



La vida en el Universo

Entendemos ya al Universo y nuestro lugar en él. Sin embargo hay todavía mucho que no podemos explicar. ¿La investigación científica actual sugiere un lugar especial para la vida inteligente?

Steven Weinberg

Versión de Luis Estrada

En un popular poema Walt Whitman nos describe cómo después de que el astrónomo le mostró diagramas y cartas del cielo, el cansancio y el aburrimiento le llevaron a “mirar las estrellas en perfecto silencio”. Muchas generaciones de científicos vivieron incómodos por estas líneas. Sin embargo la sensación de belleza y admiración por esos astros no se merma con la explicación científica como Whitman sugirió. La noche estrellada sigue siendo fascinante tanto para los astrónomos cuanto para los poetas. Conforme hemos ido entendiendo más a la naturaleza, el sentido de admiración a ella ha aumentado, especialmente porque mejor comprendemos los misterios que ella esconde.

Las estrellas cercanas que Whitman podía ver sin necesidad de un telescopio ya no son un misterio. No sólo sabemos de las reacciones nucleares que se realizan en los núcleos estelares sino también podemos simularlas y seguir el flujo de energía que llega a la superficie para explicar su apariencia y cómo evolucionan. La observación en 1987 de los rayos gamma y los neutrinos de la supernova que apareció en la Gran nube de Magallanes confirmó satisfactoriamente nuestras teorías acerca de la estructura y la evolución estelar. Estas teorías son hermosas en sí mismas, aparte de que el saber por qué Betelgeuse es roja añade placer a la contemplación del cielo invernal.

Empero quedan todavía muchos misterios que aclarar. De ellos podemos preguntarnos: ¿Qué clase de materia forma a las galaxias? ¿Cómo se formaron las estrellas y las galaxias? ¿Hay muchos lugares en el Universo favorables para la existencia de la vida? ¿Cómo se formaron la atmósfera y los océanos en la Tierra? ¿Cómo empezó la vida? ¿Qué relación hay entre la evolución de la vida y el ambiente en el que ella se desarrolla? ¿Qué tan importante es la casualidad en el origen de la especie humana? ¿Cómo piensa el cerebro? ¿De qué depende la respuesta de las

instituciones humanas al cambio ambiental y tecnológico? Aún estamos lejos de poder responder a estas preguntas. Sin embargo, ya podemos prever el tipo de respuestas que se darán, lo cual era imposible hace cien años. Es indudable que se necesitarán nuevas ideas y mayor intuición para darlas y ésto esperamos que surja todavía de la ciencia que ahora tenemos.

Por otra parte hay misterios que están fuera de la ciencia actual, asuntos que no tenemos esperanza de comprender en términos de lo que ahora sabemos. Para dar nuestras explicaciones empleamos principios científicos fundados en bases más profundas. Hemos hecho con ellas una cadena que ha llegado a descubrir leyes de la naturaleza que no pueden ser aclaradas por la ciencia contemporánea. Por ejemplo, en el caso de la vida nuestras explicaciones tienen una componente histórica y los hechos históricos son accidentes que no pueden ser probados, excepto estadísticamente. No podemos explicar por qué la vida en la Tierra tomó la forma que tiene, aunque seamos capaces de mostrar que algunas formas de ella son más probables que otras. Podemos explicar mucho, aún donde lo histórico juega un papel importante, en términos de las condiciones en las que el Universo empezó. ¿Pero cómo explicar esas condiciones iniciales? Una gran parte de nuestras preguntas dependen no sólo de las leyes de la naturaleza sino también de las condiciones iniciales. Esto está ligado al papel dual de la vida inteligente: por un lado es una parte del Universo que queremos explicar y por otro es quien quiere dar las explicaciones.

* * * * *

Las leyes de la naturaleza, como ahora las conocemos, nos permiten rastrear la expansión observada del Universo hasta lo que sería su origen, un momento en que el Universo era infinitamente denso y caliente, lo cual sucedió hace diez o veinte mil millones de años. Sin embargo no tenemos la seguridad para aplicar esas leyes a situaciones en las que las temperaturas y las densidades son extremas, por lo que no podemos saber a ciencia cierta cómo fue ese momento y menos encontrar las condiciones iniciales, si es que las hubo. Por el momento lo mejor que podemos hacer es describir las condiciones iniciales del Universo a un tiempo del orden de un billonésimo de segundo después del momento en que la temperatura y la densidad eran infinitas.

