseño o de finalidad que quizá no sea propio de la ciencia, sino del discurso científico. En todo caso, integrar un principio antrópico en la cosmología moderna científica debería estar, a nuestro entender, reducida a la constatación de un hecho, sin connotación finalística o de diseño (que serían abordables en todo caso desde la filosofía).

La inconsistencia actual más importante, señalada por el profesor Grifols, es la unificación de la mecánica cuántica con la relatividad. Ya es sabido que el sueño de Einstein, que fracasó rotundamente, fue precisamente la formulación de esta teoría unitaria. En la actualidad ha sido retomado el sueño de Einstein, como también sabemos, a través de la teoría de cuerdas y supercuerdas. Esta teoría concebiría que lo producido en el *big bang* sería una energía vibratoria (cuerdas) que desde el primer momento iría produciendo la configuración gravitatoria del espacio que sería esencial para entender cómo las cuerdas se organizan para producir los quarks, las partículas y cómo se produce la organización estructural de las partículas en el espacio-tiempo para producir átomos, moléculas, macromoléculas y cuerpos. Las fuerzas de la naturaleza conocidas han obligado a la teoría a concebir la existencia de las cuerdas en un espacio multidimensional, de nueve u once dimensiones: con ello la teoría de ha hecho extraordinariamente compleja.

Se trata, pues, de una teoría que ha pretendido formularse atendiendo a las propiedades del universo real que debe explicar, pero que hasta el momento pertenece a la “especulación heurística” de la ciencia física, de la cosmología. Se refiere a eventos inmensamente más pequeños que los considerados hasta ahora y, por ello, difícilmente puede ser contrastada empíricamente (aunque hoy se han concebido ciertas circunstancias indirectas, todavía no implementadas que quizá pudieran aportar alguna evidencia en el futuro). Es, pues, una teoría no contrastada empíricamente y, por ello, aunque sea admirable y respetable como especulación, no forma parte de la imagen estándar del universo en la cosmología moderna. Es sólo una legítima especulación heurística que podría, o no, ser confirmada en el futuro.

Esta teoría concibe un sistema multidimensional de espacios y variables que pudieran responder a determinados conjuntos de valores reales. Esta teoría, por tanto, podría describir un considerable número de universos distintos. El nuestro sería uno de esos espacios; pero serían posibles otros muchos universos. Por ello, la teoría de las cuerdas ha sido conectada por algunos con la teoría de los multiuniversos; a su vez, una versión más sofisticada de la teoría de los universos “burbuja”. Si la teoría de las cuerdas es muy difícil de contrastar empíricamente, mucho más difícil es lograr algún tipo de evidencia de que existan otros universos además del nuestro. Se trata, pues, de una especulación heurística (incluso una quasi-metafísica) mucho más atrevida que la teoría de las cuerdas (ya que esta se refiere a nuestro universo).

Si en el futuro se confirmara empíricamente la teoría de cuerdas, esto no equivaldría a considerar confirmada la existencia de multiuniversos. La sola teoría de las cuerdas, si se comprobase, plantearía con más fuerza el hecho o el problema filosófico del mencionado *principio antrópico* (¿por qué el universo tiene el conjunto de valores precisos que hacen posible al hombre?). Si además se confirmara la existencia de multiuniversos, la existencia de nuestro universo podría considerarse un azar entre los infinitos universos burbuja también existentes.

La filosofía y su discurso sobre la cosmología

La filosofía tiene derecho, e incluso diríamos obligación, de plantearse preguntas que los científicos tienen igualmente derecho a ignorar. Esta obligación depende de la naturaleza epistemológica de la filosofía (que aquí no podemos abordar, pero damos por supuesta). La naturaleza propia del discurso filosófico le ha llevado, pues, a plantearse muchas preguntas

sobre el universo descrito por la ciencia: tanto sobre la cosmología moderna en su formulación estándar como sobre las especulaciones heurísticas que como tales forman también parte legítima de la ciencia. Así, la filosofía se ha propuesto tres reflexiones principales (que, como decimos, no excluyen otras muchas): el origen del universo, desde el problema del tránsito de la nada a la realidad existente; el consecuente problema de la suficiencia o insuficiencia explicativa del universo en orden a dar razón de su existencia real; por último, el problema del origen de la racionalidad o diseño del universo en la forma que empíricamente presenta. La diferente forma de valorar filosóficamente la temática de estas reflexiones puede dar lugar a dos posiciones filosófico-científicas ante el problema de la naturaleza última del universo.

