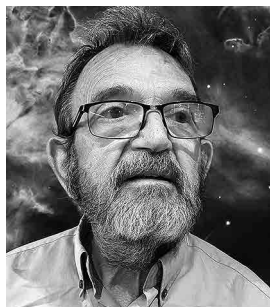


33

De la inmensidad a la pequeñez

Raimon Reginaldo

10 junio 2026



Cuando investigamos nos mueven toda una serie de motivos: la curiosidad, la necesidad de comprender o las motivaciones filosóficas, religiosas o existenciales. El contenido de esta conferencia se moverá más bien sobre intentar comprender por qué estamos aquí, desde el punto de vista de una cosmología física, pero se puede derivar hacia las motivaciones filosóficas, religiosas o existenciales. Será el producto de mi opinión que puede ser bastante diferente a cualquier otra

opinión.

Cuando observamos la naturaleza podemos hacer algunas reflexiones. Una, que todo tiene un profundo vínculo, desde los cúmulos de galaxias hasta nosotros mismos. Dos, que todo está centrado en torno a nuestra especie, nos guste o no, representada con el Hombre de Vitruvio, una ilustración de Leonardo da Vinci de alrededor del año 1490 (figura 1) por la sencilla razón de que nosotros, que sepamos, somos los únicos observadores, los únicos seres pensantes, racionales, que se interrogan sobre sí mismos y sobre el Universo y, los creyentes, sobre Dios mismo. Tres, que todo lo que podemos observar o medir lo haremos de acuerdo a cómo nosotros vemos el mundo,

Raimon Reginaldo

Licenciado en ciencias físicas. Durante muchos años fue miembro de la Junta Directiva y fue vicepresidente de la Agrupación Astronómica de Sabadell, y colaborador habitual en cursos y conferencias.

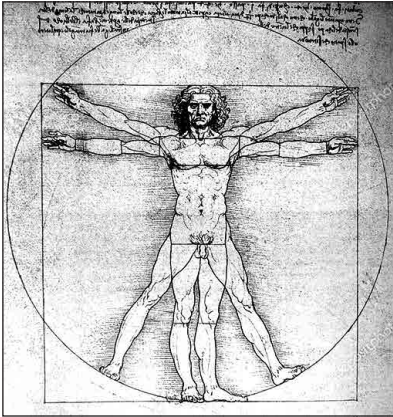


Fig 1. El Hombre de Vitruvio que representa una figura masculina considerada como un símbolo del pensamiento antropocéntrico del Renacimiento.



Fig 2. ¡Una araña paseando por mi jardín!

por qué no hay otra forma de hacerlo. Por tanto, indirectamente, también reflejará nuestros valores y nuestra conciencia. Nosotros también formamos parte del Universo.

Y, aparte, que me maravilla todo lo que produce el Universo. Días atrás, cuando estaba tomando el fresco en el patio de casa, muy cerca de mí veo pasar la maravilla de la figura 2 y pienso en el Universo y en esta araña, lo que es tan impresionante como un cúmulo de galaxias.

Como sabemos, el Universo es inmenso, tanto en el espacio como en el tiempo. Podemos representarlo en forma de la esfera de Hubble, que es nuestro Universo observable. (Figura 3). La escala no es lineal. En el centro se encuentra el Sistema Solar, a su alrededor nuestra galaxia, la Vía Láctea, después todo el Universo visible que sabemos que, a gran escala, tiene una estructura en forma de telaraña. Al fondo, se termina con la radiación cósmica de fondo. (Figura 4).

En el tiempo abarca unos 13.800 millones de años. En el espacio, su radio es de 13.800 millones de años luz. Si se ven incomodos con la medida de longitud de años luz, piensen que un año luz son 9.460.730.472.581 km. Por tanto, su radio son 130.548.000.000.000.000.000.000 km. Y, por tanto, su volumen es de 9.202.794.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 km³.

