

EXAMEN DEL PRINCIPIO ANTRÓPICO EN COSMOLOGÍA

JESÚS MOSTERÍN

La tradición religiosa judía, cristiana e islámica nos legó una visión del mundo completamente antropocéntrica y teleológica. En la Edad Media el Universo se concebía como un gran teatro, en cuyo centro, como un escenario, estaba la Tierra. Allí actuaban los seres humanos bajo la atenta mirada de Dios, los ángeles y el resto de la corte celestial, que desde detrás de la esfera de las estrellas fijas observaban el espectáculo y se preocupaban por nosotros. Podíamos ser pecadores, pero de lo que no cabe duda es de que éramos los protagonistas del drama cósmico. Toda esta visión del mundo se vino abajo como resultado de la revolución científica. Copérnico degradó la Tierra de su condición de centro del Universo a la de mero planeta del Sol, considerado a su vez por Bruno como una estrella cualquiera en la inmensidad del firmamento. Todavía en 1920 la mayoría de los astrónomos dudaban de que existiesen otras galaxias aparte de la nuestra, como se puso de manifiesto en la confrontación pública entre Shapley y Curtis en la reunión de ese año de la National Academy of Sciences en Washington. Desde entonces hemos aprendido que nuestra galaxia es meramente una más entre los muchos miles de millones de galaxias del Universo observable. La isotropía inferida de la radiación cósmica de fondo es la negación más radical de cualquier tipo de antropocentrismo. Como señaló Joel Primack (1993), el hecho de que la mayor parte de la materia del Universo parezca ser materia oscura, materia de un tipo distinto del que conocemos “constituye la revolución copernicana más definitiva. ... No solo la Tierra ya no ocupa el centro del Universo, es que ni siquiera está hecha del material predominante”. Y, como es bien sabido, la noción de teleología también ha desaparecido por completo de la biología moderna, como

consecuencia de la revolución darwinista y del desarrollo de la biología molecular.

En vista de esta situación resulta sorprendente que en la segunda mitad del siglo XX algunos autores hayan reabierto el rancio debate sobre diseño cósmico y antropocentrismo bajo el eslógan de un presunto principio antrópico y que sus especulaciones hayan calado en ciertos sectores de la opinión pública. En cualquier caso, se trata de un tema cuya importancia trasciende de los estrechos círculos de los especialistas, pues la cuestión del lugar que ocupemos y la eventual función que desempeñemos en el Universo nos interesa a todos.

Historia del principio antrópico

En los años 1920s y 1930s varios eminentes físicos ingleses se embarcaron en especulaciones numerológicas o apriorísticas. Arthur Eddington calculó el número de protones y neutrones en el Universo (el número de Eddington, N) y encontró que era de unos 10^{79} . Se dio cuenta de la coincidencia entre $N^{1/2} \approx 10^{39}$ y la ratio de la fuerza electromagnética a la gravitacional entre un protón y un electrón: $e^2/Gm_e m_p \approx 10^{39}$. También trató de explicar el valor de la constante de estructura fina $\alpha = e^2/\hbar c$ mediante razonamientos numerológicos que no convencían a los otros físicos. En los 1930s Edward Milne desarrolló una "teoría cinemática de la relatividad", basada en ideas filosóficas tales como el principio cosmológico. Defendió la idea de que las "constantes" de la física, como la constante gravitacional G , van cambiando de valor durante la evolución del Universo. Estas predicciones resultaron ser infundadas,¹ lo mismo que la teoría cinemática de la relatividad. Tras haber hecho contribuciones decisivas al desarrollo de la mecánica cuántica, Paul Dirac también se dejó llevar en 1937 por la especulación numerológica. Ya hemos mencionado que la ratio de la atracción electrostática a la fuerza gravitacional entre el protón central y el electrón orbital en un átomo de hidrógeno es $\approx 10^{39}$. Dirac encontró otras combinaciones de constantes fundamentales con un valor parecido. Si tomamos como unidad de tiempo lo que tarda la luz en atravesar una distancia igual al diámetro

¹ Sin embargo, en agosto de 2001 John Webb y otros anunciaron en *Physical Review Letters*, 87, que habían encontrado indicios astronómicos de un ligerísimo aumento con el tiempo (de un 0,001 por ciento en varios miles de millones de años) del valor de la constante de estructura fina, $\alpha \approx 1/137$. Esta constante desempeña un papel importante en la electrodinámica cuántica.

clásico del electrón, la edad actual del Universo (estimada por entonces en solo unos 2.000 millones de años) sería de unas $6 \cdot 10^{39}$ de esas unidades. Por tanto, de nuevo nos topamos con el orden de magnitud 10^{39} . Dirac sugirió que esta coincidencia debería ser explicada por alguna conexión profunda entre las constantes fundamentales y la edad del Universo. Puesto que la edad del Universo se incrementa con el tiempo, las constantes fundamentales de la física también deberían cambiar con el tiempo a fin de mantener tal conexión. En especial, el valor de la constante gravitacional G debería disminuir con el tiempo.

La comunidad científica estaba un poco harta de tales especulaciones. Herbert Dingle (1937) comentó: “Esta combinación de parálisis de la razón con intoxicación de la fantasía aparece todavía con más fuerza, si cabe, en la carta del Prof. Dirac a *Nature* ... en la cual también él parece haber caído víctima de la gran ‘Universo’-manía ... Milne y Dirac ... se lanzan de cabeza a un océano de “principios” de su propia cosecha... En gran medida se ha perdido el criterio para distinguir el sentido del sinsentido...”

En 1961 Robert Dicke publicó en *Nature* un corto artículo titulado “Dirac’s cosmology and Mach’s principle”. Dicke rechazó la especulación de Dirac acerca del cambio de G con el tiempo y encontró una explicación más simple de la edad del Universo en el efecto de selección (entre los diversos valores posibles de las constantes) que tiene el hecho de que nosotros, los humanos, estemos aquí. Por tanto, el tiempo T transcurrido desde el *Big Bang* (la edad del Universo) “no es una ‘elección aleatoria’ entre una amplia variedad de elecciones posibles, sino que está limitado por los criterios para la existencia de físicos”. Los valores de T están constreñidos por el requerimiento de que “el Universo, y por tanto las galaxias, sean lo suficientemente viejos como para que existan elementos distintos del hidrógeno. Como es bien sabido, se requiere carbono para hacer físicos.” Dirac publicó una corta réplica a Dicke, diciendo que el análisis de Dicke era correcto, pero que él (Dirac) prefería su propio argumento, porque permitía la posibilidad de que planetas “pudieran existir indefinidamente en el futuro y que la vida nunca se acabase.” Dicke era un hombre práctico, más interesado por la observación que por la especulación. Tras su artículo de 1961 no volvió a ocuparse del principio antrópico ni a mostrar interés alguno en el asunto.

El carbono del que hablaba Dicke se produce por fusión nuclear del helio en el interior de las estrellas rojas gigantes. Este proceso dura entre

cientos de miles de millones de años (en las estrellas más pequeñas) y unos pocos millones de años (en las más grandes), tras lo cual la estrella puede eyectar sus capas exteriores o estallar como una supernova, dispersando los elementos recién formados por el espacio, donde eventualmente podrían pasar a formar parte de un planeta apto para el desarrollo de la vida. Por tanto, para ser capaz de producir vida basada en el carbono, el Universo debe tener una edad de al menos varios millones de años. Por otro lado, tampoco puede ser demasiado viejo (tener una edad de, digamos, más de 10^{12} años), porque, si lo fuera, todos los procesos estelares ya habrían concluido y ya no habría el tipo de radiación capaz de sostener la vida. Esta es la razón de la coincidencia señalada por Dirac y no hay necesidad de postular una constante gravitacional variable. En cualquier caso, la "predicción" es extremadamente vaga y el abanico de tiempos compatibles con la existencia de átomos de carbono o de planetas es también muy amplio: desde unos pocos millones hasta cientos de miles de millones de años.

En 1973 C. Collins y Stephen Hawking señalaron que la mayoría de las combinaciones de condiciones iniciales posibles no habrían dado lugar a un Universo tan isotrópico ni tan plano como el que observamos. Tratando de explicar por qué el Universo es así (por ejemplo, tan plano) y no de otro modo, apelaron al principio antrópico. Empezando con la tesis de que las galaxias y estrellas son necesarias para la vida, arguyeron que un universo que empezase con demasiada energía gravitacional rekolapsaría antes de poder formar estrellas, mientras que un universo que empezase con demasiada poca energía gravitacional nunca permitiría la condensación gravitacional de galaxias y estrellas. (Adviértase que las galaxias aguantan todo el peso del argumento, que no depende para nada del comentario de que son indicadores de vida). Así, de los muchos valores iniciales posibles de Ω (la ratio de la densidad promedio actual del Universo a la densidad crítica), solo un valor inicial de casi exactamente 1 habría producido un Universo en el que pudiéramos haber existido nosotros. Esto explicaría por qué Ω tiene un valor tan cercano a 1.

En 1974 Brandon Carter publicó el artículo "Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology", en el que presentaba por escrito ideas que ya antes había expuesto oralmente. Carter bautizó el tipo de razonamiento presente en el citado artículo de Dicke como el principio antrópico, del que distinguió dos versiones, la débil y la fuerte. El principio antrópico débil dice que "lo que podemos

esperar observar debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores". Esta versión verdadera pero trivial es muy distinta del principio antrópico fuerte, que dice que "el Universo (y por tanto los parámetros fundamentales de los que depende) debe ser tal que admita la creación de observadores dentro de él en alguna etapa". Otros han formulado el principio antrópico fuerte diciendo que es una ley de la naturaleza que la vida inteligente tiene que desarrollarse. El principio antrópico fuerte siempre se presenta como algo extremadamente especulativo y es rechazado por casi todos los cosmólogos.

