

LA MÚSICA DEL UNIVERSO

*The larger music of the world, which contains all sounds and silences
and which one rarely notices, either because its rhythms occur too quickly
or it takes centuries for harmonies to resolve,
emerges for a moment through the crevasse of the sky.*

RODNEY JONES

Ya sea que tenga que ver con el proyecto del genoma humano y que llegue diariamente a través del periódico o que se trate del caos y que se inserte poco a poco en la conciencia del público por medio de artículos ocasionales en revistas, uno de los problemas principales es interpretar la ciencia y los datos involucrados en un determinado contexto. La palabra contexto viene del verbo latino *contextere*, que significa insertar junto o entrelazar. Desafortunadamente, en su uso moderno la palabra ha perdido su capacidad de indicar no sólo la manera en la que el significado se presenta, sino la idea de un tejido que está en su totalidad construido detalladamente. En realidad, como los teóricos de la comunicación usan la palabra hoy día, el contexto es solamente la parte que precede y sigue a un cierto segmento de información y a la cual le da significado. Actualmente pensamos en contexto como si fuera un marco de una pintura, un rectángulo completamente extraño a la pintura a la cual enmarca. Es quizá por esta manera superficial en la que pensamos sobre el contexto, que nos parece extremadamente difícil el que al tomar una

importante teoría científica podamos sacar mayores conclusiones de ella.

El fenómeno no es del todo un malestar moderno. Desde fines del siglo XVIII, con la crítica kantiana de la razón, la cultura ha tomado como su cometido el cuestionamiento del significado. Esta actitud, aun cuando saludable en sus ramificaciones políticas, es completamente opuesta a lo que tanto pensadores como sus seguidores trataban de llevar a cabo antes de la arremetida del periodo moderno. Los pensadores anteriores al siglo de las luces como Descartes, Bacon y Spinoza, creían que su deber era interpretar una visión unificada de la naturaleza y la condición humana. Mientras que esta meta permaneció entre muchos filósofos posteriores, el comienzo del siglo XX, para ser más precisos, de la Primera Guerra mundial, vio el fin de este proyecto intelectual. Desde entonces, nuestro conocimiento ha venido a ser más y más “atomizado”. Si en periodos previos el cometido del pensador era ligar las humanidades con la ciencia, ahora, este pensador se ha movido del panóptico¹ al microscopio. El historiador no escribe las crónicas de las ascensiones y caídas, como lo hace Gibbon en el libro *Historia de la decadencia y caída del imperio romano*, sino que ha llegado a ser –por decirlo de alguna manera– el que colorea, el que recrea vívidamente un evento o fenómeno particular. El filósofo no intenta hacer conexiones entre cosmología, historia y conocimiento, pero sí ha llegado a ser una tenaz voz que insiste en la imposibilidad de la lógica.

Finalmente, el cambio de énfasis e interés en los pensadores alcanzó una crisis epistemológica y moral, a la cual estos mismos

pensadores gustan de referirse como una condición postmoderna. No corresponde al ámbito del presente libro adentrarse en la visión anacrónica del término o en su histórica estrechez de pensamiento. Sin embargo, justo es mencionar el más importante esfuerzo del pensamiento postmoderno, no solamente porque va en contra de las principales ideas que queremos presentar, sino también porque ejemplifica la manera en la cual estos pensadores han hecho hasta lo imposible para poner la información en contexto. Un breve vistazo a alguno de los proyectos de estos pensadores será suficiente. Si bien su fama de alguna manera ha disminuido, uno de los más influyentes filósofos de la postguerra ha sido Jacques Derrida. Sus trabajos incluyen libros sobre Platón y Freud, Rousseau y Herder, pintura y literatura. Sin embargo, a pesar de la diversidad de sus temas, su filosofía es una insistente, o mejor dicho, defectuosa exploración hacia la imposibilidad del significado. Mientras otro muy influyente filósofo francés, un poco menos monomaniaco, Michel Foucault ha abordado la filosofía históricamente. Bajo su influencia, muchos eruditos han argumentado que la ciencia no es un método mediante el cual entenderemos los fenómenos naturales que nos rodean, sino que es un “tratado”, una manera de organizar la información en la cual, como cualquier otro tratado el concepto está imbuido y simplemente refleja el sesgo de la cultura que realzan los científicos. En otras palabras, de acuerdo con Foucault y sus discípulos, la ciencia refleja la hegemonía de la cultura.