Origen del universo: nada y realidad existente. Desde un punto de vista no sólo filosófico, sino incluso científico, no es admisible decir que el universo haya podido surgir de la nada absoluta. No tiene sentido decir que de la nada haya podido surgir la existencia. Ahora bien, el hecho incuestionable es que el universo es real y existe, tal como la ciencia nos describe en el modelo cosmológico estándar. El universo, pues, no sería inteligible para nuestra razón científico-filosófica si fuera un sistema cuyo origen debiera situarse en la nada.

Por tanto, si el universo ha tenido un origen pasado en el *big bang* y va expansionándose hacia una disolución final, tal como nos dice hoy la cosmología moderna construida sobre las evidencias empíricas, parece que se debe postular una entidad real de referencia en la que se produzca ese *big bang*. En este sentido se habla hoy de *vacío cuántico* como marco físico de referencia cuya “fluctuación” produciría el origen del universo (para David Bohm, como ejemplo de una manera de pensar distinta pero en la que se plantea la misma problemática, el marco físico de referencia sería el llamado “orden implicado”). En la teoría de los multiuniversos se presenta también la necesidad lógica de suponer un marco de referencia en que se producirían los infinitos universos, digamos como fluctuaciones singulares que producirían su origen y disolución final (al menos en el nuestro). En cosmologías como la de Alan Guth se juega con el concepto de “nada”, pero en realidad se trata de “algo físico” distinto de la nada en sentido filosófico.

La postulación de ese marco de referencia físico se evitaría si el universo no tuviera un comienzo. Es el caso del universo gravitatorio de Newton, o el primer universo de Einstein (el de la constante cosmológica), o el un universo acordeón en una sucesión indefinida y eterna de *big bangs* y *big crunchs*, con inversiones sucesivas de la línea del tiempo (el modelo de

Stephen Hawking). En estos casos, la ciencia simplemente debería admitir que el universo está ahí eternamente y el problema del origen no se plantearía. Pero resulta que éste no parece ser el caso en la cosmología moderna que debe admitir el *big bang* y, en consecuencia, un origen para el universo.

Desde el punto de vista de la filosofía teísta cristiana se ha considerado la creación del mundo de la nada, *ex nihilo*. Debe advertirse, sin embargo, que esto debe entenderse en el sentido de la “nada del universo”, pero debe suponerse la ontología de la divinidad. Para el cristianismo, por tanto, el universo ha sido creado por Dios desde su propia ontología. Es decir, también para la filosofía cristiana repugnaría admitir que de la nada absoluta pudiera aparecer sin más la existencia.

Necesidad y suficiencia. No parece que la razón humana pueda explicar por qué existe un universo o más bien no existe; o por qué existe Dios o más bien no existe. La razón, científica y filosófica, parte inevitablemente de la constatación de la realidad existente. Supuesta la realidad se trata entonces de explicar cómo esa realidad puede ser real tal como se nos presenta. Es decir, se trata de explicar cómo puede mantenerse en el ser real de una forma autosuficiente, dónde está el fundamento suficiente de su realidad. La razón busca entender la suficiencia o absolutez de lo real.

Así, un universo con *big bang* y disolución final daría quizá una visión científica consistente (como hace la cosmología moderna), pero en una perspectiva científico-filosófica se plantearía el mencionado problema de su suficiencia. Un sistema físico que aparece bruscamente y se deshace en el tiempo no sería autosuficiente. Obligaría a referirlo a una realidad fundante autosuficiente. El pensamiento teísta tendría tendencia a pensar que esa realidad fundante debe ser entendida como Dios. Pero podría recurrirse también a un marco físico de referencia, por ejemplo el vacío cuántico, antes mencionado, en que se produjeran los multiuniversos. Quizá esta nueva teoría cósmica ofreciera una imagen filosóficamente autosuficiente del universo: éste tendría en sí mismo el fundamento suficiente de su propio ser real.