En 1979 Bernard Carr y Martin Rees ofrecieron una lista de presuntas 'coincidencias cósmicas', relaciones numéricas entre magnitudes físicas que, si cambiasen (dejando todo el resto de la estructura teórica sin variación alguna), harían imposible la vida basada en el carbono. Carr (1982) y otros empezaron a hablar de ajuste fino (*fine tuning*) de las constantes físicas para hacer posible la vida.

Todos estos desarrollos especulativos culminaron en 1986 con la publicación del libro de 700 páginas de John Barrow y Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*. Esta obra trazaba la historia de las ideas teleológicas y presentaba un catálogo de las aplicaciones del principio antrópico para explicar una multiplicidad de supuestas coincidencias en las condiciones iniciales del Universo y en las constantes fundamentales de la física. Por ejemplo, la intensidad de las fuerzas fundamentales de la naturaleza (gravitación, electromagnetismo, interacción débil e interacción nuclear fuerte), dada por sus correspondientes constantes de estructura fina (números sin dimensiones que son cocientes de constantes fundamentales, como c , h , G , e , m_p , m_e), está tan bien proporcionada y finamente ajustada, que cualquier cambio en sus valores o ratios haría la vida imposible.

La recepción del libro por la comunidad científica fue bastante negativa. En su reseña en *Nature* (1986) el astrofísico William Press incluso denunció que "aquí hay una deshonestidad intelectual fundamental". Sin embargo el libro popularizó el principio antrópico, que pronto encontró cabida en los libros de divulgación científica e incluso (aunque de forma vacua y redundante) en algunos artículos científicos serios. Algunos físicos muy competentes, como John A. Wheeler, Hawking, Rees, Steven Weinberg y Alex Vilenkin en algún momento han apelado al principio antrópico como un recurso desesperado para salir de sus dificultades. Martin Rees lleva más de veinte

años promoviendo el principio antrópico en numerosos libros de divulgación. Desde 1987 Weinberg ha tratado de acotar 'antrópicamente' el valor de la constante cosmológica. En 1990 Shaposhnikov and Tkachev trataron de estimar la masa del bosón de Higgs mediante consideraciones antrópicas. En 1998 Hawking y Neil Turok usaron la función de onda del Universo de Hawking-Hartle, junto con el principio antrópico, como un medio para obtener un Universo abierto en un escenario inflacionario en sentido amplio (sin falso vacío). Poco después, las nuevas mediciones de distancias a supernovas parecieron favorecer de nuevo un Universo plano. En 2000 Turok ya había abandonado el principio antrópico y no pensaba volver a tomarlo en consideración.² Muchos físicos sienten vergüenza ajena por la introducción de estos modos tan zafios de razonamiento en la ciencia. Como comentaba Peter Mittelstaedt en 2000, el principio antrópico no plantea un problema a la filosofía de la ciencia, sino a la psicología de la ciencia: ¿cómo explicar que físicos competentes hayan podido tomar en serio un razonamiento tan endeble?

Coincidencias cósmicas y ajuste fino

Como ya vimos, las especulaciones numerológicas de Eddington, Milne y Dirac estuvieron al origen del pensamiento 'antrópico'. La numerología es el recurso a factores oscuros o tomados por los pelos para explicar coincidencias numéricas. El número de neuronas en nuestro cerebro parece ser del mismo orden de magnitud que el número de estrellas en nuestra galaxia, alrededor de 10^{11} . ¿Y qué? El numerólogo sería proclive a buscar diseños ocultos detrás de esta inofensiva coincidencia.

Consideremos cualquier número de constantes fundamentales de la física, por ejemplo, las siguientes seis: la constante gravitacional, la velocidad de la luz, la constante de Planck, la carga eléctrica del electrón, la masa en reposo del protón y la masa en reposo del electrón (G , c , h , e , m_p , m_e). Consideremos un espacio 6-dimensional, cada una de cuyas seis

² Comunicación personal. Sin embargo, todavía en 2001 Barrow y otros trataban de explicar la posible desviación de la plenitud del espacio y el posible valor no nulo de la constante cosmológica Λ mediante consideraciones antrópicas en el contexto de una "constante" gravitacional y una "constante" de estructura fina variables en el tiempo, apoyando esta última noción en el resultado tentativo de John Webb y otros citado en la nota 1.

dimensiones coincide con el conjunto de todos los valores posibles de una de esas seis constantes. Cada vector o punto de ese espacio representa una combinación posible de valores para las constantes consideradas o, si se prefiere, cada punto representa un universo (lógicamente) posible. En la mayoría de esos universos posibles no habría galaxias, ni estrellas duraderas de la secuencia principal, ni vida, ni inteligencia, ni científicos. Solo en un pequeño subconjunto de universos posibles pueden existir todas estas cosas. Las especulaciones antrópicas con frecuencia recalcan que la mayoría de los universos posibles serían incompatibles con la vida, de ahí infieren que es una coincidencia misteriosa el que las constantes de nuestro Universo tengan valores compatibles con la vida y finalmente postulan algún tipo de ajuste fino de los valores para explicarlo. Por ejemplo, si la carga eléctrica del protón hubiera sido diferente (en valor absoluto) que la del electrón, no podría haber objetos estables. Cada dos átomos se repelerían, cada estrella, planeta u organismo estallaría. “Si modificamos el valor de una de las constantes fundamentales, algo invariablemente se estropea y conduce a un universo inhóspito para la forma de vida que conocemos.” (Gribbin & Rees 1989).

Carr y Rees (1979) pasaron revista a numerosas “coincidencias antrópicas”, casos en que los valores de las constantes están dentro de los estrechos márgenes compatibles con la vida. Concluyeron que “la naturaleza muestra coincidencias notables que exigen una explicación. ... La explicación antrópica es el único candidato y el descubrimiento de cada nueva coincidencia antrópica incrementa su evidencia *post hoc*.” Carr y otros siguieron elaborando la idea y empezaron a hablar de ajuste fino (*fine tuning*). Por ejemplo, la densidad del Universo es muy próxima a la densidad crítica ($10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 10 \text{ atoms} \cdot \text{m}^{-3}$), que haría al Universo plano. Ahora bien, la densidad actual del Universo se diferencia de la densidad crítica a lo sumo en un orden de magnitud (es decir, en un factor de diez). En el pasado la diferencia era mucho menor: de una parte en 10^{16} un segundo después del Big Bang, y de solo una parte en 10^{60} en el tempranísimo instante de 10^{-43} segundo después del Big Bang. Estas son el tipo de densidades que permiten que el Universo se expanda al ritmo adecuado para la formación de elementos químicos como el carbono, que posibilitan la evolución de la vida. “No hay razón física conocida por la que el ritmo inicial de expansión tendría que haber sido tan finamente ajustado y uno se ve impulsado a especular por qué

debería ser así. Una sugerencia es que nosotros no estaríamos aquí si las cosas hubieran ocurrido de modo distinto.” (Carr 1982).

Toda esta terminología de las coincidencias y el ajuste fino es bastante confusa y descuidada. Como señaló Ernan McMullin (93), las coincidencias numéricas, el ajuste fino de las constantes y las leyes de la física son cosas diferentes. Tampoco está nada clara la presunta improbabilidad del mundo actual. Nadie quiere comprar un boleto de lotería con el número 5555555, aunque este número de hecho no es menos probable que cualquier otro, como el 3405175, que parece menos raro. Una repetición de jugadas elimina las coincidencias a largo plazo, pero en una sola jugada cualquier resultado (por muy lleno de coincidencias que parezca) es tan probable como cualquier otro. El Universo (al menos en la medida en que podemos conocerlo) es algo único. ‘Uni-verso’ y ‘úni-co’ provienen de la misma raíz, ‘uni’, que significa uno. Podemos averiguar a posteriori cómo es el Universo, pero no tiene sentido especular acerca de cómo debería ser en base a consideraciones de probabilidad a priori. Esta es la razón por la que el argumento del pelotón de ejecución de John Leslie está equivocado. Leslie comparó nuestra existencia con la supervivencia de un condenado a muerte por fusilamiento, porque todos los tiradores fallaron el tiro. ¿Acaso alguien (quizá Dios) manipuló previamente los fusiles? Desde luego, ha habido muchos pelotones de ejecución y rara vez han fallado todos los fusiles. Sin embargo, la comparación es desafortunada. Hay una triste estadística de pelotones de ejecución, pero el Universo es un hecho histórico único. No hay una estadística de universos. Además, los componentes del pelotón de ejecución son soldados con la intención de disparar, mientras que no se aprecia intención alguna a escala cósmica. Hablar de ajuste fino parece implicar intencionalidad y multiplicidad de casos. La cuestión del ajuste fino no se plantea en sistemas únicos y no-intencionales.

El principio antrópico débil

Brandon Carter (1974) introdujo el principio antrópico débil (WAP) con las palabras: “lo que podemos esperar observar debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores”. Barrow y Tipler (1986) formularon el mismo principio del siguiente modo: “Los valores observados de todas las cantidades físicas y cosmológicas no son igualmente probables, sino que toman

valores restringidos por el requerimiento de que existan lugares donde la vida basada en el carbono pueda evolucionar y por el requerimiento de que el Universo tenga la edad suficiente para que la vida haya evolucionado ya". En resumen: El hecho de que nosotros existamos implica que el Universo satisface todas las condiciones necesarias para nuestra existencia. O, en jerga probabilista: La probabilidad condicional de que el Universo real esté en la región restringida del espacio de posibles universos donde la vida es posible, dado el hecho de que nosotros existimos, es diferente y mucho mayor de lo que sería la probabilidad absoluta en una distribución a priori de probabilidades que no tuviera en cuenta el hecho de que cosas tales como humanos y conejos existen.

Gale (1986) subrayó que el principio antrópico débil "aunque sea aceptable, ... resulta *tan* débil como para carecer de sentido. A primera vista parece trivial o tautológico o trascendental, o las tres cosas a la vez." Sin embargo, pensó que podría funcionar como un principio heurístico. En su cuidadoso análisis, Earman (1987) llegó a la conclusión de que en el principio antrópico débil "es difícil encontrar algo más fuerte que una tautología".