Más tarde la temperatura del Universo descendió a un mil millonésimo de grado, con lo cual apareció una situación en la que ya podemos aplicar nuestras teorías físicas. A estas temperaturas el Universo estaba lleno de un gas formado por todos los tipos de partículas conocidas, incluyendo sus antipartículas, las cuales se creaban y aniquilaban continuamente debido a sus colisiones. Conforme el Universo continuó expandiéndose y enfriándose la creación de esas partículas disminuyó y casi todos los tipos de ellas desaparecieron. Gracias a que hubo un pequeño exceso de electrones, respecto a los positrones, y los cuarc eran un poco más que los anticuarc, existen las partículas que ahora observamos. El exceso de la materia sobre la antimateria en ese momento fue algo como una parte en diez mil millones y eso causó que, tres minutos después, se formaran los núcleos atómicos ligeros. Con éstos, un millón de años mas tarde, se estructuraron los átomos que posteriormente fueron cocinados en las estrellas para fomar los elementos más pesados y dar lugar al material del cual se originó la vida. El exceso de uno en diez mil millones de materia sobre antimateria es una de las condiciones iniciales clave que determinó el desarrollo futuro del Universo.

Es posible que puedan existir otros tipos de partículas que no han sido observados en nuestros laboratorios y que ellas interactúen más débilmente que los cuarc y los electrones. Si tal fue el caso, esas partículas se aniquilaron mucho más lentamente y puede haber quedado un gran número de ellas como un remanente del Universo primigenio. Estas partículas exóticas formarían ahora la “materia oscura” que aparentemente constituye la mayor parte del Universo actual.

Generalmente se supone que cuando el Universo tenía un billonésimo de segundo de edad sus componentes eran prácticamente las mismas en todas partes. No obstante también debieron haber existido pequeñas inhomogeneidades que causaron la formación, millones de años después, de las primeras galaxias y estrellas. Tales inhomogeneidades nos son desconocidas para tiempos anteriores a un millón de años, que fue cuando el Universo finalmente se hizo transparente. Por esto los astrónomos estudian ahora las pequeñas variaciones en la intensidad de la radiación que se originó en ese momento, la llamada radiación fósil, para de ahí inferir la distribución de la materia en esa época. Esta información, a su vez, será usada para deducir las inhomogeneidades anteriores al primer

billonésimo de segundo de edad del Universo.

Desde el punto de vista de la Física fundamental la historia del Universo es un ejemplo ilustrativo de las leyes de la naturaleza. A un nivel más profundo en el que hemos podido fundamentar nuestras explicaciones, esas leyes toman la forma de las llamadas teorías del campo cuantizado. Cuando los principios de la Física cuántica se aplican a un campo tal como el electromagnético, se encuentra que la energía y el momento del campo sólo pueden existir como pequeños “paquetes” o “cuantos”, que se observan en el laboratorio como partículas. El Modelo estándar de las partículas fundamentales, aplicado al campo electromagnético, establece que esas partículas son los fotones y aplicado al campo electrónico da sentido a los electrones y a los positrones. En general, para los campos básicos asociados a las partículas fundamentales conocidas, justifica la existencia de los leptones y los antileptones, por una parte, y los cuarc y los anticuarc, por la otra. Hay otros campos cuyos “cuantos” son las partículas que transmiten las interacciones que actúan en las partículas fundamentales.

* * * * *

El Modelo estándar ciertamente no es la ley última de la naturaleza. Aún en su forma más simple este modelo contiene 18 parámetros arbitrarios cuyos valores sólo pueden evaluarse del conocimiento experimental. Por otra parte la multiplicidad de tipos de cuarc y de leptones es todavía inexplicable. Hay algo más en el modelo que no tiene respuesta: ¿por qué los cuarc, los electrones y otras partículas similares tienen masa? Esperábamos resolver este misterio con la ayuda del Superchocador de superconductores cuya construcción fue recientemente cancelada. Nuestra esperanza es ahora el Gran chocador de hadrones que está planeando construir el CERN. Finalmente el modelo es incompleto ya que no incluye a la gravitación. Por ahora tenemos una buena teoría de campo de esta interacción, la teoría de la Relatividad generalizada, pero no todavía su versión cuántica.