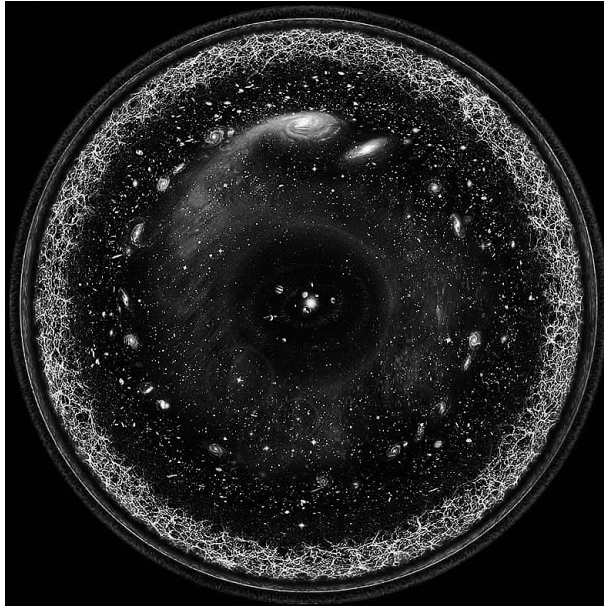


Fig 3. La esfera de Hubble que representa nuestro Universo observable.

A medida que nos alejamos en el interior de la esfera vemos objetos cada vez más viejos que ahora no existen porque han evolucionado. Las galaxias primitivas que ve el Webb en la parte más lejana son ahora galaxias muy parecidas a las que vemos a nuestro alrededor en la parte interior y el fondo de microondas ya no existe. Esto es así, por la sencilla razón de que estamos recibiendo la luz que emitieron hace unos 5.000, 10.000 o 13.800 millones de años.

Ahora todo el Universo tiene esta estructura, una red de galaxias más allá de nuestra propia galaxia que vemos en primer término. (Figura 5). Una red cósmica, formada por cúmulos de galaxias conectados a través de filamentos, con los cuales se extienden enormes regiones muy desérticas llamadas *huecos cósmicos*.

Han pasado, durante todo el tiempo del Universo, un montón de cosas que nos han conducido hasta el Universo actual. Citaré algunas de ellas. Por ejemplo, aquellas ocurridas entre el Big-bang y la radiación cósmica de fondo a los 380.000 años: comienzo de la expansión, modelo inflacionario de la expansión, creación de la materia, proporción entre materia (1) y radiación

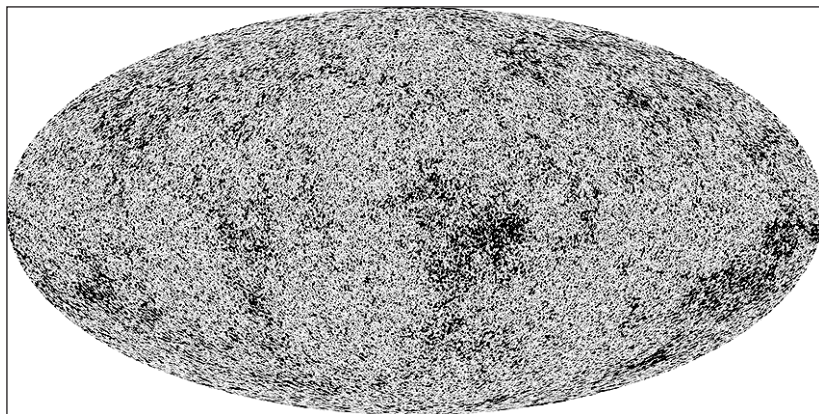


Fig 4. La radiación cósmica de fondo observada por la sonda Planck de la ESA.

(109), que el Universo está formado por materia y no por antimateria, que el Universo contiene hidrógeno (75%) y helio (25%) o que la distribución de materia en el Universo no es uniforme. Después de la radiación cósmica de fondo, nos encontramos con la formación de las galaxias y las estrellas dentro de las cuales se produce la nucleosíntesis estelar y más tarde la formación de sistemas planetarios.

Voy a centrarme un poco en el modelo inflacionario de la expansión y en la nucleosíntesis estelar.