A veces se ha hecho una propaganda excesiva y extravagante de los presuntos poderes del razonamiento antrópico. "El principio antrópico es un notable artilugio. Evita los métodos normales de la ciencia que han sido practicados desde hace siglos y en vez de ello eleva la existencia de la humanidad a la categoría de un principio del conocimiento." [Greenstein 1988, 47]. "Para que nosotros podamos estar aquí preguntándonos acerca de ello, ¡el Universo debe tener unos 15.000 millones de años de envergadura! Este reconocimiento demuestra el poder del razonamiento antrópico. Simplemente del hecho de que somos una forma de vida basada en el carbono podemos deducir que el Universo debe tener cierto tamaño y cierta edad." [Gribbin & Rees 1989, 13].

El principio antrópico débil es una regla de inferencia correcta, pero no constituye una explicación física (o no física) de cosa alguna. Si el que las constantes de la física tengan los valores que tienen es una condición necesaria para que haya seres humanos (o cucarachas), y hay seres humanos (y cucarachas), entonces – podemos concluir – las constantes son como son, es decir, sus valores están en la región del espacio de posibilidades donde los humanos y las cucarachas son posibles. Esto no es un principio de la física, sino la especialización de un principio de la

lógica: si B es una condición necesaria de A y A ocurre, entonces B tiene que ocurrir también. Este principio, a su vez, no es más que la reformulación de la vieja regla de inferencia del *modus ponens*: de 'si A, entonces B' – es decir, B es una condición necesaria de A – y A podemos inferir B.

Los llamados razonamientos antrópicos son con frecuencia simplemente razonamientos indirectos (por reducción al absurdo), en los cuales, sabiendo ya que A, probamos que B mostrando que si no B, entonces no A. Así, si ya sabemos (como sabemos) que hay humanos o piedras y que, si los protones y electrones tuvieran cargas eléctricas de magnitud diferente, no habría humanos ni piedras, podemos concluir que los protones y electrones tienen cargas eléctricas iguales (en valor absoluto). Este tipo de razonamiento vuelve a ser una aplicación del *modus ponens*, teniendo en cuenta que 'si no B, entonces no A' es equivalente a 'si A, entonces B'.

Lejos de representar algún tipo de novedad en el razonamiento científico, el principio antrópico débil es meramente la reafirmación de una regla de inferencia elemental, ya conocida por los lógicos de la Edad Media e incluso por los estoicos en la antigüedad. Es válido con la validez estéril de las tautologías. Solo nos permite inferir lo que ya sabíamos previamente (que las constantes tienen los valores que sabemos que tienen), pero no nos permite explicar ni predecir nada nuevo. Y carece por completo de consecuencias filosóficas.

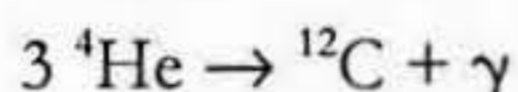
Ausencia de predicciones antrópicas

Hay un acuerdo bastante generalizado en que el principio antrópico nunca ha conducido a predicción científica alguna de algo no previamente sabido. Por ejemplo, Carr y Rees (1979), al final de su análisis benevolente, indican que el principio antrópico "es completamente *post hoc*: todavía no se ha usado para predecir aspecto alguno del Universo". Sin embargo, Barrow y Tipler (1986, 252) pretendieron que había un caso de predicción antrópica, la predicción por Hoyle en 1953 de un estado excitado del isótopo de carbono ^{12}C a 7.6 MeV por encima de su estado fundamental. Esta opinión fue refutada en varias recensiones del libro. Así, Helge Kragh (1987): "Barrow y Tipler pretenden que la notable predicción por Fred Hoyle en 1953 del nivel de energía de resonancia del ^{12}C estaba basada en el principio antrópico. Lo que Hoyle mostró fue que solo si existe una cierta resonancia del carbono

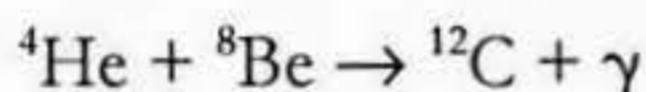
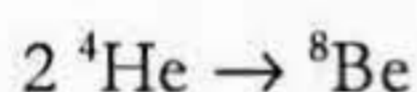
puede la teoría astrofísica ser consistente con la presente existencia de carbono. ... Pero la predicción de Hoyle no es antrópica, puesto que no se refiere a la existencia de seres humanos sino solo a la de átomos de carbono ...” La pretensión de Barrow y Tipler fue luego acriticamente aceptada por Yuri Balashov (1991): “Muchos autores arguyen que el principio antrópico ... es absolutamente incapaz de predecir nada nuevo. Sin embargo, hay que recordar que en 1953 Hoyle *predijo*, basado en lo que ahora llamamos argumentos antrópicos, el desconocido nivel excitado de resonancia en ^{12}C .” Algunos libros de divulgación científica han popularizado esta opinión, aunque los comentarios van en direcciones opuestas. Así, en conexión con las resonancias entre helio, berilio y carbono, Gribbin y Rees (1989) escriben: “Esta combinación de coincidencias, precisamente adecuada para el carbono-12 e inadecuada para el oxígeno-16, es realmente notable. No hay mejor evidencia para apoyar el argumento de que el Universo ha sido creado para nuestro beneficio – hecho a la medida del hombre.” Por el contrario, Greenstein (1988) comenta: “Esas resonancias son en realidad coincidencias. Son extraordinarios golpes de suerte. El principio antrópico no explica nada y ninguna cantidad de razonamiento antrópico puede explicar esas coincidencias.”

Según nuestra actual comprensión de la nucleosíntesis, la mayoría de los núcleos atómicos de hidrógeno (protones, H), deuterio (^2H), helio (^3He y ^4He) y el isótopo litio-7 (^7Li) se formaron poco después del *Big Bang*. El resto de núcleos atómicos fueron cocinados más tarde en el interior de las estrellas gigantes rojas. El hidrógeno y el helio siguen siendo con gran diferencia los núcleos más abundantes. Tras el hidrógeno y el helio, el carbono y el oxígeno (en forma de los isótopos ^{12}C y ^{16}O) son los dos núcleos más abundantes en el universo visible. En su clásico artículo “On nuclear reactions occurring in very hot stars: The synthesis of elements from carbon to nickel” (1954), Fred Hoyle ofreció la primera explicación satisfactoria de la producción de carbono, oxígeno y neón en el interior de las estrellas gigantes rojas. Ya se entendía bien cómo las estrellas de la secuencia principal queman hidrógeno y producen helio. Una vez agotado el hidrógeno, abandonan la secuencia principal, se expanden dramáticamente, se convierten en gigantes rojas y empiezan a quemar helio. Todavía no se entendía la fusión del helio para producir primero carbono y luego oxígeno y neón. Una vez que el carbono estaba disponible, el oxígeno y el neón podían ser formados mediante la fusión del carbono con el helio y del oxígeno

con el helio. La principal dificultad estribaba en la producción inicial del carbono a partir del helio. Al principio Salpeter sugirió que la fusión de tres 'partículas alfa' (núcleos de ${}^4\text{He}$) en un ${}^{12}\text{C}$ podría ocurrir por una colisión simultánea.



Los cálculos mostraron que las colisiones simultáneas de tres núcleos de helio eran demasiado raras y que la tasa de fusión del helio sería demasiado lenta. Salpeter sugirió que el helio se quemaba en un proceso en dos etapas: primero dos núcleos de helio colisionaban (las colisiones de dos núcleos eran mucho más frecuentes que las de tres) para formar el isótopo berilio-8 y luego este núcleo de berilio colisionaba con un núcleo de helio para formar carbono.



El problema es que ${}^8\text{Be}$ es muy inestable, estalla en 10^{-15} s, haciendo que el encuentro con un núcleo de helio resulte demasiado improbable. Si a pesar de todo se producía, ello tendría que deberse a la existencia de cierta resonancia en ${}^{12}\text{C}$. Hoyle calculó exactamente la resonancia (un estado excitado del núcleo de ${}^{12}\text{C}$ a unos 7.6 MeV por encima del estado fundamental). Posteriormente esta resonancia fue detectada experimentalmente en la zona de energía predicha, con gran sorpresa de los científicos (Cook, Fowler y otros) que llevaron a cabo el experimento. El cálculo de Hoyle se considera como una proeza de la astrofísica moderna. Hoyle fue capaz de derivar las propiedades de los niveles excitados de energía de ${}^{12}\text{C}$ y ${}^{16}\text{O}$ a partir de los datos astronómicos entonces conocidos, como las abundancias del carbono y del oxígeno. Desde luego, en todo el artículo de Hoyle de 1954 no hay la más mínima referencia al todavía nonato principio antrópico y tampoco hay referencia alguna a seres humanos ni a la vida ni a los observadores. Tomar en consideración los hechos conocidos de la astronomía y la química para formular una hipótesis brillante que resuelve un problema previo y resulta confirmada por los experimentos posteriores es un ejemplo óptimo del método científico estándar. No tiene nada que ver con la existencia de seres humanos ni con ningún tipo de razonamiento específicamente "antrópico".

Denominación desafortunada

El principio antrópico ni es un principio ni tiene nada de antrópico. Desde luego, no es un principio, como ya señaló McMullin (1993), pero lo más importante es lo segundo, que no merece el adjetivo de 'antrópico' (relativo a los humanos), pues no hay nada específicamente humano o relativo a los humanos en el tipo de razonamiento al que alude. También podría haberse llamado el principio conéjico o cucaráchico o incluso el principio de las piedras. No puede haber conejos o cucarachas o piedras sin que elementos químicos pesados hayan sido previamente formados en el interior de estrellas masivas y esparcidos luego en explosiones de supernovas. Pero hay conejos y cucarachas y piedras. Por tanto las constantes fundamentales de la física deben estar en el estrecho margen que permite la formación de elementos químicos pesados en el interior de las estrellas y su dispersión en explosiones de supernovas. Quizás sería más apropiado hablar del principio escarabájico, pues, como observó Haldane en broma, Dios ama a los escarabajos más que a ninguna otra criatura, como muestra el gran número (300.000) de especies de coleópteros que ha creado. Tampoco hay nada en los razonamientos antrópicos que se refiera a la vida de un modo específico. Podríamos igualmente hablar del principio de la lavadora o de la piedra caliza o del mármol, pues no habría ninguna de estas cosas si los elementos químicos pesados no se hubieran formado previamente en el interior de estrellas masivas para ser luego dispersados en explosiones de supernovas.