Es posible que todos estos problemas puedan resolverse con una nueva teoría conocida como la Teoría de las cuerdas. En ella las partículas puntuales de la teoría del campo cuantizado se representan como delgadísimos lazos o hebras llamados cuerdas. Estas pueden vibrar de varios

modos y cada uno de ellos aparecerá en el laboratorio como un tipo diferente de partícula. La Teoría de las cuerdas no sólo da una buena descripción cuántica de la gravitación sino también predice al gravitón, la partícula del campo gravitacional. Más aún, hay versiones de esa teoría que predicen el conjunto de campos en que se basa el Modelo estándar. Sin embargo la Teoría de las cuerdas no ha tenido éxito para explicar o predecir los parámetros numéricos del Modelo estándar. Por otra parte, las cuerdas son demasiado pequeñas para ser observadas y mostrar las características propias de las partículas fundamentales. Una cuerda es tan pequeña con relación a un núcleo atómico como éste lo es respecto a una montaña. Los esfuerzos hechos hasta el momento para construir la Teoría de las cuerdas se han realizado sin el menor apoyo experimental y ellos no tienen precedentes en la historia de la ciencia. Por ahora, empero, esa teoría es nuestra mayor esperanza para lograr un entendimiento más profundo de las leyes de la naturaleza.

* * * * *

La brecha existente en nuestro conocimiento de las leyes de la naturaleza se manifiesta en el modo de explicar, en términos de su historia anterior, las condiciones iniciales del Universo en su primer billonésimo de segundo. En los años recientes se han hecho cálculos que predicen que el pequeño exceso de cuarc y electrones sobre anticuarc y positrones que había en ese momento, se produjo un poco antes, cuando la temperatura era de un diez mil billonésimo de grado. Entonces el Universo sufrió una transición de fase, algo como lo que sucede cuando se congela el agua, con lo cual las partículas existentes adquirieron masa por primera vez. Lo que no podemos explicar es por qué el exceso producido en ese momento fue de una parte en diez mil millones y esperamos hacerlo cuando entendamos los detalles del mecanismo de la producción de masa en las partículas.

Otra condición inicial, el grado de inhomogeneidad en el Universo temprano, puede rastrearse a los primeros momentos. De acuerdo con nuestras teorías del campo cuantizado acerca de las partículas elementales, incluyendo la más simple versión del Modelo estándar, algunos campos llenaban el Universo y no eran nulos en los lugares del espacio que estaban vacíos. La densidad de energía de esos vacíos, conocida como la constante cosmológica, puede medirse mediante el campo gravitacional

que produce y aparentemente es muy pequeña. Sin embargo, algunas teorías modernas del Universo primigenio predicen que hubo un tiempo anterior en el que estos campos no habían alcanzado sus valores de equilibrio, por lo que el vacío tuvo una densidad de energía enorme. En estas condiciones se produjo una violenta expansión del Universo, conocida como la inflación. Las pequeñas inhomogeneidades que las fluctuaciones cuánticas habían producido antes de esta inflación, fueron amplificadas y produjeron inhomogeneidades mucho mayores que después de millones de años provocaron la formación de las galaxias. Se ha conjeturado también que la inflación que inició la expansión del Universo, no ocurrió en todos lados. Entonces lo que observamos puede ser sólo un episodio local perteneciente a una sucesión eterna de inflaciones locales que ocurren al azar en un Universo infinito. Si esto es cierto el problema de las condiciones iniciales desaparecerá, pues no hubo momento inicial.