Existen algunos modelos, sobre el modelo inflacionario, todos ellos teóricos. Sin embargo, todos indican que el Universo, poco después de su nacimiento, pasó por una fase de expansión exponencial extremadamente rápida y acelerante, entre 10^{-36} y 10^{-33} segundos después del Big-Bang. Esto alejó dos objetos a un ritmo siempre más rápido porque es el espacio el que se amplía hasta superar la barrera de la velocidad de la luz. Este modelo resuelve dos problemas: Uno, que el Universo esté distribuido homogéneamente e isotrópamente, de forma que su densidad y temperatura son iguales en todas partes. Dos, que el Universo sea plano, lo que es altamente inestable.

La nucleosíntesis estelar es el conjunto de reacciones termonucleares que tienen lugar en las estrellas para fabricar elementos más pesados que el hidrógeno y el helio. Sobre todo en las estrellas gigantes, cuya vida es corta a causa de su actividad frenética, que han generado en su interior a través de sucesivas reacciones termonucleares la mayoría de los elementos de la tabla periódica: carbono, nitrógeno, neón, oxígeno, magnesio, sodio, silicio, azufre, fósforo,

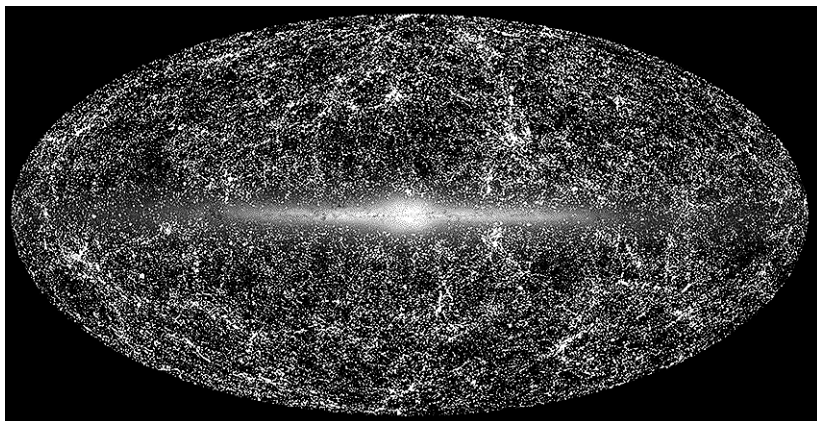


Fig 5. Foto de la estructura a gran escala del Universo.

calcio, titanio, níquel y hierro como los más trascendentales.

Luego han explotado como supernovas y han esparcido en el espacio cósmico una sopa de gas con todos estos elementos químicos. Las nuevas estrellas de generaciones sucesivas estarán contaminadas por estos elementos hasta llegar a una generación en la que podrán formarse planetas como el nuestro, la Tierra.

Todo este proceso calculamos que puede tardar unos 7.000 millones de años. Por tanto, cuando el Sol y la Tierra, se formaron, 9.300 millones de años después del Big-Bang, es decir hace unos 4.500 millones años, ya había en la Tierra las condiciones necesarias para la existencia de especies biológicas, que no tardarían en aparecer.

Las primeras células, que eran organismos unicelulares procariotas, por tanto, sin núcleo y sin estructura, surgieron en la Tierra hace unos 3.700 millones de años. Pasaron 1.200 millones de años para llegar a las células eucarióticas, con núcleo y estructura compleja. Se tardó unos 1.000 millones de años en pasar a los organismos pluricelulares. Por tanto, durante 2.200 millones de años, la vida en la Tierra era exclusivamente de organismos unicelulares.

Los organismos pluricelulares necesitaban ser más sensibles a los estímulos exteriores, ganar capacidad de producir movimiento, transportar impulsos eléctricos, etc. Este proceso duró unos 500 millones de años. Y transcurrieron otros 500 millones de años hasta que aparecieran los peces vertebrados.

Toda esta evolución tuvo lugar dentro del agua, hasta que hace unos 450 millones de años la vida se trasladó a la tierra y al aire.

Los anfibios empezaron hace unos 380 millones de años, los reptiles, hace 320 millones de años, las aves aparecieron hace unos 200 millones de años y los mamíferos hace 180 millones de años.