Existe una pizca de verdad en la crítica de Foucault. Su trabajo sobre medicina, sobre la institucionalización de la locura y el nacimiento de la clínica, es perspicaz y en su mayor parte correcto.

Sin embargo, de lo que muchos de sus seguidores no se han dado cuenta, es de la diferencia entre medicina, una ciencia que es, a falta de mejores palabras, de habla complicada, y física y biología, ciencias que pueden influir en la cultura, pero cuyos métodos y propósitos están, si no enrarecidos, al menos fuera de la línea principal de la cultura. Claro, muchos descubrimientos médicos han sido posibles gracias al apoyo del gobierno y la industria farmacéutica. Pero la injerencia política o económica ganadas en la ciencia no necesariamente han propiciado resultados prejuiciados, ni esto significa que los innegables logros en la genética o en la física de partículas, etc., sean menos válidos. En política, el fin y los medios van de la mano. En la ciencia y en las artes el fin no puede considerarse equivalente a los medios. Los tempranos *Anthems Chandos* de Händel no dejan de ser piezas maestras porque el duque de Chandos se las haya encargado, ni las sinfonías Salomon de Haydn fueron trabajos de mero oropel simplemente porque Salomon le pago para que las escribiera. Estas obras reflejan la cultura de su tiempo, reflejan la elevación de una clase comerciante, por su forma sinfónica entre otras cosas, pero también van más allá de meras agradables palmaditas en la espalda. De modo similar, en la ciencia, mucho de lo que conocemos del átomo y de la energía atómica viene, desafortunadamente, del proyecto Manhattan. El resultado social de este proyecto es y seguirá siendo hasta que el último ser consciente en la Tierra desaparezca, una de las más grandes atrocidades humanas. Y aun cuando no pretendemos minimizar la responsabilidad personal y moral de los científicos involucrados en este hecho –nadie pretendería hacerlo– podemos argumentar que lo

ganado en cuanto a la formación de la idea del átomo, fue sin paralelo; y si bien no sopesamos los beneficios futuros para la humanidad contra los costos inmediatos, podemos razonar que es posible despojar los descubrimientos de su idea de beneficio económico y utilitario y verlos con más penetración en lo que realmente son por sí mismos. En otras palabras, así como es posible conmovernos con la catedral de Chartres o la de la Ciudad de México, y verlas más grandes que la corrupción de la Iglesia y la explotación que permitió su construcción, es posible valorar los descubrimientos de la ciencia y divorciarlos de las fuerzas sociales y el discurso cultural que los provocaron.

Hemos caminado un buen trecho para establecer la necesidad del contexto y hemos cubierto quizá demasiado terreno. A pesar de todo, es importante tratar con estas ideas actuales porque de muchas formas, lo que nos proponemos es ir en sentido contrario de la nueva ortodoxia. Las ideas de los filósofos y los historiadores influyen en la manera en que los científicos interpretan su material. Como vimos en el capítulo previo cuando discutimos el trabajo de Stephen Jay Gould, la interpretación contemporánea de la evolución ha sido influenciada por los pensadores sociales como Comte, Spencer, Marx, etc. La advertencia de Gould de que la evolución no es el lugar para que los humanos nos ubiquemos en el mundo, o que si quisiéramos obtener un código moral, deberíamos buscar en cualquier otra parte, pero no en la evolución, está relacionada con las críticas culturales que expusimos arriba. Tanto Gould como las críticas culturales insisten en que no podemos encajar ningún descubrimiento científico en un contexto amplio. Dicho de otra forma, es una insistencia en el hecho

de que es imposible situar la evolución, la física de partículas o la cosmología dentro de algún contexto.