El teísmo cristiano escolástico consideró que no puede explicarse la realidad existente sin fundarla en un ser o fundamento *necesario*. Ahora bien, sólo Dios podía ser el ser necesario (el único ser que necesariamente existe); así, el universo, aunque fuera eterno, no sería necesario y debería fundarse en la realidad divina necesaria. Pero a esta manera de pensar se le puede oponer otra distinta, más conforme con la ciencia: la razón humana busca ante todo la suficiencia de lo real. Si ésta se puede atribuir

al mismo universo como sistema, entonces hay que postular que ese universo sería también necesario (en el sentido de que no podría dejar de existir, ya que una derivación a la nada haría imposible la explicación de su existencia real). Pero si la suficiencia se debiera atribuir a un ser divino, entonces se le debería atribuir también en consecuencia la necesidad (igualmente, la imposibilidad de dejar de existir y derivar a la nada). La atribución de necesidad no se haría, pues, sólo a Dios, sino a Dios o al universo, en función de dónde debiera situarse la suficiencia del universo.

Racionalidad y diseño en el universo. Es un hecho: 1) que el universo se ha construido respondiendo a estructuras o formas congruentes con el mundo matemático; esta congruencia matemática ha llenado de asombro a grandes pensadores a lo largo de todas las épocas; 2) el universo, desde esta racionalidad matemática, ha ido produciendo complejos niveles de orden: orden físico microfísico y macrofísico y, con mucha mayor complejidad, orden biológico; 3) en el universo se cumplen además cierto tipo de propiedades o circunstancias, así como valores determinados en ciertas variables (que pudieran ser distintos) que parecen responder a un cierto diseño muy preciso. El principio antrópico, ya mencionado, diría que es un diseño que se encamina a hacer posibles la vida y el hombre.

La pregunta, pues, en perspectiva científico-filosófica, apunta a las causas que han producido los hechos anteriores, puntos 1, 2 y 3. Sólo se pueden presentar dos respuestas. La *primera* que la racionalidad y el diseño son producto de la misma organización evolutiva de la materia-energía en función de sus mismas propiedades ontológicas. La *segunda* que se trata de un diseño racional que debe atribuirse a una mente racional que se identifica con la hipótesis de la existencia fundante de una divinidad.

En realidad, si el universo real es único (por ejemplo, en el modelo de Stephen Hawking o en el modelo cosmológico estándar), entonces es más difícil defender la respuesta primera (no imposible). En cambio, en la hipótesis de los multiuniversos, la respuesta primera es mucho más factible ya que las sorprendentes características de nuestro universo pudieran estar producidas al azar.

Valoración científico-filosófica global. Teniendo en cuenta todos estos elementos del problema del universo entendemos que pueda haber una filosofía teísta sobre el universo construida sobre argumentos posibles, aunque no definitivos. Pero, igualmente, es también posible la existencia de una filosofía atéista (sin Dios) del universo en que éste aparece como realidad autosuficiente a la que debe atribuirse necesidad de permanencia

en el ser. Inclinar-se hacia una u otra depende de una decisi3n valorativa personal; es tambi3n posible declinar ambos compromisos y tomar una posici3n agn3stica. En 3ltimo t3rmino en la sociolog3a de la ciencia se constata c3mo efectivamente hay hoy cosm3logos te3stas, ate3stas y agn3sticos. Por ello parece que el enigma filos3fico del universo sigue siendo un problema abierto ante el que seguir3n tom3ndose posiciones generadas en la libertad valorativa personal.

*C3tedra CTR,
Escuela T3cnica Superior de Ingenier3a,
Universidad Comillas, Madrid.*