El género Homo se calcula que apareció hace entre 1,5 y 2,5 millones de años, y el descubrimiento reciente de un fósil hallado en Jebel Irhoud (Marruecos) ha determinado que la aparición de la especie Homo sapiens primitivo se remonta a unos 300.000 años, de la cual hemos llegado al Homo sapiens actual.

Dicho todo esto, se determina que la vida no pudo existir durante los primeros 7.000 millones de años en ningún lugar del Universo. A partir de entonces ya se podrían formar planetas donde era posible la vida, así que 2.000 millones de años más tarde se formaron el Sol y la Tierra. Sin embargo, el desarrollo de la vida, formada en la Tierra bastante pronto, era muy lenta en su evolución y la existencia de especies evolucionadas no se produjo hasta unos 3.000 millones de años después. Entonces, la suma de los años necesarios para que aparecieran organismos complejos es esta: $7.000 + 3.000 = 10.000$ años.

La idea de dar esta conferencia apareció después de leer esta frase (traducida al castellano): «La existencia de especies biológicas evolucionadas como la nuestra requiere de un Universo de unos 10.000 millones de años luz de radio. Obviamente, un Universo tan grande debe contener un gran número de galaxias, ya que partía de unas condiciones homogéneas en el espacio. Por tanto, la inmensidad que observamos y el gran número de galaxias son una condición necesaria para nuestra existencia. Esta constatación resulta subversiva en el sentido de que en lugar de indicarnos una inmensidad abrumadora totalmente desvinculada de nuestra pequeñez, establece un vínculo profundo y sorprendente entre inmensidad y pequeñez». (*Pensar la creació*, David Jou, 2024). De ahí procede el título de esta conferencia.

Vayamos un poco más allá en la inmensidad del Universo, haciéndonos algunas preguntas. ¿Nuestro Universo se extiende más allá de nuestra esfera de Hubble? Evidentemente que la respuesta es afirmativa. ¿El Universo es finito o infinito? Debemos confesar que no lo sabemos.

Ser finito no significa que haya una frontera a partir de la cual no haya nada, sino que volveríamos a ver el Universo que hemos dejado al princi-

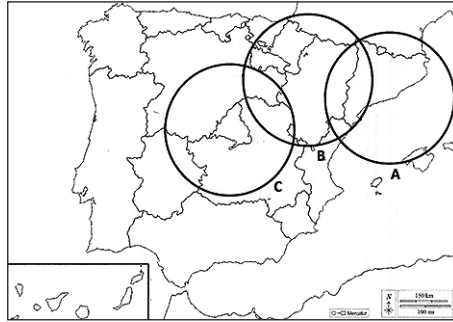


Fig 6. Esquema de tres universos observables comparando el Multiverso con el perímetro de España.

pio, transformado en el tiempo. Esto lo podemos comparar con la superficie terrestre que es finita pero que no tiene fronteras, sino que a partir de un momento volvemos a ver lo que hemos dejado al principio, horas o días más tarde.

Tomaré, como excusa, un modelo de Universo tomado de una conferencia de los miércoles de hace algunos meses. El 12 de noviembre de 2025, el cosmólogo teórico Raúl Jiménez decía que su equipo había formulado un modelo de Universo que era cien veces mayor que nuestro Universo observado. Y añadía que no había recibido demasiadas controversias de sus colegas.

Compararé este Universo cien veces mayor con el perímetro de la superficie terrestre. Es evidente que los cálculos que haré no tienen nada de exactos, pero me van bien.

Si dividimos el perímetro de la Tierra, 40.000 km, por 100 salen 400 km. Entonces nuestra esfera de Hubble tendría ese diámetro. Si la centramos en Sabadell llegaría hasta Carcasona, Huesca, Morella o Palma de Mallorca. (Figura 6, círculo A). Todo lo demás quedaría fuera de nuestro Universo observable. Supongamos, por ejemplo, que dibujamos la esfera de Hubble de una galaxia que no podemos ver y que está centrada en Zaragoza. (Figura 6, círculo B). Su Universo observable sería muy diferente al nuestro; solo se interceptarían en una pequeña región. En un Universo centrado en una galaxia más lejana, supuestamente en Madrid, por ejemplo, su esfera de Hubble sería totalmente independiente de nuestro Universo. (Figura 6, círculo C). Y no digamos lo que pasaría en los universos centrados en Nueva York, San Francisco, Buenos Aires, Ciudad del Cabo, Beijing o Sidney, por ejemplo.