Al rechazar el colocar la evolución o la cosmología dentro de un contexto, los científicos han vuelto sus disciplinas una jerga, un argot que no tiene relevancia (por eso mucha gente rehúsa interesarse en los agujeros negros o en los descubrimientos de evidencias antropológicas en el sentido de que alguna vez compartimos el planeta con otros *Homo* a los que probablemente eliminamos, etc.). A pesar de todo, nosotros pensamos como el físico cuántico David Bohm, quien en su libro *La totalidad y el orden implicado* argumenta que no estamos en una era definida por una serie de “callejones sin salida” científicos, una época en la que todas las ciencias están atomizadas, sino que en vez de esto, nos encontramos en el umbral de una revolución científica, tan importante o más que la revolución galileana que nos condujo a la ciencia moderna. Y nuestra insistencia sobre un contexto proviene del hecho de que a menos que se contextualize cada rama de las ciencias, tal revolución será imposible. Por consiguiente, el grueso de este capítulo estará dedicado a ver cómo la evolución, que es la descripción histórica del surgimiento de la vida y de las especies, encaja en un mayor esquema, en un lienzo mayor, hablando de historia cósmica.

En su libro *The Fabric of Reality*, David Deutsch sostiene que la ciencia moderna se puede dividir en tres ramas principales. Cada una de estas ramas esta representada por una teoría que explica el mundo natural. Las primeras dos ramas son la física cuántica, que trata con el átomo y sus componentes, y la relatividad, que se ocupa del universo, su arquitectura y su historia. La tercera rama es la

evolución. En la tentativa de explicar cómo cada rama se relaciona con la otra, Deutsch hace una diferencia entre ciencias de “bajo nivel” y ciencias de “alto nivel”. Para Deutsch, las ciencias de alto nivel son las que tienen la habilidad de predecir resultados con precisión, y las de bajo nivel son aquéllas en las que la predicción de resultados es casi imposible. La única rama de la ciencia que tiene la capacidad de predecir resultados con una precisión casi infalible es la física cuántica. Los físicos cuánticos tratan principalmente con probabilidades y sus ecuaciones son las más exactas al describir el posible comportamiento de las partículas. En el siguiente capítulo nos ocuparemos en forma un poco más amplia de la física cuántica. Por ahora será suficiente dejar asentado que entre las ramas de la ciencia, la física cuántica es la más exacta, y su exactitud proviene del hecho de que es capaz de predecir con gran precisión el comportamiento de sus objetos.

Pero ¡ay!, de ninguna manera podemos decir lo mismo de la evolución. Por lo tanto, Deutsch etiqueta la evolución como una ciencia de bajo nivel. ¿Por qué lo hace así? ¿Por qué la evolución no es precisa aun cuando describe tan bien la historia de la vida en el planeta? La respuesta descansa en la propia historicidad de la evolución. El descubrimiento de Darwin, en otras palabras, es histórico; está basado en la observación de las transformaciones morfológicas que han tenido lugar a lo largo del tiempo y que solamente se confirmaron cuando los datos geológicos se analizaron contra los cálculos de Darwin, puesto que el proceso que él describió requiere que la Tierra sea mucho más antigua de lo que creían los científicos del siglo XIX. La evolución no puede entonces, por sí

misma, sin los recursos de la genética o la física, predecir un resultado, ni tampoco puede decirnos el futuro de nuestra o cualquier otra especie en el planeta: sólo puede describir resultados posibles. Pero estas predicciones son altamente falibles. La fuente de esta falibilidad es lo que los científicos llaman comportamiento caótico. Un elemento caótico es un término matemático que se refiere al número de variables inciertas dentro de un sistema. La física cuántica es exacta debido a que el número de variables con las que se calcula cada probabilidad es limitado y finito. Por otra parte, la biología evolucionista es falible porque la evolución de los sistemas orgánicos en este planeta está entrelazada con muchos otros factores. En otras palabras, la evolución podría predecir los cambios morfológicos dentro de una especie, siempre que ésta permaneciera por un largo periodo de tiempo en un ambiente estable y reteniendo ciertos hábitos de reproducción. Sin embargo, como todos sabemos no existe en el planeta ningún ambiente o nicho ecológico estable. Aun antes de que la Revolución Industrial y la explosión demográfica hicieran estragos en nuestros frágiles y finamente armonizados ecosistemas, las especies habían estado a merced de factores impredecibles como los cambios de clima y las enfermedades.