Pronto se reconoció que el principio antrópico débil no tenía más que ver con los humanos que con los escarabajos o los átomos de uranio. Según Earman (1987), la fuerza motivadora del principio antrópico "no deriva de consideración alguna acerca del hombre, la conciencia o el observador. El principio antrópico débil, tal como lo han usado Dicke y Carter, de hecho no es más que un corolario de un truismo de la teoría de la confirmación. Y ni siquiera la aplicación del corolario necesita apoyarse en la vida o la mente, pues la función de selección puede ser igualmente desempeñada por la existencia de estrellas y sistemas planetarios con una química basada en el carbono pero sin formas de vida." Helge Kragh (1987) ha señalado que "en virtualmente todos los ejemplos del principio antrópico (débil) mencionados por Barrow y Tipler la existencia de los seres humanos, e incluso de la vida, es irrelevante. La mayoría de los llamados argumentos antrópicos se

pueden reducir a argumentos científicos estándar de forma retrodictiva en los que se pregunta qué constreñimientos hay que aplicar a la naturaleza para que sea consistente con la teoría y observación actuales.” Este mismo punto fue también recalcado por Wilson (1991) y por McMullin (1994), que enfatizó que “la referencia a los seres humanos (más bien que a los escarabajos, por ejemplo) proviene únicamente de las expectativas derivadas de las tradiciones religiosas y científicas que impulsaban a la gente a esperar que la patria de los hombres sería privilegiada ... en el sentido propio de ocupar el centro y no solo de ser diferente.”

Los autores “antrópicos” frecuentemente oscilan entre los átomos de carbono y la conciencia humana o el observador, como si fueran lo mismo, o al menos los primeros fueran una precondition de lo segundo. Así, Vilenkin habla de la conciencia, pero solo para decir que las galaxias son buenos indicadores de la vida y la conciencia y luego limitar sus argumentos a las galaxias. En general, lo único que se presupone en los llamados argumentos antrópicos es la existencia de elementos químicos pesados o de galaxias. La conciencia o el observador únicamente desempeñan algún papel en el llamado principio antrópico participatorio, una versión muy idiosincrática debida a Wheeler. Por otro lado, en el pensamiento religioso tradicional los observadores, mentes o inteligencias no necesitaban estar hechos de carbono u otros elementos químicos pesados. Se suponía que Dios, los ángeles y otros seres espirituales eran mentes inmateriales y que nos observaban constantemente.

Posición privilegiada

Carter (1974) escribió: “Tenemos que estar preparados para tener en cuenta el hecho de que nuestra localización en el Universo es *necesariamente* privilegiada en la medida en que debe ser compatible con nuestra existencia como observadores.” Pero *cualquier* posición es privilegiada en la medida en que debe ser compatible con la existencia de lo que exista en esa posición. Las especiales condiciones de temperatura que se daban en la época muy temprana en que el Universo era una sopa de quarks constituían una posición privilegiada para la sopa de quarks. Tanto es así, que tan pronto como el Universo se expandió y enfrió, las condiciones ya no eran adecuadas y la sopa de quarks perdió su posición privilegiada y desapareció, transformándose en otra cosa.

También los agujeros negros son privilegiados por tener en su rincón del universo las especiales condiciones de densidad y curvatura adecuadas para su existencia. Cualquier cosa, sin excepción, tiene el privilegio de ocupar una posición cósmica compatible con su existencia. Lo que parece dudoso es que tenga sentido calificar de privilegiada a una condición tan universal.

Las criaturas aerobias (como nosotros) son privilegiadas por vivir en un medio rico en oxígeno como la atmósfera terrestre, mientras que las criaturas anaerobias (como las bacterias que habitan los intestinos de los mamíferos o de las termitas) tienen el privilegio de vivir en sitios sin oxígeno. Las bacterias reductoras de sulfatos *Thiopneutes* requieren azufre para su respiración y resultan rápidamente envenenadas si se exponen al oxígeno. Por tanto no es de extrañar que tengan el privilegio de vivir en un medio rico en sulfatos y carente de oxígeno libre, como ciertos barros o suelos de regiones geotermales. Incluso los neutrones ligados en los núcleos atómicos o en las estrellas de neutrones ocupan una posición privilegiada, que los permite existir. En efecto, los neutrones libres se desintegran en protones y electrones en unos diez minutos.

Carter pretendió reaccionar “contra el exagerado sometimiento al ‘principio copernicano’”. Carter (1983) llamó principio copernicano a “la suposición de que nuestra situación en el Universo no es privilegiada en sentido alguno, sino que es típicamente representativa en un Universo que es enteramente homogéneo aparte de pequeñas fluctuaciones locales”. Así, en 1974 y 1983, identificó la versión moderna del principio copernicano con el ‘principio cosmológico perfecto’ de Hermann Bondi y Thomas Gold.

El ‘principio cosmológico’ es el nombre que dan algunos a la hipótesis de que el Universo es espacialmente homogéneo e isotrópico, es decir, que los cortes tridimensionales (o hipersuperficies) de tiempo constante del espaciotiempo 4-dimensional son simétricos. Esta hipótesis es un requisito para la aplicabilidad de la métrica FRW, que nos permite resolver las ecuaciones de la relatividad general aplicadas al cosmos y constituye un componente del modelo estándar del *Big Bang*. El llamado principio cosmológico perfecto añade a esto el postulado de la simetría y homogeneidad temporal, por lo que resulta incompatible con el modelo estándar del *Big Bang*, que representa un Universo dinámico en evolución; pero es la base del modelo cosmológico del estado estacionario.

La especulación antrópica se mueve en un mundo onírico donde nada es lo que parece. Ni el principio antrópico es antrópico ni el principio copernicano tienen nada que ver con Copérnico. Copérnico nunca defendió nada parecido al principio cosmológico perfecto y ni siquiera al principio cosmológico a secas. No pensaba que la posición del Sol y de la Tierra fueran homogéneas. Pensaba que había una posición honorífica central, pero que no estaba ocupada por la Tierra, sino por el Sol. La Tierra se limitaba a orbitar en torno al Sol, que estaba en el centro. McMullin (1993) se extraña también de que Carter llame 'principio copernicano' a la tesis de que la residencia cósmica del hombre no está en modo alguno privilegiada. (¡Sospecho que Copérnico se asombraría de que esto se considerase una inferencia de su teoría!). Por 'privilegiado' [Carter] no se refiere a un *status* honorífico o a alguna ventaja, sino a que la residencia humana no tiene características especiales que la hagan diferente de cualquier otro lugar del cosmos. Esta opinión, que él considera un 'dogma' de los cosmólogos anteriores, es obviamente falsa, pues la Tierra es un planeta, tiene una atmósfera, y posee muchas otras características que la diferencian, por ejemplo, del espacio vacío.

Argumento bayesiano

Carter (1983), Garret y Cole (1992) y otros han indicado que el principio antrópico débil puede ser considerado como una aplicación del teorema de Bayes. El enfoque bayesiano de la inferencia inductiva se basa en la asignación de probabilidades a priori a las hipótesis concurrentes usando el principio de la máxima entropía y en la reasignación de probabilidades posteriores, una vez que se dispone de nuevos datos, en función de la verosimilitud (*likelihood*) de dichos datos, suponiendo la verdad de las diferentes hipótesis. La hipótesis que confiere la máxima verosimilitud a los datos es la favorecida.

La probabilidad posterior de la hipótesis H en vista de los nuevos datos D y del conocimiento de fondo K , $P(H|D \wedge K)$, viene dada por el teorema de Bayes en términos de la probabilidad a priori $P(H|K)$ (asignada usando el principio de máxima entropía) y de la verosimilitud $P(D|H \wedge K)$ y $P(D|K)$:

$$P(H|D \wedge K) = \frac{P(H|K) \cdot P(D|H \wedge K)}{P(D|K)}$$

De aquí se sigue el principio de inferencia

$$P(D|H \wedge K) > P(D|K) \Rightarrow P(H|D \wedge K) > P(H|K)$$

que dice que la verosimilitud de los datos, dada la hipótesis, confiere apoyo a la hipótesis.

Si tomamos como hipótesis R (que los valores de las constantes y parámetros del modelo cosmológico estándar están dentro del abanico restringido de valores posibles que permiten – a través de la formación de elementos químicos pesados y de estrellas y planetas – la evolución de la vida basada en el carbono), como dato L (que en la Tierra hay vida basada en el carbono, como, por ejemplo, la nuestra) y como conocimiento de fondo M (el modelo cosmológico estándar), entonces podemos reformular la última fórmula del siguiente modo:

$$P(L|R \wedge M) > P(L|M) \Rightarrow P(R|L \wedge M) > P(R|M)$$

La verosimilitud de que haya vida basada en el carbono, suponiendo que los parámetros del modelo cosmológico estándar tengan valores compatibles con la evolución de la vida, es mucho mayor que la probabilidad de que haya vida basada en el carbono sin suponer que los parámetros del modelo cosmológico estándar tengan valores compatibles con la evolución de la vida, pues la mayoría de las combinaciones de valores posibles impedirían la evolución de la vida basada en el carbono. Por tanto, podemos concluir que la probabilidad posterior de que los parámetros tengan valores compatibles con la evolución de la vida, dado el dato de que hay vida, es mucho mayor que su probabilidad a priori. Y esto puede considerarse como otra versión del principio antrópico débil.