Nos encontramos, pues, que nuestro Universo finito está lleno de casi infinitos Universos, o esferas de Hubble, similares al nuestro. De acuerdo con el modelo inflacionario de la expansión todos ellos tendrían las mismas leyes y sus constantes físicas serían iguales a las nuestras y, por tanto, podrían contener vida. Una pregunta, que nadie puede contestar, es si hay vida en algunos de estos Universos independientes del nuestro.

Y en caso de que sea infinito, aquí solo podemos realizar algunas hipótesis basadas en las teorías físicas, como la mecánica cuántica o la teoría de cuerdas. Hipótesis que serían razonables de acuerdo con la física, aunque por ahora son imposibles de observar.

Infinito, en física, no significa nada. Es un concepto matemático, al igual que el concepto de singularidad. Pero digamos que se acerca al infinito.

Las hipótesis podrían clasificarse en cuatro niveles de multiverso.

Primero: podría haber regiones que dejaran de dilatarse y el Universo sería como una especie de cúmulos de burbujas. En algunas burbujas podrían variar las condiciones, por ejemplo, las dimensiones del espacio-tiempo, las cualidades de las partículas elementales o los valores de las constantes físicas. La mayoría de estas burbujas podrían ser inhóspitas para la vida.

Segundo: un multiverso donde los distintos universos nacieran y murieran o universos oscilantes en los que se darían varios Big-Bang periódicos.

Tercero: la interpretación dominante de la mecánica cuántica afirma que algunas observaciones no pueden ser previstas de forma absoluta, que existe una variedad de posibles resultados. Si se dieran cada uno de estos resultados, con su posibilidad, podrían dar una ramificación de universos paralelos.

Cuarto: universos en todas las estructuras matemáticas que son físicamente posibles. Por ejemplo, que el espacio en lugar de tener tres dimensiones, tuviera hasta 9, como prevé la teoría de cuerdas. La mayoría de estos universos serían inhóspitos para la vida.

El cosmólogo teórico que he citado antes, hizo una pregunta en el auditorio, la misma que hacía a sus alumnos: «*¿Por qué el Universo es tan grande; no sería suficiente con una sola galaxia?*» Al final de la conferencia, le pregunté: «*¿y si en esta galaxia no hubiera vida?*» Entonces, respondió: «*habría que calcular cuantas galaxias son suficientes para asegurar la presencia de vida*». Un cálculo que, por ahora, es imposible hacer.

Podemos preguntarnos cuántos Universos deben existir para que se pueda afirmar la presencia de una civilización avanzada, como la nuestra. Leí

un comentario en el que su autor calculaba que hacían falta 10^{500} universos. No especificaba cómo hacía el cálculo, algo que no importa ahora, porque lo que me interesa es razonar ese número increíblemente elevado de universos necesarios.

Una de las razones para avalar ese número tan elevado podría ser el *principio antrópico*, que está basado, en gran parte, en la llamada *sintonía fina del Universo*.

La sintonía fina del Universo es la constatación de que nuestra propia existencia depende de unos valores muy precisos de diversas constantes fundamentales de la física. Estas diversas constantes no están reguladas por las leyes físicas y pueden tener cualquier valor; todas ellas deben medirse en la práctica. Una de ellas, por ejemplo, es la constante gravitacional. La gravedad, según Newton, tiene esta fórmula: $F = G (m_1 m_2) / r^2$, donde G es la *constante gravitacional* que vale según las medidas: $6,67430(15) \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{kg}\cdot\text{s}^2$.