Para muchos, la falibilidad inherente a la biología evolucionista es prueba de que hasta ahora no hay una posible vía para unificar las tres ramas del conocimiento científico.

Para quienes así piensan, la falibilidad de la evolución, en otras palabras, es el motivo por el cual no se puede poner ésta (la evolución) en un contexto más amplio. De hecho, para la mayoría de los científicos, la tentativa de aplicar una perspectiva evolucionista a

cualquier otra cosa que no sea los sistemas orgánicos es absurda o imposible. Para ellos el mundo que el *quantum* y la relatividad describen es totalmente diferente, totalmente extraño al mundo que la evolución describe. Por lo tanto, cualquier mención de evolución fuera del reino de los seres vivos es solamente metafórica y forzada.

Parte del rechazo de los científicos para ver la evolución como descriptiva de otro mundo que no sea el que el orgánico origina, pensamos, es en primer lugar la falta de un contexto global para el universo, y también el vacío de perspectiva y analogías adecuadas. Muchas de las analogías que actualmente usamos para entender la evolución y la línea de tiempo que describe, son de naturaleza didáctica, y se deja de lado el uso de analogías y metáforas como lo hacen los poetas y que son una fuente de descubrimiento epistemológico. Por lo tanto, para empezar a colocar la evolución en una especie de contexto, debemos empezar por buscar una nueva analogía.

Como bien sabe todo estudiante y cualquier visitante de un museo de historia natural, el *Homo sapiens*, si bien tiene muchos años en el planeta, empequeñece cuando se le considera cronológicamente junto a la línea del tiempo de la evolución, y ese empequeñecimiento es más desalentador cuando se le coloca en un esquema del tiempo cósmico. Cuando los científicos tratan de comparar la edad del planeta con la de nuestra propia historia, la mayoría de las veces, tanto en libros de texto como en museos, usan la analogía del calendario anual. La analogía funciona como sigue: si la historia del planeta abarca un año, el momento en que el *Homo sapiens* apareció corresponde al último minuto del 31 de diciembre.

Mientras que esta analogía es de alguna manera precisa y muy útil para que visualicemos las vastas edades que precedieron a la aparición de la especie humana, en lo que falla, por supuesto, es en colocar la evolución dentro de un contexto más amplio. Para lograr esto, necesitamos de una metáfora completamente diferente, una metáfora que sea capaz de simular un proceso que se desenvuelve en el tiempo, pero el cual contiene a su vez diferentes tipos de tiempos o medidas.

Los poetas han intentado tales metáforas desde el inicio de nuestra historia literaria. Ovidio abrió su *Metamorfosis* con un extenso catálogo de las eras. El epígrafe del principio del capítulo, de alguna manera usa lo que pensamos es una mejor analogía. Si vamos a comparar toda la historia del universo, desde el principio hasta el presente, una mejor analogía debería involucrar nuestras cronologías, calendarios, relojes etc., sólo marginalmente. Y si los humanos tenemos una manera diferente de medir el tiempo que no sea a base de calendarios y relojes, un arte como la música, que depende del tiempo y trata con él, puede ser la mejor opción. En otras palabras, para visualizar la historia cósmica completa, uno debe imaginar una obra musical en una vasta escala. Al igual que el antropólogo Claude Levi-Strauss, quien al principio de su voluminosa obra sobre el mito, razona que los dramas musicales de Wagner parecen ser la analogía perfecta para mostrar el camino por el cual los mitos se desarrollan, nosotros pensamos que solamente trabajos a escala similar pueden ayudarnos a imaginar las vastas cantidades de tiempo con las cuales los científicos trabajan. Imaginemos entonces un trabajo a gran escala. Para nuestro propósito, afortunadamente no tenemos que

lidar con los dramas wagnerianos. En vez de esto, regresemos a Beethoven, con quien empezamos el libro y permítasenos ser más osados con nuestra analogía y olvidar el año cósmico que los científicos usan para ilustrar nuestro tardío arribo al universo.