El argumento es formalmente correcto. Lo que resulta un poco extraño es considerar todo el edificio del modelo cosmológico estándar como conocimiento de fondo y el hecho de que haya vida como un dato *nuevo*. La regla de Bayes es una regla de inferencia, no un principio explicativo. Pero incluso como principio de inferencia revestido de ropajes bayesianos, el argumento solo conduce a resultados ya previamente conocidos y sigue brillando por su esterilidad.

Diferencia entre inferencia y explicación

El hecho de que nosotros (o los conejos) existamos no explica por qué las constantes fundamentales de la física y los parámetros del modelo cosmológico estándar tienen los valores que tienen. Una tal explicación solo podría ser suministrada por algún tipo de teoría más amplia, que nos permitiera deducir esos valores, en vez de limitarnos a medirlos empíricamente. Pero la existencia de tal teoría es solo una esperanza. Quizá los valores de las constantes sean hechos brutos. En cualquier caso hay que recordar que no todas las preguntas sintácticamente bien coinstruidas que empiezan con “¿por qué ...” tienen sentido.

¿Cuántos pelos tengo en mi cabeza en este momento? ¿Por qué ese número? ¿Por qué es hoy lunes? ¿Por qué el agua es H_2O ? ¿Por qué la Tierra tienen solo un satélite natural? ¿Por qué tiene el Sol 9 planetas grandes? ¿Por qué hay algo más bien que nada? Como observó Sylvain Bromberger (1992), “las preguntas de porqué, a diferencia de otras preguntas [de qué, cómo, cuándo y dónde] pueden ser oscuras ... Se trata de la oscuridad de no saber qué factores, si es que los hay, controlan si tienen respuesta o no. ... Yo no sé por qué hay nueve planetas grandes. No sé si hay alguna respuesta a esa pregunta de porqué. ... No sé si el hecho de que haya nueve planetas no es simplemente un hecho bruto.”

No sabemos si alguna vez encontraremos una explicación del valor de las constantes físicas. Lo que sí sabemos es que sus presuntas explicaciones antrópicas son pseudoexplicaciones. Nuestra vida y existencia no explican las condiciones iniciales del Universo ni el valor de las constantes de estructura fina. Esos intentos fallidos de explicación se conforman a un patrón al que también pertenecen las siguientes “explicaciones”: ¿Por qué está lloviendo? Porque he abierto mi paraguas. ¿Por qué contraí la infección? Porque luego he estado tomando antibióticos. ¿Por qué cometió el crimen? Porque ahora está en prisión. ¿Por qué se casaron? Porque más tarde se divorciaron. ¿Por qué fumaba? Porque luego dejó de fumar. ¿Por qué murió Fulano ayer? Porque estaba vivo anteayer. ¿Por qué desarrolló la especie humana la capacidad lingüística? Porque hoy estamos hablando. La escritura se inventó, porque yo estoy escribiendo ahora. Todavía hay hidrógeno en el núcleo del Sol, porque estoy escribiendo ahora. Hay algo más bien que nada, porque estoy escribiendo ahora. Mi abuela no murió virgen, porque estoy escribiendo ahora.

¿Por qué hay oxígeno en la atmósfera terrestre? Porque nosotros los humanos respiramos oxígeno. Desde luego, esta presunta explicación antrópica no explica nada. Ya había oxígeno en la atmósfera dos mil millones de años antes de que hubiera seres humanos. Más bien al contrario, que la atmósfera contenga oxígeno es una precondition de la existencia de criaturas aerobias como nosotros. Philip Gasper (1991, en un contexto que no tenía nada que ver con el principio antrópico) usó algo similar como ejemplo paradigmático de derivación sin explicación: “De las leyes de la biología y del hecho de que haya mamíferos en la Tierra podemos deducir que hay oxígeno en la atmósfera. Claramente con esto no hemos explicado la presencia de oxígeno ...”

En cualquier concepción de la explicación, el *explanans* contiene condiciones iniciales que son temporalmente previas a (o a lo sumo simultáneas con) los hechos que han de ser explicados (el *explanandum*).

Uno de los pocos puntos en que todos los teóricos de la explicación están de acuerdo es en que no podemos explicar una causa por sus efectos ni el pasado por el futuro. No podemos explicar las condiciones iniciales del Universo hace 15.000 millones de años por la existencia de seres humanos ahora. Ya Carr y Rees (1979) señalaron: “Desde un punto de vista físico, la ‘explicación’ antrópica de las varias coincidencias en la naturaleza es insatisfactoria desde tres puntos de vista. En primer lugar, es enteramente *post hoc*: nunca se ha usado para predecir ningún aspecto del Universo ... En segundo lugar, el concepto está basado en lo que puede ser una noción indebidamente antropocéntrica del observador. ... En tercer lugar, el principio antrópico no explica los valores exactos de las varias constantes de acoplamiento y de las proporciones de masas, sino solo sus órdenes de magnitud.” Gale (1981) analizaba poco después el razonamiento inicial de Dicke del siguiente modo: “En general la arbitrariedad ha sido eliminada mostrando que un fenómeno puede ser predicho o que una teoría puede ser deducida de una premisa más fundamental. La técnica de Dicke es diferente. La lógica deductiva o predictiva procede de un postulado fundamental a un resultado derivado: el futuro es deducido del pasado. El flujo temporal en el argumento de Dicke va en la dirección opuesta. Cita una condición presente (la existencia del hombre) como explicación de un fenómeno anclado en el pasado (la edad del Universo).”

La confusión de las presuntas explicaciones antrópicas es tan obvia que ni siquiera escapa a los teólogos simpatizantes. Respecto a la explicación de Collins y Hawking (1973) de que “la isotropía del Universo

es una consecuencia de nuestra existencia”, William Craig (1988) comentó que “tomada literalmente, una tal respuesta requeriría alguna forma de causación hacia atrás en que las condiciones del Universo temprano serían producidas por nosotros como causas eficientes meramente por nuestro acto de observar los cielos.” Y Richard Swinburne (1990) añadió: “La sugerencia parece ser que nuestra existencia de alguna manera es la *causa* de que las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales sean lo que son (pues si no fueran así, nosotros no podríamos observarlas). Esta sugerencia es un sinsentido. Las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales causan nuestra existencia; nosotros no causamos la suya.”

El principio antrópico fuerte

El principio antrópico débil es una regla de inferencia tautológica, equivalente al *Modus ponens*. El principio antrópico fuerte, por el contrario, es una aserción metafísica sustancial, que compromete a sus partidarios con una visión completamente antropocéntrica de la evolución cósmica, concebida como una gigantesca conspiración para producir seres humanos (o al menos vida). Ya había indicios de ello en Dyson (1971): “Al ... identificar los numerosos accidentes físicos y astronómicos que han cooperado para favorecernos, casi parece como si el Universo deba haber sabido ya en algún sentido que nosotros estábamos en camino”. El nombre y la primera formulación del principio antrópico fuerte se deben a Carter (1974): “el Universo (y por tanto los parámetros fundamentales de los que depende) debe ser tal como para admitir la creación de observadores dentro de él en alguna etapa”. En palabras de Barrow y Tipler (1986): “El Universo debe tener las propiedades que permiten que la vida se desarrolle dentro de él en alguna etapa de su historia.” Según Greenstein (1988): “El principio débil afirma que *la humanidad solo puede existir en un entorno habitable*. Pero el principio antrópico fuerte va más allá. Afirma que *un entorno habitable debe existir*. Afirma que ... es necesario que se encuentre un planeta envuelto en los gases requeridos por la composición química de los humanos.” Las tres formulaciones aluden a un deber incondicional. El Universo *debe* ser adecuado para la vida. La vida humana no es un resultado bienvenido pero aleatorio de la evolución cósmica, sino más bien su meta y su razón última. En palabras de Greenstein: “La vida obedece las leyes de la física; esto es un truismo. Lo que es nuevo es ...

que también la inversa parece ser verdad – que las leyes de la física se conforman ellas mismas a la vida. ... ¿Cómo llegó a ocurrir contra toda probabilidad que el cosmos lograra hacer surgir la vida? Tenía que hacerlo. Tenía que hacerlo para existir.”

Todo el mundo está de acuerdo en que el principio antrópico fuerte es una especulación metafísica sin base física alguna. Por tanto, ninguna explicación que apele a este principio puede ser considerada como una explicación científica. La única manera de explicar por qué las constantes fundamentales de la física y las condiciones iniciales del Universo tienen los valores que tienen consistiría en deducirlos de alguna teoría física más amplia.

Incluso Carter (1974), después de haber introducido como recurso filosófico desesperado la explicación antrópica, concedió: “Personalmente me sentiría más feliz con explicaciones de los valores de las constantes fundamentales de acoplamiento basadas en una estructura matemática más profunda (en la cual ya no serían fundamentales, sino derivadas).” Carr y Rees (1979, al final de su benevolente análisis, declararon: “El principio antrópico ... puede no aspirar nunca a ser mucho más que una curiosidad filosófica. Quizá algún día tengamos una explicación más física para algunas de las relaciones aquí discutidas que ahora parecen genuinas coincidencias.” Alan Guth (1990) comentó: “... el principio antrópico me da mala espina. ... Obviamente podemos hacer algunos enunciados antrópicos que son verdaderos, como que si no estuviéramos aquí, entonces no estaríamos aquí. ... las constantes de la física están determinadas por leyes físicas que todavía no entendemos. ... No pienso que las leyes fueran diseñadas para permitir el desarrollo de la vida.” Kane, Perry y Zytchow (2000) argumentan que el éxito del programa de la teoría de cuerdas impediría cualquier consideración antrópica. Y Murray Gell-Mann (1994) escribió que el principio antrópico “supuestamente se aplicaría a la dinámica de las partículas elementales y a las condiciones iniciales del Universo, moldeando de alguna manera tales leyes fundamentales de tal modo que se produjeran seres humanos. La idea me parece tan ridícula que no merece más discusión.”