Otras constantes son: la constante de estructura fina, que caracteriza la intensidad de la interacción electromagnética y, por tanto, de los niveles de energía de los átomos, entre ellos los del carbono; la relación entre la fuerza nuclear fuerte y la fuerza electromagnética; la relación entre la gravedad y la fuerza nuclear débil; la constante cosmológica; el número de dimensiones del Universo, etc.

Todas estas constantes, cuya medida solo puede establecerse a base de la observación porque las leyes de la naturaleza las dejan abiertas, tienen los valores idóneos para que exista la vida. Una leve diferencia entre los valores que adoptan haría imposible la vida. Por ejemplo, si la constante gravitacional fuera ligeramente distinta a la medida no se podrían formar las estrellas. Si fuera más intensa las estrellas se habrían colapsado de inmediato, si fuera más débil todo el Universo sería como un gas de hidrógeno y helio. Otro ejemplo, la abundancia del carbono depende crucialmente de una sintonía entre los valores de algunas constantes físicas fundamentales, por lo que, si alguna de ellas variara más de un cuatro por ciento, no habría carbono en el Universo.

El principio antrópico establece que cualquier teoría válida sobre el Universo debe ser consistente con la existencia del ser humano como seres basados en el carbono, aquí y ahora.

Es decir, si el Universo es tal y como lo observamos, es porque nosotros, seres conscientes, existimos. Si fuera diferente no existiríamos. Y es ahora, porque antes era imposible nuestra existencia, ya que se han necesitado

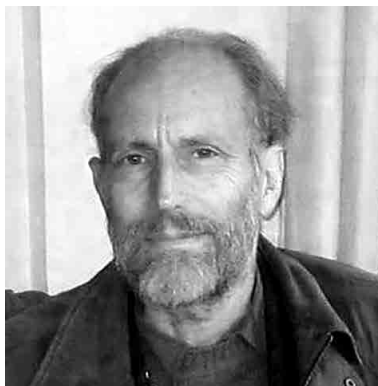


Fig 7. El físico Brandon Carter autor del término *principio antrópico*.

10.000 millones de años para asegurar la existencia de especies biológicas evolucionadas.

El primer uso del término «principio antrópico» se atribuye al físico teórico Brandon Carter, Observatorio de París (Meudon, Francia), en 1973 (figura 7), pero su idea debe remontarse hacia 1967 en California. La idea de Carter es que, después de todo, la humanidad sí tiene un sitio especial en el Universo. No podemos decir que estamos en el centro del Universo, pero tampoco podemos decir que nuestra situación sea típica.

El principio antrópico tal y como lo formuló Carter es muy parecido al que hoy en día se llama el *principio antrópico débil*. Más tarde, otros autores han hecho sus aportaciones, de modo que existen tres formulaciones del principio antrópico.

El *principio antrópico débil* afirma que los valores observados de todas las cantidades físicas y cosmológicas no son igualmente probables, sino que están restringidas por el hecho de que existen lugares del Universo en los que se ha podido desarrollar la vida basada en el carbono y el hecho de que el Universo sea suficientemente antiguo como para que esto haya ocurrido.

El *principio antrópico fuerte* afirma que el Universo debe tener unas propiedades que permitan a la vida desarrollarse en algún estadio de su historia.

El *principio antrópico final* afirma que en el Universo debe llegar a existir una forma de procesamiento inteligente de la información y, una vez que aparece, nunca va a desaparecer.

Las dos últimas formulaciones se apartan de lo que es puramente cientí-

fico, en especial la final que está asociada a valores morales. No las descartaremos, pero ahora nos vamos a centrar en el principio antrópico débil.

Según el propio Carter: *«El principio antrópico no tiene nada que ver con el Homo sapiens, sino que hace referencia a seres inteligentes, aquí o en cualquier otra parte del Universo, y de hecho me gustaría más decirle principio de autoselección. «Principio antrópico» es una definición que le ha dado fama»*. Otros opinan que debe llamarse *principio del carbono*.

El principio antrópico nace de la constatación que nosotros estamos en una posición privilegiada que tiene que ver con la presencia de la vida y con un cálculo de probabilidades. Estamos en una posición bastante limitada por diversas condiciones. La edad del Universo debe de ser más o menos comparable a la vida de una estrella media, porque la existencia de la vida requiere de estrellas lo suficientemente viejas para garantizar la presencia de elementos pesados.