Imaginemos entonces que la historia del universo, la historia total del cosmos está contenida en una de las últimas sonatas para piano del citado compositor. La sonata *Hammerklavier* puede servir de más apto ejemplo. Como los cuartetos con los que empezamos el libro, esta sonata es uno de los trabajos más atrevidos de Beethoven. Un trabajo a gran escala con más de mil compases de música, la sonata explora una variedad de formas musicales, incluyendo la sonata misma, el tema y la variación y una larga fuga que en la producción de Beethoven, sólo rivaliza con la Gran fuga de sus últimos cuartetos. Para quienes mil compases no signifiquen nada, entonces una aproximación para comprender cuan larga es la sonata, es recordar que a los pianistas les lleva alrededor de 44 minutos ejecutar la pieza. En ese lapso lo que tenemos es una transmutación de ideas. Esta transmutación, desde la enérgica apertura hasta el triste *adagio*, ocurre no sólo a través de desarrollos lineales o diacrónicos de la música, sino a través de sus aspectos sincrónicos: a saber, los “experimentos” armónicos que realizó Beethoven. En otras palabras, si vamos a usar la citada sonata como una metáfora para entender la historia y la evolución del universo, debemos considerar no sólo el impulso lineal que emprendió el universo rápidamente después del *big bang*, sino también esas “células sincrónicas” que le añadieron algo más. Permítasenos explicar. El eje diacrónico es aquel en el que las cosas se mueven hacia adelante pero en diferentes

tiempos o ritmos. Las cronologías y las genealogías son diacrónicas porque son lineales. El eje sincrónico es aquél en el cual no hay movimiento *per se*; en vez de esto, hay un instante en el que varias cosas suceden simultáneamente. En la música, si tenemos solamente un eje diacrónico, obtenemos ritmo y las bases de la melodía. En otras palabras, tendremos una forma rudimentaria de música. Lo que le da profundidad a ésta, lo que la hace una forma sofisticada de arte, es la armonía. Nuestro argumento es que, como en la música, en la historia del universo las cronologías sólo pueden ser entendidas y colocadas en un contexto, si vemos el escenario completo y la ocurrencia de los eventos sincrónicos. El *big bang* es, por supuesto, uno de estos eventos. Pero también lo son la formación de la materia y de los sistemas planetarios. ¿Qué ganamos viendo el escenario de esta forma? Una anécdota acerca de la sonata que hemos tratado podría ser suficiente para darnos cuenta. Cuando Ries –un alumno de Beethoven– estaba cerca de publicar la sonata en Londres, Beethoven le envió dos notas que debían ser insertadas en un compás abierto del *adagio*. La mayoría de nosotros hubiera reaccionado tal como hizo Ries. Con más de mil compases, con cuarenta o más minutos de música ¿qué diferencia harían realmente dos segundos o menos? Para cualquiera que posea la grabación de la sonata, la recomendación sería que experimentaran oyendo la grabación después de las dos notas y compararan. Pero como no todos poseen la grabación y quizá ni les interese tenerla, debemos persuadirlos de que esas dos notas hacen toda la diferencia. No solamente son las células sonoras básicas que establecen el tono y la dirección de todo el movimiento, sino que forman el eje emocional. Sí,

esos dos segundos resuenan en todo el movimiento. Podemos argumentar que el universo no es muy diferente. Las grandes cronologías son inevitables. Si existe una manera de darle sentido a estas cronologías, tenemos que mirar los eventos relativamente diminutos de la historia cósmica, y darnos cuenta de cómo estos también son el pivote de otros eventos mayores. Recordemos que la prehistoria de la materia, como la prehistoria del *adagio* de Beethoven es simple, no dos notas, sino dos elementos.

Para no trabajar sólo con metáforas y tratar de discutir la manera en la cual la historia del cosmos, la historia del universo, puede dar un contexto a la evolución y viceversa, es necesario adentrarnos en algunos detalles minuciosos del universo, dar un vistazo a lo que los científicos saben acerca de él. Hay dos maneras de hacer esto. La primera y más inevitable es tomar una aproximación histórica, para ver cuándo y cómo empezó su historia, cuándo y cómo se desarrolló y adónde y cómo llegará en el futuro. Por lo tanto, a esta aproximación la llamaremos histórica. Para entender tal universo debemos colocarnos en un línea temporal. Sin embargo, mientras que el universo ciertamente tiene una larga historia y ésta es más que relevante para nosotros, existe otra manera de entenderlo.