Los biólogos no han sido menos severos con el principio antrópico fuerte. John Maynard Smith (1996) ha comentado: “¿Cómo se puede entender esta curiosa pretensión? La interpretación más simple es que el Universo fue diseñado por un creador con la intención de que se desarrolle la vida inteligente. Esta interpretación se queda fuera de la ciencia.” Se trate de la versión que se trate, “como biólogos nos sentimos

incómodos con el principio antrópico porque, confrontados con la necesidad de una explicación histórica, parece una mera rendición.” Por ejemplo, en biología explicamos el origen histórico de las células eucariotas por la teoría simbiótica, según la cual se formaron por simbiosis o fagocitosis entre bacterias preexistentes. Esta hipótesis tiene apoyo empírico (la presencia en las mitocondrias de un DNA propio y la maquinaria bacterioide de traducción). “Sería insatisfactorio argüir que, porque los eucarios están de hecho aquí, los muchos e improbables accidentes que han conducido a ellos necesariamente tienen que haber sucedido.”

El principio antrópico participatorio

Wheeler (1977) se inspiró en una versión de la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica que pretende que las características cuánticas del sistema observado son creadas por el acto mismo de observación. Se preguntó: “¿Es la arquitectura de la existencia tal que el Universo solo llega a ser a través de la observación?” Wheeler no defendió estas especulaciones sobre la necesidad del observador para la existencia del Universo. “Se trata de un junco demasiado frágil para aguantar defensa o crítica alguna”. Sin embargo, y como señaló Earman (1987), “la prudencia excesiva no es uno de los defectos de los teóricos antrópicos”. Barrow (1982) y Barrow y Tipler (1986) promovieron la especulación de que el Universo presuntamente depende del observador al rango de principio, el principio antrópico participatorio: “Los observadores son necesarios para hacer que el Universo exista”.

Otros autores fueron más críticos. Así Gale (1981): “Con su hipótesis Wheeler ha llevado el principio antrópico mucho más allá del dominio de la lógica de la explicación; ha cruzado el umbral de la metafísica. Pocos científicos o filósofos de la ciencia se sentirían cómodos con su visión”. En 1986 añadió:

Wheeler ... ha incorporado a su cosmos la teleología y el antropocentrismo más fuertes posibles. Wheeler toma la idea de la multiplicidad y le añade un poco de pimienta de la mecánica cuántica. ... Los eventos observados solo se hacen reales en el evento mismo de ser observados. Aunque las raíces de esta proposición ... llegan hasta el obispo Berkeley, ... Wheeler va más allá que esta ontología al acoplar conjuntamente las tres nociones de la realidad cuántica, la multiplicidad de universos y el principio antrópico. Según su manera de ver, de entre los universos posibles llega a existir precisamente aquel que, mediante la participación de observadores inteligentes, puede llegar a existir a

través del acto mismo de observación. El observador y lo observado están, pues, ligados en un bucle autoexcitado de auto-causación. ... Aquí el foco de la historia y de la evolución sería un drama de creación más bien que un drama de salvación, pero la inteligencia humana (u otra) seguiría siendo el punto central que serviría como la razón de todo.”

Earman (1987) destapó un malentendido crucial en la especulación antrópica participatoria de Wheeler: “Incluso si uno opta por una interpretación dualista de procesos 1 y procesos 2 de la mecánica cuántica, con observadores conscientes desempeñando un papel central en los primeros, de ahí no se sigue que sin observadores conscientes el mundo no tendría ser, existencia, realidad o actualidad, sino solamente que ciertos tipos de cambio no se producirían en él. Después de un cambio de tipo 1 [reducción o colapso de la función de onda por la observación] el mundo no es más real o actual que antes; y el estado mecánico-cuántico después de la medición contienen exactamente tantas (aunque diferentes) posibilidades no actualizadas como antes”. Es difícil no estar de acuerdo con la conclusión de Earman: “Al no poder encontrar ningún apoyo firme para el principio antrópico participatorio (PAP) en la física, ... me preocupan los intentos de revestirlo con los paños de la respetabilidad científica. ... Como principio científico, el principio antrópico participatorio tienen un acrónimo peculiarmente adecuado [PAP, papilla].”

Multiversos

Al final de su clásico artículo de 1974, Carter escribió:

Desde luego, siempre es filosóficamente posible – como último recurso, cuando no disponemos de un argumento físico más fuerte – promover una *predicción* basada en el principio antrópico fuerte al rango de *explicación* a base de pensar en términos de una ‘multiplicidad de universos’. Con esto me refiero a una multiplicidad de universos caracterizada por todas las combinaciones concebibles de condiciones iniciales y constantes fundamentales.

A continuación ofreció una “explicación de la debilidad de la constante gravitacional basada en la multiplicidad de universos”: una constante gravitacional más fuerte sería incompatible con la existencia de planetas y por tanto con la de observadores. Luego trató de poner en relación su idea de la multiplicidad de universos con la interpretación de Everett de la mecánica cuántica:

Aunque la idea de que existan muchos universos, de los cuales solo uno pueda ser conocido por nosotros, puede parecer a primera vista filosóficamente indeseable, en realidad no va mucho más allá que la doctrina de Everett (...) a la que uno se ve virtualmente forzado por la lógica interna de la teoría cuántica. Según la doctrina de Everett, el Universo o, más precisamente, el vector de estado del Universo, tiene muchas ramas de las cuales solo una puede ser conocida por un observador bien definido (aunque todas son igualmente "reales"). Esta doctrina encajaría de un modo muy natural con la filosofía de una multiplicidad de universos que he tratado de describir.

Aquí hay varias confusiones. Como ya señaló McMullin (1993), no solo no hay justificación alguna para la noción de la multiplicidad de universos, sino que Carter cita el modelo de Everett de mundos que se ramifican en teoría cuántica, "al que uno se ve virtualmente forzado por la lógica interna de la teoría cuántica". Pero uno *no* se ve virtualmente forzado a aceptarlo; de hecho, ha encontrado poco apoyo entre los teóricos cuánticos. Y lo que es más importante, los mundos que se ramifican de Everett no proporcionan el abanico de condiciones iniciales alternativas o de leyes físicas alternativas que requeriría esta versión de la explicación antrópica del constreñimiento inicial de los parámetros.

La suposición de que hay una infinidad de universos y la aplicación del principio antrópico (para "seleccionar" uno de ellos adecuado para la vida) presuntamente explicaría las "coincidencias cósmicas" que permiten que haya átomos de carbono disponibles para la vida y en último término hacen posible la existencia humana. El único filósofo que parece convencido por este argumento es el neo-platónico Leslie, que dedicó un libro entero (1989) y varios artículos a la defensa de esta posición. Ya nos hemos referido a su argumento del "pelotón de ejecución" y a los malentendidos en que se basa. Su más reciente toma de posición (2000) se sustenta en el presunto principio metafísico (¡otro más!) del "requerimiento ético", que tendría un efecto creativo efectivo. Casi ningún filósofo parece habérselo tomado en serio.

Los autores proclives a hablar de múltiples universos usan esta expresión en sentidos diferentes e incompatibles. Recordemos aquí algunas de sus propuestas.

(1) George Ellis y G. Brundit (1979) sugirieron la existencia de muchos dominios desconectados entre sí y situado cada uno de ellos más allá del horizonte de los demás, aunque todos ellos incluidos dentro de un

mismo Universo FRW infinito y abierto. Esta es la más modesta de las propuestas y podría ser aceptable, aunque las conclusiones que de ella sacan sus autores se basan en un argumento erróneo sobre el infinito, como veremos más abajo.

(2) Wheeler propuso un Universo oscilatorio o cíclico (que no tiene nada que ver con el principio antrópico participatorio de Wheeler). Una secuencia infinita de universos alternativamente en expansión y en contracción se sucederían unos a otros sin que el proceso acabase nunca. Cada *big crunch* (gran implosión) “rebota” en un nuevo *big bang* (gran explosión). Los universos sucesivos renacen con condiciones iniciales completamente nuevas y distintas. De este modo todos los modelos posibles del Big Bang se realizarían, por lo que no sería de extrañar que los pocos que son compatibles con la vida se realicen también. Esta propuesta presenta obvias dificultades. Si la tasa de expansión de un ciclo fuera suficientemente grande (si el universo de ese ciclo fuera abierto), ya no habría recolapso ni implosión subsiguiente; el universo continuaría expandiéndose para siempre y el escenario cíclico se autorrefutaría. Además, y como señaló Earman (1987), una curva causal que se aproxime a la singularidad del *Big Bang* no puede ser extendida de un modo continuo a través de la singularidad. Ian Hacking (1987) arguyó que el supuesto ajuste fino a lo sumo permitiría inferir una multiplicidad simultánea de universos, pero no una sucesión cíclica de universos que surgen uno después de otro sin que memoria alguna de los previos universos sea transportada a los siguientes. En este último caso, el argumento sería tan falaz como el suponer que una buena mano de póker es evidencia de que previamente ha habido una larga racha de malas manos. Hacking lo llamó la ‘falacia inversa del jugador’.

(3) La interpretación de Everett de los muchos mundos de la mecánica cuántica. En realidad, esta propuesta no tiene nada que ver con los presuntos múltiples universos invocados en conexión con el principio antrópico. Los muchos mundos de la mecánica cuántica de Everett corresponden a los varios estados (vectores) en una superposición de estados. Se introducen para evitar la reducción o colapso de la función de onda en el acto de la medición. Los múltiples mundos del escenario inflacionario y otros contextos cosmológicos no tienen nada que ver con ellos. El confundirlos fue un error de Carter, como ya pusieron de manifiesto McMullin, Earman, Mittelstaedt y otros. Earman (1987) señaló: “Los teóricos antrópicos no están por encima de cierta doblez. (...)”

Acuden a la interpretación de Everett de los muchos mundos de la mecánica cuántica para generar una multiplicidad de mundos, pero hay que recordar que la principal motivación de esta interpretación consistía en evitar por completo los cambios de tipo 1 [es decir, la reducción de una superposición de estados a un estado propio del observable que se está midiendo], tanto si tales cambios son inducidos por observadores conscientes como si ocurren de otra manera. Este hecho es convenientemente ignorado cuando conviene.”