El principio antrópico no dice que haya civilizaciones avanzadas en las estrellas similares al Sol. Las condiciones favorables en la Tierra no significan que sean típicas en otras estrellas similares al Sol.

Las condiciones favorables para la vida en la Tierra duran ya miles de millones de años y no durarán para siempre, porque dependen de la vida del Sol. Estamos en la mitad de la vida del Sol. Lo mismo ocurre en el Universo: la posibilidad de generar estrellas parecidas al Sol solo durará varios millones de años; más tarde no habrá suficiente gas para generar estrellas y el Universo estará poblado de cadáveres estelares: enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros.

La existencia de vida es un fenómeno muy raro, pero no es inevitable. Además, su evolución depende de hechos aleatorios como, por ejemplo, del impacto de un asteroide que provocó la extinción de los dinosaurios, abriendo un hábitat que pudo ser ocupado por los mamíferos.

En esencia, el principio antrópico nos plantea, en principio, la sorpresa de la extraordinaria improbabilidad de nuestra existencia.

Podemos plantearnos dos cuestiones. Primera, que la posibilidad de existencia de vida solo dura una pequeña parte del tiempo del Universo. Empezó cuando las estrellas estaban suficientemente maduras, 10.000 millones de años después del Big-Bang, y acabará en pocos millones de años. Nuestra posibilidad de existir es como una flor en medio del desierto cósmico. Segunda, que esto ocurre en nuestro Universo, pero hemos visto que nuestro Universo es improbable, qué es contingente. Contingente es lo que puede ser o no ser,

acontecer o no acontecer. Podríamos decir aquí que contingente es la sorpresa que nos infunde que el Universo sea como es, en lugar de ser muy distinto.

La vida en la Tierra es contingente, porque nuestro Universo es improbable porque las constantes físicas tienen valores improbables. Por qué se ha formado el sistema Sol, Tierra y Luna que, por lo que sabemos, es improbable. El sistema Sol, Tierra y Luna es importante para la vida. La Tierra está a la distancia correcta del Sol; ha desarrollado una atmósfera; tiene una presencia de agua correcta, ni mucha ni poca; tiene un campo magnético que nos preserva de la radiación solar y tiene un satélite lo suficientemente grande como para darle estabilidad y favorecer así la existencia de la vida sin obstáculos. Es improbable porque el calendario de la evolución se ajusta a la edad solar. Y nuestra existencia es improbable, contingente, porque, como hemos visto, la evolución depende de efectos fortuitos.

Tenemos dos posibilidades de enfocarlo: una, qué suerte que hemos tenido, o dos, que si el Universo hubiera evolucionado de forma que no permitiera la aparición de entidades conscientes, no habría ninguna para darse cuenta y, por tanto, no habría conocimiento de este Universo, y no podríamos lamentarnos de nuestra mala suerte.

Aquí es donde podemos aplicar una variedad del principio antrópico débil, que supone la existencia de muchos universos con constantes diferentes y que observamos los valores que observamos porque para otros valores no podríamos existir. Para mí esta hipótesis es sugestiva porque explicaría que nuestro Universo es muy posible simplemente por azar.

En la física moderna el azar es una ley natural. La naturaleza no es una máquina determinista, como se creía en los siglos XVIII y XIX, sino que el azar juega un papel importante. Esto no quiere decir que nuestra presencia es el resultado de un azar especialmente improbable, sino que es, en cierto modo, un proceso determinista pero regido por el azar. Aunque parezca que estos dos conceptos son excluyentes.

Haré una última pregunta: ¿por qué hay algo (el Universo, la vida, la conciencia reflexiva) en lugar de la nada?

Una pregunta que, en mi opinión, no es científica, sino filosófica o religiosa. Pero alguna vez conviene hacerla. No daré ninguna respuesta a esta pregunta, en todo caso, simplemente diré que el Universo, el Multiverso y más allá del Multiverso, es un misterio.