El cosmos, durante toda la historia humana en la que los filósofos y los científicos lo han podido observar, ha permanecido prácticamente sin cambio. Claro que sabemos de eventos violentos que han ocurrido dentro del universo: explosiones, desapariciones, transformaciones etc. Estos eventos en cuanto a los humanos concierne han sido imperceptibles, o si no imperceptibles, por lo

menos no han alterado significativamente la estructura del universo. En otras palabras, todos los cataclismos que han ocurrido a partir del arribo del hombre, han sido lo suficientemente pequeños, como para mantener intacta la estructura (o el tejido) del universo. Consecuentemente, la segunda manera de enfocar el universo es mirar su estructura. Lo que resta del capítulo lo dedicaremos a explorar someramente tanto la estructura como la historia del universo.

Antes de embarcarnos en la estructura del universo –y estamos usando aquí muy cautelosamente la palabra estructura– debemos hacer una aclaración. La mayoría de los no especialistas, cuando se les dice que van a leer sobre la estructura del universo, saben que se tratará acerca de estrellas, galaxias, pulsares, etc. Nosotros trataremos tales estructuras pero en un intento de ver cómo se insertan en la totalidad del cosmos. Sin embargo nuestro propósito no es taxonómico. Este libro, aun cuando pueda ser didáctico en algunos puntos, no pretende ser un libro de texto y tampoco pretendemos trabajar como naturalistas, que coleccionan plantas secas y pájaros disecados, sino que nos enfocaremos en las verosímiles explicaciones que los científicos nos ofrecen de tales fenómenos como estrellas, galaxias, pulsares, etc.

Existen varios problemas al tratar tanto con la historia como con la estructura del universo. El primero y más difícil de superar es que la mayoría de los conocimientos que tenemos del universo desafían el sentido común. Y no nos estamos refiriendo a los fenómenos que se encuentran dentro del universo, sino al universo en sí. Si las fuerzas gravitacionales en un hoyo negro –de los cuales

hablaremos después— parecen insondables e inimaginables, entonces no sólo el tamaño del universo sino su estructura y la manera por la cual los científicos han llegado a conocer esta estructura, es realmente para dejarnos pasmados. Otro problema más técnico cuando se discute la estructura del universo es que nuestro “mapa” de éste, el modelo matemático mediante el cual lo entendemos, no puede discutirse completamente sin contemplar el universo desde un punto de vista histórico. Este modelo matemático fue deducido en su mayor parte por Einstein y es lo que ahora conocemos como relatividad general. Antes de entrar en detalles de esta teoría es suficiente señalar que el entramado mediante el cual la relatividad general hace el mapa del universo es uno de cuatro dimensiones: así como la Tierra es tridimensional y ningún mapa bidimensional puede captar fielmente sus características, el universo no puede ser comprendido sin una cuarta dimensión. Por lo tanto, antes de ver cómo está formado el universo, necesitamos tener en mente que si aunque sea momentáneamente hablamos de estrellas o galaxias como si fueran tridimensionales, la estructura entera y el concepto completo de espacio sólo puede ser entendido en un entramado de cuatro dimensiones, donde al espacio se le adjudican sus tres dimensiones usuales y al tiempo se le considera como la cuarta: por lo tanto la relatividad general y los científicos posteriores a ella hablan de un espacio-tiempo.

Para aclarar esto, tomemos el ejemplo que propone Brian Greene en *The Elegant Universe*: cuando queremos encontrarnos con alguien, le decimos en qué “espacio” esperamos verlo. Para esto tenemos que proporcionarle tres piezas de información, por ejemplo

situarnos en el 9o. piso de un edificio que está en la esquina de la calle 3a. y la avenida 2a.; esto refleja una localización particular en las tres dimensiones espaciales del universo. Pero es igualmente importante especificar *cuándo* vamos a encontrarnos en ese espacio, por ejemplo a las 3 PM. Esta pieza de información nos indica dónde “en el tiempo” va a tener lugar nuestro encuentro. Los eventos por lo tanto están especificados por cuatro piezas de información: tres espaciales y una temporal.