En esta imagen de la evolución del Universo nuestra expansión local pudo haber empezado con inhomogeneidades o con alguna otra situación especial aunque, como en el caso de la forma de la vida en la Tierra, estas condiciones sólo podrían entenderse en un sentido estadístico. Sin embargo en el momento de la inflación la gravedad era tan intensa, que sus efectos cuánticos no pueden ignorarse y estas ideas permanecerán únicamente como especulaciones hasta que entendamos la teoría cuantizada de la gravitación.

* * * * *

La experiencia de los últimos 150 años muestra que la vida está sujeta a las mismas leyes de la naturaleza que la materia inerte. No hay evidencia de un gran designio en la evolución de la vida. Los problemas de la explicación de la conciencia en términos del funcionamiento cerebral se derivan de que creemos que el conocimiento de esa facultad no proviene de nuestros sentidos. Al menos en principio, no hay mayores dificultades para explicar el comportamiento de otras personas en términos fisiológicos o, más profundamente, como consecuencia de procesos físicos e históricos. Una consecuencia de este tipo de explicaciones es que nuestra propia conciencia está regida por tales procesos naturales. Sin embargo, a pesar de que buscamos una explicación unificada del Universo, en el caso de la vida inteligente nos encontramos frente a una necia dualidad: por una

parte somos los investigadores y, por la otra, los investigados. Esta dualidad aparece aún en los más profundos niveles de la Física actual. En la Mecánica cuántica los estados de los sistemas se describen mediante un objeto matemático llamado la función de ondas y, de acuerdo con la interpretación tradicional, las reglas para calcular esta función son de muy diferente naturaleza que las empleadas para interpretarla. En el primer caso se emplea la Ecuación de Schrödinger que describe el comportamiento temporal de la función de ondas en forma determinista, y para el segundo se usa un conjunto de reglas que permiten definir las probabilidades de los resultados posibles en la medición de las magnitudes observables.

Esta interpretación de la Mecánica cuántica, conocida como la interpretación de Copenhague, sostiene que si queremos medir una magnitud como la posición o el momento de una partícula, perturbamos el sistema causando un cambio impredecible en la función de ondas. En el caso del estudio del espín del electrón, por ejemplo, la función de ondas antes de la medición es una suma de términos que representan las diferentes posibilidades que tiene esa magnitud, por lo que es incorrecto decir que el electrón tiene tal o cual estado particular de espín. Si medimos esa magnitud en una forma particular encontraremos una cierta probabilidad, por lo que en cierta forma habremos forzado a la función de ondas a producir ciertos valores. La medición es entonces algo intrínsecamente diferente del resto de la descripción de la naturaleza. Sin embargo, definir el proceso que llamamos medición como algo que no sea un acto mental consciente, es prácticamente imposible, aunque no todos concuerden en ello.

* * * * *

Las posiciones de los físicos y los filósofos frente a la interpretación de Copenhague pueden dividirse en cuatro. La primera es la de aquellos que simplemente la aceptan tal cual. Esta posición corresponde al antiguo punto de vista basado en la separación de la vida y la conciencia del resto de la naturaleza. La segunda es la de los que aceptan las reglas formalmente para fines prácticos. Esta es la actitud de la mayoría de los físicos. La tercera es la de los que intentan cambiar la Mecánica cuántica en alguna forma. Hasta ahora ninguna propuesta ha sido mayormente aceptada. La última es la de los que aceptan la Ecuación de Schrödinger pero no el dualismo de la interpretación de Copenhague, dando sentido a las proba-

das reglas formales en función de los observadores y de sus instrumentos de medición en una forma congruente con la evolución determinista de la función de ondas. Así para medir una cantidad -como la dirección del espín del electrón- se coloca al sistema en un medio -un campo magnético por ejemplo- en el que la energía (o el momento) depende fuertemente del valor de la magnitud a medir. De acuerdo con la Ecuación de Schrödinger los diferentes términos de una función de ondas, correspondientes a las distintas energías, oscilan con frecuencias proporcionales a los valores de esas energías. Por lo tanto una medida hace que los términos de la función de ondas que corresponden a los diferentes valores de la cantidad medida -como sería la dirección del espín del electrón- oscilen a distintas frecuencias sin interferir entre sí. Este efecto es similar a la manera como funcionan las señales de radio en un receptor, por lo que pueden ser captadas individualmente. Así, para fines prácticos, una medición contribuye a la historia del Universo al separar las distintas posibilidades no interferentes que corresponden a cada uno de los valores de la cantidad medida. Resta explicar las reglas de Copenhague para el cálculo de las probabilidades de esas distintas posibilidades existentes en un mundo gobernado por una ley determinista representada por la Ecuación de Schrödinger. Esta explicación todavía no existe en forma definitiva, aunque en tiempos recientes se ha avanzado mucho para darla.