(4) Los múltiples universos de la cosmología cuántica y la inflación (Vilenkin, Linde). Según la cosmología cuántica (un desarrollo muy especulativo de la mecánica cuántica), las fluctuaciones cuánticas en la nada producen una multiplicidad (incluso una infinitud) de nucleaciones, cada una de las cuales conduce a un superuniverso diferente en inflación eterna. Cada uno de estos superuniversos está totalmente desconectado de los demás (espacialmente, causalmente e informacionalmente). Cada superuniverso de inflación eterna produce una serie sin fin de diferentes universos burbuja, todos los cuales son partes del mismo espaciotiempo. Incluso se pueden definir hipersuperficies que cortan diversos universos, aunque el tiempo cósmico solo está bien definido dentro de un universo burbuja determinado. Nuestro universo observable es solo una mera región de nuestro universo burbuja, una región aplanada por la inflación (siempre según este escenario de inflación eterna). Vilenkin aplica el principio antrópico de un modo crucial en su cosmología cuántica para restringir la inmensa diversidad de condiciones iniciales. Las probabilidades de las condiciones iniciales se ponderan por la probabilidad de producir observadores o civilizaciones. Vilenkin considera que las galaxias son buenos indicadores de la existencia de observadores y civilizaciones y limita su atención a las condiciones iniciales que conducen a la formación de galaxias. Por tanto el principio antrópico es aquí un principio galáctico. La inflación eterna parece ser casi inevitable en un contexto de escenario inflacionario. La energía del falso vacío no se agota con la burbuja inflacionaria, pues la expansión de la burbuja es más rápida que la decadencia del falso vacío. Si hubo alguna vez en el pasado inflación (lo que no sabemos), entonces parece plausible que haya inflación eterna. Por tanto el superuniverso inflacionario tuvo un comienzo en el pasado, pero carece de final en el futuro; continúa inflándose continuamente fuera de nuestra burbuja. Aunque especulativa, esta es la única versión de la multiplicidad de universos que conecta con algún tipo de física. Nótese que quien acepte

tanto la cosmología cuántica como la inflación eterna debe aceptar también una infinidad de infinitudes de universos burbuja.

Con frecuencia el principio antrópico se combina con el supuesto falso de que la existencia de una multiplicidad de universos actuales implicaría que todos los universos físicamente posibles estarían realizados de hecho. Esta multiplicidad garantizaría la existencia de al menos un universo habitable como el nuestro, que sería seleccionado por nuestra propia presencia aquí. En tal caso, como ha señalado Wilson (1993), sería la multiplicidad de universos y no el principio antrópico lo que cargaría con todo el peso de la explicación.

Una confusión frecuente es la noción de que la infinitud implica la existencia de cualquier combinación. A veces (Ellis & Grundrit 1979, Leslie 1989) se sugiere que en una colección infinita de universos cada universo posible ha de ser realizado e incluso que ha de ser repetido una infinidad de veces. El multiverso contendría “infinitos planetas con historias casi exactamente iguales que la de la Tierra, con infinitos seres llamados G. W. Leibniz, por ejemplo”. Esta sugerencia es errónea. La infinitud no implica para nada que cualquier configuración esté realizada, presente o repetida. Por ejemplo, pensemos en el caso trivial de un conjunto infinito de secuencias binarias s_n con el i -ésimo miembro $x_i = 1$, si $i \neq n$, y $x_i = 0$, si $i = n$:

- $s_1 = 01111111111111111111\dots$
- $s_2 = 10111111111111111111\dots$
- $s_3 = 11011111111111111111\dots$
- $s_4 = 11101111111111111111\dots$
- $s_5 = 11110111111111111111\dots$

Y así sucesivamente. Al recorrer n todos los números naturales, obtenemos una infinitud de secuencias binarias que en casi todas sus posiciones son = 1, pero que difieren entre ellas en la posición en que son = 0. Este conjunto de secuencias es infinito, pero la gran mayoría de las secuencias en las que podemos pensar (por ejemplo, cualquier secuencia que contenga dos o más 0's, como 1010101010...) no le pertenecen. Y, desde luego, ninguna secuencia se repite.

La hipótesis de que todos los mundos posibles existen es tan difícil de entender como de aceptar. El conjunto de todos los mundos posibles no está definido con independencia de nuestros modelos o artefactos conceptuales, es más bien una función suya. Si mantenemos fijo un modelo, con sus teorías y matemáticas subyacentes, el conjunto

de las combinaciones de valores admisibles para sus parámetros libres nos proporciona el conjunto de todos los mundos posibles (relativamente a ese modelo). Este conjunto cambia cada vez que introducimos un nuevo modelo cosmológico, cosa que hacemos continuamente. Alguien podría proponer que consideremos el conjunto de todos los mundos posibles en relación a todos los modelos posibles formulados en todos los lenguajes posibles en base a todas las posibles matemáticas y teorías físicas subyacentes, pero tan inabarcable consideración produciría mucho mareo y poca luz.

En cualquier caso, no parece haber la más mínima razón para aceptar una pluralidad infinita (y ni siquiera finita) de universos diferentes y desconectados del Universo que habitamos. Desde luego, tales universos no son lógicamente imposibles, pero tampoco lo son los extraños mundos de la mitología. Incluso partidarios del principio antrópico, como Carr (1982), son escépticos en este punto: "Tanto la interpretación de una multiplicidad de mundos como la de una multiplicidad de ciclos para el principio antrópico son bastante extrañas y yo no recomendaría que ninguna de ellas se tomase demasiado en serio." Lightman (1991) dice sentirse "incómodo con la postulación de diferentes universos. Nosotros habitamos este único Universo y los argumentos que necesitan salir fuera de este Universo para explicarlo quizás hayan salido también fuera de la ciencia".

Religión disfrazada

Como el principio antrópico fuerte no puede justificarse en términos de física, algunos autores han tratado de justificarlo o bien mediante una interpretación teológica (el Universo debe ser capaz de producir vida, pues Dios lo creó con esa intención) o bien mediante una interpretación basada en la presunta multiplicidad de los mundos (todos los universos posibles existen, incluidos los pocos que – como el nuestro – son adecuados para el desarrollo de la vida; nuestra propia existencia "selecciona" uno de estos como el universo observable).

El hecho de nuestra existencia explicaría por qué las constantes de la física tienen los valores que tienen (valores compatibles con la vida) solo si se complementase con la dudosa suposición de que hay un dios personal que quiere producir seres humanos o con la no menos dudosa de que todos los mundos posibles existen actualmente. "Las condiciones en nuestro universo realmente parecen ser las únicas adecuadas para las formas de vida como la nuestra (...). Pero la cuestión permanece – *está* el

Universo hecho a la medida del hombre? O es ... más bien el caso que hay una completa variedad de universos de entre los que “escoger” y que por nuestra existencia hemos seleccionado, como en la sastrería, el único que nos sienta bien?” (Gribbin & Rees 1989).

Los intentos especulativos de justificación metafísica del principio antrópico han ido calando – a través de libros sensacionalistas de divulgación científica – hasta llegar a teólogos y moralistas de un modo distorsionado. Así el por lo demás sutil filósofo moral Derek Parfit comenzó su curso de ética y metafísica en Harvard en 1993 con las palabras: “La física moderna nos enseña que o bien Dios existe y quiere producir seres humanos o bien todos los mundos posibles existen actualmente y por tanto también éste, adecuado para nosotros”. El año anterior (1992) había escrito: Por eso, más bien que creer que el Big Bang meramente resultó ser adecuado para la vida, deberíamos creer en Dios o en la multiplicidad de universos”.

Recensionando el libro de Barrow y Tipler, Helge Kragh (1987) comentó: “Amparándose en la autoridad de la ciencia y de cientos de referencias, Barrow y Tipler (...) contribuyen a una cuestionable (...) mistificación de las consecuencias sociales y espirituales de la ciencia moderna. Este tipo de física escapista, también cultivado por autores como Wheeler y Dyson, apela al instinto religioso del hombre en una época científica.” También subrayó “la naturaleza especulativa y cuasi-religiosa de este tipo de escritos científicos”. William Press (1966) en su recensión del mismo libro en *Nature* hizo observaciones de una dureza inusual: “Los autores [Barrow y Tipler] arden en deseos de ser los teóricos doctrinales fundadores de un ‘nuevo’ resurgimiento de la creencia teológica en la ciencia”. Su “meta no es otra que la fusión de los asuntos científicos con los de la fe y la creencia individual. ... Hemos necesitado mucho tiempo para separar estos asuntos. ... No deberíamos permitir a la ligera que de nuevo se volvieran a confundir y menos por un libro ... cuya agenda extra-científica la mayoría de nosotros deseáramos rechazar”. ... “Aquí hay deshonestidad intelectual fundamental, se nos quiere dar gato por liebre. Los autores ... no siempre juegan limpio con sus lectores. ... Hay una cantidad abrumadora de lo que parece ser bla-bla matemático, es decir, citas de resultados precisos de un modo diseñado para confundir a los lectores menos matemáticos y provocar que salten a la conclusión (usualmente no matemática) deseada por los autores”.

Algunos teólogos usan las obvias dificultades de la idea de la multiplicidad de universos, en conjunción con el seudoresultado

científico de que o Dios existe o todos los mundos posibles existen, para llevar agua a su propio molino teísta. “Parece que estamos confrontados con dos alternativas: postular o bien un Diseñador cósmico o bien un número infinito y exhaustivamente aleatorio [sic] de otros mundos. Encarados con esas opciones, ¿no es el teísmo una elección tan racional como la multiplicidad de mundos?” (Craig 1988).