¿Qué es el espacio-tiempo y qué nos dice acerca de la estructura del universo? La idea del espacio-tiempo surgió de un problema científico completamente práctico. Por miles de años, la mayoría de los estudiosos adoptó el mapa aristotélico del universo,² donde lo celestial, el espacio más allá de la Luna era gobernado por leyes diferentes al espacio más acá de la Luna. Este modelo comenzó a disolverse una vez que el modelo copernicano del universo fue adoptado. Sin embargo, nadie hasta Newton fue capaz de dar una respuesta que explicara y sintetizara la dicotomía. La explicación de Newton incluye tanto las leyes terrestres como las celestes.

Existen momentos particularmente intensos en la historia del pensamiento humano y algunas veces podemos ser testigos de ellos, aun cuando de forma idealizada, en los recuerdos autobiográficos de sus creadores. Stravinsky, por ejemplo, traía a la memoria que:

One day, when I was finishing the last pages of L'Oiseau de Feu in St. Petesburg, I had a fleeting vision which came to me as a complete surprise, my mind as the moment being full of other things. I saw in my imagination a

*solemn pagan rite: sage elders, seated in a circle, watched a young girl dance herself to death. They were sacrificing her to propitiate the god of spring.*³

La explicación de Stravinsky, aun cuando aparentemente inocua, rastrea, por supuesto, el germen de una de las obras maestras de la música, *La consagración de la primavera*. Sentimos que esto tiene mucho significado, no solamente porque *La consagración de la primavera* es una obra maestra, sino porque fue un parteaguas en la historia de la música, una pieza que transformó la música occidental, su lenguaje armónico y melódico, así como su rítmica. Hemos citado a Stravinsky para tener un sentido de la proporción. En las crónicas de sus momentos inspirados, Newton, literal y metafóricamente alcanza la estratosfera:

*In those days I was in the prime of my age for invention & minded Mathematics and Philosophy more than any time since...I began to think of gravity extending to the orb of the moon &... from Kepler's rule of the periodical times of the Planets being in sesquilateral proportion of their distances from the center of their Orbs, I deduced that the forces which keep the planets in their Orbs must be reciprocally as the squares of their distances from the centers about which they revolve: & thereby compared the force requisite to keep the Moon in her Orb with the force of gravity at the surface of the earth, and found them answer pretty neatly.*⁴

Lo que la teoría de Newton finalmente logró en su tiempo fue proveer una explicación del comportamiento de las cosas

terrestres y celestes. Nosotros tocaremos sólo muy brevemente la física Newtoniana.

Las hazañas de Newton sólo marcaron el camino de la física moderna: sus “fallas”, los huecos y las paradojas que su sistema dejó abiertas y sin responder, fueron el trampolín desde el cual Einstein y otros científicos empezaron.

Algunas de las afirmaciones de Newton son muy de sentido común y parece excesivo repetirlos aquí. Sin embargo, puesto que veremos que Einstein, aparentemente no es tan apegado al sentido común, vale la pena dar otra mirada.

La primera ley de Newton involucra el movimiento de los cuerpos. Antes de Newton, la mayoría de los científicos tenía que atenerse al concepto aristotélico de que la dinámica de los cuerpos dependía de su composición elemental: así el agua se regía por una ley diferente que el fuego. En la mecánica newtoniana, los objetos se describen por una sola variable, su masa (hay que notar que pese al hecho de que Einstein sobrepasará la mecánica newtoniana, su teoría de la relatividad y su mas famosa fórmula incluirán este término newtoniano).