Es también difícil evitar hablar de observadores vivos cuando nos preguntamos por qué los principios de la Física son como son. La teoría moderna del campo cuantizado y la teoría de las cuerdas pueden entenderse como soluciones al problema de hacer compatibles a la Mecánica cuántica y a la teoría especial de la relatividad, a fin de dar explicaciones satisfactorias a los fenómenos que las motivaron. Para ello los físicos teóricos han señalado ciertas condiciones básicas que tales teorías deben satisfacer, las cuales son, en los términos especializados, la unitariedad, la positividad y la descomponibilidad en cúmulos. *Grosso modo* estas condiciones significan que debe asegurarse que las probabilidades cubran el 100%, que ellas siempre sean positivas y que los fragmentos muy separados estén libres de influencias mutuas. Garantizar estas condiciones no es fácil. Hay casos en que la satisfacción de algunas de ellas implica la violación de otras. Sin embargo todo hace parecer que si una teoría cumple con esas condiciones su versión reducida a las condiciones de observación ordina-

ria -bajas energías por ejemplo- coincidirá con las teorías actuales del campo cuantizado. Esta es una de las razones por las que pensamos que el Modelo estándar ha funcionado razonablemente bien. Por otra parte, hasta donde ahora sabemos, la únicas teorías cuántico-relativistas que incluyen a la gravitación y que satisfacen las condiciones antes mencionadas son las teorías de las cuerdas. Más aún, por el momento las razones para admitir ciertas hipótesis en tales teorías están basadas únicamente en garantizar las condiciones antes mencionadas. Cabe entonces preguntarse: ¿por qué son esas las condiciones que hay que imponer a la explicación de todos los experimentos imaginables si las leyes de la naturaleza que conocemos admiten la posibilidad de un universo en el que no haya seres vivos capaces de hacer experimentos? Esta pregunta no perturba por ahora la labor de la mayoría de los investigadores, pero es ineludible cuando se pretende aplicar la Física cuántica al Universo completo. No tenemos todavía ninguna idea de cómo calcular o interpretar la función de ondas del Universo, y no podemos avanzar en ello exigiendo que todos los experimentos den resultados razonables, ya que, por principio, no hay observadores externos al Universo que experimenten en él.

Estos misterios se ahondan cuando consideramos lo sorprendente que es cómo las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales deben acomodarse para permitir la existencia de seres que puedan observarlo. La vida, como la conocemos, sería imposible si alguna de las muchas cantidades físicas tuviera un valor distinto del que tiene. El caso mejor conocido es el de la energía de uno de los estados excitados del núcleo del carbono 12. En la cadena de reacciones nucleares que producen los elementos pesados en las estrellas hay un paso crucial: dos núcleos de helio se unen para formar un núcleo de berilio 8 que, aunque es inestable, puede absorber otro núcleo de helio para formar carbono 12 en un estado excitado. Este núcleo se convierte en carbono estable después de emitir un fotón, y a partir de este núcleo la estrella puede fabricar oxígeno, nitrógeno y otros elementos necesarios para la vida. Sin embargo la captura de helio por el berilio 8 es un proceso resonante cuya formación depende, en forma muy crítica, de la energía del estado excitado del carbono 12, por lo que si ésta fuera diferente de lo que es tal estado no se formaría, ocasionando que el berilio 8 finalmente se descomponga en dos núcleos de helio. En tal caso el Universo hubiera permanecido compuesto sólo por hidróge-

no y helio y no habría elementos para formar la vida.