Algunos cosmólogos de fuertes convicciones religiosas están dispuestos a ir aún más lejos que los teólogos en defensa de su fe. Frank Tipler (un físico de la Universidad de Tulane y co-autor con Barrow del libro clásico sobre el principio antrópico) se dedicó luego a hacer propaganda del fundamentalismo cristiano y a predicar la resurrección de los muertos en el programa de televisión titulado *Soul* (1992), en el cual predecía que en el futuro la vida acabará tomando el mando de todo el universo físico y lo usará para llevar a cabo la resurrección de los muertos en alma y cuerpo a través de una programación informática gigantesca impulsada por Dios. Tipler aparece en la pantalla del televisor y aclara que “lo que entiendo por resurrección es exactamente lo mismo que se enseña en las iglesias”, aunque tampoco está tan claro que lo sea. Tipler explica que la vida se reduce al procesamiento de la información y que el alma es un programa del cerebro. El futuro supercomputador divino ejecutará el programa correspondiente a cada ser humano que haya vivido en el pasado, con lo cual éste resucitará y volverá a tener las impresiones y memorias que tuvo antes de morir. Una voz en *off* resume el mensaje del programa: “La teología se ha convertido en una rama de la física”. Estas ideas fueron luego desarrolladas y publicadas por Tipler en un nuevo libro de 500 páginas lleno de fórmulas de relatividad general, *The Physics of Immortality* (1994), en el que pretende probar matemáticamente que todas las personas muertas serán resucitadas el final de los tiempos. Las recensiones del libro en la prensa científica fueron unánimemente devastadoras y coincidieron en considerarlo una estafa intelectual.

En cualquier caso, la teología no parece haberse convertido todavía en una rama de la física. Tampoco el principio antrópico se ha convertido en parte de la física y ni siquiera de la teología. La tradicional imagen teológica de Dios es la de un monarca absoluto y omnipotente, que puede satisfacer de un modo directo e inmediato cualquiera de sus deseos. La visión “antrópica” degradaría a Dios al papel de mero monarca constitucional, obligado a aceptar los límites de una constitución (las leyes de la física y el modelo cosmológico estándar) que

él no puede cambiar, y reducido su poder a la mera especificación de algunos detalles de su aplicación. Es como si Dios fuera incapaz de crear seres humanos directamente y se viera obligado a recorrer el largo y complicado camino de andar retocando y ajustando los valores de los parámetros de la física con la esperanza de que, tras miles de millones de años, en algún rincón insignificante del inmenso cosmos finalmente su voluntad se realizara. Tal Dios no se parecería al Dios de la Biblia. No es, pues, de extrañar que algunos teólogos (como Craig 1988) muestren escaso entusiasmo por el principio antrópico.

En su versión débil, el principio antrópico es una tautología estéril, que no nos permite explicar nada ni predecir cosa alguna que no conozcamos ya de antemano. En su versión fuerte, el principio antrópico es una especulación gratuita, sostenida solo por la previa fe religiosa. En palabras de McMullin (1994), "el principio antrópico débil es trivial ... y el principio antrópico fuerte es indefendible". Si todavía alguien intenta resucitar el cadáver del antropocentrismo, necesitará un remedio más potente que el principio antrópico.

Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid)

REFERENCIAS

- Agazzi, E. & A. Cordero (ed.): 1991. *Philosophy and the Origin and Evolution of the Universe*. Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers.
- Balashov, Yuri. 1991. Resource Letter AP-1: The Anthropic Principle. *American Journal of Physics* **59**: 1069-76.
- Barrow, John. 1990. The mysterious lore of Large Numbers. In Bertotti, Balbinot, Bergia & Messina 1990, p. 67-93.
- Barrow, John & Frank Tipler. 1986. *The Anthropic Cosmological Principle*. Clarendon Press. Oxford.
- Barrow, John, H. Sandvik & J. Magueijo. 2001. Anthropic Reasons for Non-zero Flatness and Lambda. *Astro-ph/0110497* (22 Oct 2001), submitted to *Physical Review D*.
- Bertotti, Balbinot, Bergia & Messina (ed.). 1990. *Modern Cosmology in Retrospect*. Cambridge University Press.
- Boyd, Richard & Gasper & Trout (ed.). 1991. *The Philosophy of Science*. Cambridge (Mass.): MIT Press.

- Bromberger, Sylvain. 1992. *On What We Know We Don't Know*. The University of Chicago Press.
- Carr, Bernard. 1982. On the origin, evolution and purpose of the physical universe. *The Irish Astronomical Journal*, vol. 15, p. 237-253. [Reprinted in Leslie 1990].
- Carr, Bernard & Martin Rees. 1979. The anthropic principle and the structure of the physical world. *Nature*, **278**: 605-612.
- Carter, Brandon. 1974. Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology. In Longair 1974, p. 291-298. [Reprinted in Leslie 1990].
- Carter, Brandon. 1983. The anthropic principle and its implications for biological evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A 130, p. 347-363.
- Collins, C. and Stephen Hawking. 1973. Why is the universe isotropic? *Astrophysical Journal*, vol. 180, p. 317-34.
- Craig, William. 1988. Barrow and Tipler on the anthropic principle vs. divine design. *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 38, p. 389-395.
- Dicke, Robert: 1961. Dirac's cosmology and Mach's principle. *Nature*, vol. 192, p. 440-441. [Reprinted in Leslie 1990].
- Dingle, Herbert. 1937. Modern Aristotelianism. *Nature*, **139**: 784-786.
- Dingle, Herbert. 1937a. Deductive and inductive methods in science: A reply. *Nature*, **139**: 1011-1012.
- Dirac, Paul. 1937. The cosmological constants (Letter to the Editor). *Nature*, February 20, p. 323.
- Dirac, Paul. 1938. New basis for cosmology. *Proceedings of the Royal Astronomical Society of London*, A 165, p. 199.
- Earman, John. 1987. The SAP also rises: A critical examination of the anthropic principle. *American Philosophical Quarterly*, **24**: 307-317.
- Earman, John & Jesús Mosterín. 1999. A critical look at inflationary cosmology. *Philosophy of Science*, **66** (March), p. 1-50.
- Ellis, George. 1991. Major themes in the relation between philosophy and cosmology. *Mem. Soc. Astronomica Italiana*, vol. 62, p. 553-605.
- Ellis, George & G. Brundrit. 1979. Life in the infinite universe. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, **20**: pp. 37-41.
- Gale, George. 1981. The Anthropic Principle. *Scientific American*, **245** (June): 154-171.
- Gale, George. 1986. Whither cosmology: anthropic, anthropocentric, teleological? En N. Rescher (ed.): *Current Issues in Teleology*, Lanham, Md.: University Press of America, p. 102-110.
- Gell-Mann, Murray. 1994. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the simple and the Complex*. Little, Brown and Co.
- Greenstein, George. 1988. *The Symbiotic Universe*. New York: William Morrow.
- Gribbin, John & Martin Rees. 1989. *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and Anthropic Cosmology*. New York: Bantam Books.

- Hacking, Ian. 1987. The inverse gambler's fallacy: The argument from design: The anthropic principle applied to Wheeler universes. *Mind*, **96**: 331-340.
- Hawking, Stephen & Neil Turok. 1998. Open inflation without false vacua. *Phys. Lett. B* **451**: 25.
- Hoyle, Fred. 1954. On nuclear reactions occurring in very hot stars. *Astrophysical Journal*, Suppl, **1**: 121-146.
- Kane, G., M. Perry and A. Zytlow. 2000. The beginning of the end of the anthropic principle. *Astro-ph/0001197*.
- Kragh, Helge. 1987. The anthropic cosmological principle. *Centaurus*, **30**: 191-194. [Review of Barrow and Tipler].
- Leslie, John. 1989. *Universes*. London-New York: Routledge.
- Leslie, John (ed.). 1990. *Physical Cosmology and Philosophy*. New York: Macmillan.
- Leslie, John. 2000. Our Place in the Cosmos. *Philosophy*, **75**: 5-24.
- Lightman, Alan & Roberta Brawer. 1990. *Origins. The Lives and Worlds of Modern Cosmologists*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- Lightman, Alan. 1991. *Ancient Light. Our changing view of the universe*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- Longair, M. (ed.). 1974. *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*. International Astronomical Union.
- McMullin, Ernan. 1993. Indifference principle and anthropic principle in cosmology. *Studies in the History and Philosophy of Science*, **24**: 359-389.
- McMullin, Ernan. 1994. Fine-tuning the universe? In M. Shale & G. Shields (ed.), *Science, Technology, and Religious Ideas*, Lanham: University Press of America.
- Maynard Smith, John & E. Szathmáry. 1996. On the likelihood of habitable worlds. *Nature*, **384**: 107.
- Mosterín, Jesús. 1996. Philosophy and cosmology. In *Spanish Studies in the Philosophy of Science* (ed. by G. Munévar), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, pp. 57-89.
- Mosterín, Jesús. 2000. The Anthropic Principle in Cosmology: A Critical Review. *Acta Institutionis Philosophiae et Aestheticae* (Tokyo, Japan), vol. 18, pp. 111-139.
- Mosterín, Jesús. 2001. *Ciencia Viva: Reflexiones sobre la Aventura Intelectual de Nuestro Tiempo*. Madrid: Espasa-Calpe.
- Parfit, Derek. 1992. Why does the Universe exist?. *Times Literary Supplement*, 3 July.
- Primack, Joel. 1993. Quote in *Time*, Jan 18.
- Swinburne, Richard. 1990. Argument from the fine tuning of the Universe. In Leslie 1990, p. 154-173.
- Weinberg, Steven. 1987. Anthropic bound on the cosmological constant. *Phys. Rev. Letters*, **59**: 2607-2610.
- Wheeler, John. 1974. Beyond the end of time. In Rees, Ruffini & Wheeler (ed.), *Black Holes, Gravitational Waves and Cosmology*, Gordon and Breach.

- Wheeler, John. 1977. Genesis and observership. In J. Butts & J. Hintikka (ed.), *Foundational Problems in the Special Sciences*, Dordrecht: Reidel, pp. 3-33.
- Wheeler, John. 1980. Beyond the black hole. In H. Woolf (ed.), *Some Strangeness in the Proportion*, Reading (Mass.): Addison-Wesley, pp. 341-375.
- Williams, George. 1992. *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges*. New York: Oxford University Press.