* * * * *

Las opiniones acerca del grado de precisión necesario en los valores de las constantes de la naturaleza no concuerdan por completo. Sin embargo hay una que parece casi no admitir tolerancia, y es la energía del vacío, la constante cosmológica, que mencionamos al referirnos a la inflación del Universo. Aunque no sabemos cómo calcular esta magnitud podemos determinar los valores de algunos de los factores que la forman, y se ha encontrado que ciertos de ellos contribuyen con cantidades del orden de 120 órdenes de magnitud mayores que el máximo permitido por las observaciones de la velocidad de expansión cósmica. En caso de no existir otras contribuciones que cancelen a éstas la predicción es que en el Universo no debía haber vida, pues su evolución sería tal que, antes de que apareciera la vida, hubiera cambiado su expansión por una contracción, o se hubiera expandido tan violentamente que no hubiera dado lugar a la formación de galaxias y estrellas. Así la existencia de la vida requiere de la cancelación de contribuciones al valor de la energía del vacío con una precisión de 120 cifras decimales, lo cual esperamos obtener con una teoría futura. En el caso de la Teoría de las cuerdas, como en el caso de la teoría del campo cuantizado, la energía del vacío comprende algunas constantes arbitrarias, por lo que el problema está en ajustarlas de manera que den lugar al valor observado y, por tanto, a las condiciones que hacen posible la vida.

Todos estos problemas pueden resolverse sin la necesidad de suponer que la vida y la conciencia juegan un papel especial en las leyes de la naturaleza o en las condiciones iniciales. Si admitimos la posibilidad de que el Universo esté compuesto de diferentes partes, puede suceder que lo que llamamos constantes de la naturaleza tengan valores distintos en cada una de esas partes, y entonces no sería sorprendente que las posibilidades de vida se limitaran a sólo ciertos lugares, quizá los menos. Es natural que pensemos que los seres vivos que se lograron en esos lugares podrán medir las constantes de la naturaleza y encontrar que sus valores son los que permiten la existencia de la vida. Estas constantes tienen otros valores en otros sitios, pero ahí no habrá quién las mida. Estos argumentos constituyen una versión de lo que algunos llaman el Principio antrópico, y no

requieren de que la vida juegue un papel especial en las leyes de la naturaleza, como tampoco el hecho de que el Sol posea un planeta en el que haya vida implica que se requiere de la vida para la formación del sistema solar. Por lo tanto las leyes fundamentales serían aquellas que permitan conocer la distribución de los valores de las constantes de la naturaleza y en estas leyes la vida no tendría un lugar especial.

El juicio de si el contenido del conocimiento científico es puramente impersonal, es un asunto de la cultura humana, y no es de poca importancia. Algunos filósofos y sociólogos sostienen que los principios científicos, al menos en su parte esencial, son acuerdos sociales, como lo son el derecho civil o los contratos de servicios. A la gran mayoría de los científicos les parece que este punto de vista no corresponde con su experiencia. Es indudable que el contexto social de la investigación científica es cada día más importante para los científicos, especialmente porque su labor requiere cada vez más del apoyo de la sociedad. Que algunos políticos y periodistas estén convencidos de que el público se interesa en la ciencia porque ésta le produce beneficios, es poca ayuda. Es cierto que la mayoría de los problemas científicos importantes, especialmente los que buscan el conocimiento de frontera, están muy lejos de darnos beneficios materiales. Por lo tanto el apoyo de la sociedad sólo puede darse sobre la base de que el quehacer científico es una parte de la cultura de nuestros tiempos. Además, las barreras que ahora existen entre los científicos y el público general no son infranqueables. Los *Principia* de Isaac Newton sólo fueron comprendidos por un pequeño grupo de europeos pero la conciencia de que el mundo está regido por leyes precisas y universales se difundió en todo el mundo. Aunque en un momento hubo una oposición abierta a la Teoría de la evolución, ésta se ha difundido y cada vez son menos los que la rechazan. La investigación que ahora se realiza en las fronteras del conocimiento explora ambientes en que la energía, el tiempo y las distancias son muy diferentes a los de la vida cotidiana, por lo que es difícil describir lo encontrado en un lenguaje ordinario. Sin embargo, en el futuro, lo que estamos aprendiendo acerca del Universo será, sin duda alguna, una parte de la herencia cultural.