La primera ley de Newton sostiene que “todo cuerpo mantiene su estado de reposo, o de movimiento uniforme en línea recta, a menos que se le imponga un cambio de estado”.⁵ Mientras que esta última afirmación parece trivial y obvia, sus implicaciones son grandes, ya que lo que sea que obligue a un objeto dado a moverse es catalogado y visto por las matemáticas newtonianas como una fuerza. Cuando una fuerza obliga a una masa a moverse,

el cambio puede ser registrado como una aceleración. De aquí, la segunda ley de Newton:

La fuerza es igual a la masa por la aceleración $F=ma$

Como quiera que sea, la aplicación de una fuerza tiene un precio. Consecuentemente, la tercera ley de Newton establece que “a cada acción siempre se opone una reacción igual”.⁶ Reiterando, estas tres leyes nos parecen bastante apegadas al sentido común. Lo que denota el genio de Newton es que las haya aplicado a la dinámica completa del sistema solar conocido. De acuerdo con la primera ley, los planetas no deberían orbitar al Sol sino moverse en una línea recta, es decir “conservar su movimiento uniforme”. Puesto que esto no es así, debía existir una fuerza responsable de curvar su trayectoria. Finalmente Newton demostró que la gravedad era la que originaba tal fuerza y justificaba la ley de Kepler sobre el movimiento planetario.

Newton proveyó un bello modelo matemático del movimiento planetario. Sin embargo, no explicó la gravitación misma. Sus *Principia* no contienen una explicación causal para la gravedad. Más aun, Newton admitió que “la causa de la gravedad era algo que él no pretendía conocer”.⁷ Esta “grieta” en el universo de Newton, por decirlo de alguna manera, sería la fuente de la física de Einstein. Aunque a primera vista no lo parece, éste no es un problema pequeño. En realidad, el no saber la causa de la gravedad, significó para Newton el no poder explicar cómo la gravedad se conducía, para hacerse sentir, a través de vastos espacios sin ningún contacto.

Para subsanar este problema, los seguidores de Newton propusieron que el espacio estaba lleno de una sustancia invisible llamada *éter*, que era, así, una especie de transmisor.

No vamos a tratar los intrincados argumentos mediante los cuales varios científicos postularon la existencia del *éter*. Baste decir que Einstein, entre otros, fue capaz de eliminar el concepto proporcionando una ecuación más elegante para explicar el movimiento planetario. La línea de acción de Einstein no es fácil. De hecho, en él tenemos, si no la más grande, una de las mentes más brillantes, no solo del siglo XX, sino de todos los tiempos. Más aún, el camino mediante el cual fue capaz de proveernos con un mapa del universo, es largo y, a diferencia de la mecánica de Newton, con frecuencia desafía el sentido común. Para comenzar, entendiendo cómo Einstein fue capaz de deshacerse del *éter* como un componente necesario para explicar la acción a distancia o incluso para explicar la manera en que la luz viaja a través del vasto espacio, y finalmente, para entender el tipo de mapa que Einstein nos legó, es necesario retroceder un poco, porque antes de que resolviera el problema del origen de la gravedad en la teoría de la relatividad general, él pudo explicar la ausencia del *éter* en su teoría de la relatividad especial. Esta teoría no proviene de un problema cosmológico, si bien explica el comportamiento de las estrellas y de la materia en general, en cualquier parte.

Einstein llegó a la teoría de la relatividad especial tratando de resolver dos problemas que surgían de la teoría del campo electromagnético de Maxwell y Faraday, cuando éste se considera en un espacio newtoniano absoluto. Un campo es un dominio o

ambiente donde la acción de una fuerza actual o potencial puede ser descrita matemáticamente en cada punto del espacio-tiempo mediante un grupo de números, que proporcionan en ese punto la intensidad y dirección de la fuerza apropiada. (Así, para describir el valor del campo electromagnético en cualquier punto del espacio tridimensional, se necesita un grupo de ocho números –uno para describir la intensidad de la componente eléctrica y tres para especificar su dirección, más otro grupo similar para describir la intensidad y dirección de la componente magnética). En otras palabras, un campo explica como actúa una fuerza sobre una masa, por medio de ecuaciones diferenciales. Con las ecuaciones, la presencia del éter es innecesaria, puesto que ningún elemento se necesita para que la aguja de un compás –la más obvia manifestación de un campo electromagnético– se mueva. En lugar de esto, la interacción de fuerzas y masas están explicadas como entidades matemáticas. En otras palabras, tal como las ecuaciones de Newton explican la inercia, las de Maxwell explican cómo una fuerza puede actuar a distancia. De hecho, Einstein pudo llamar a las fórmulas de Maxwell “revolucionarias”, porque “es el cambio de la acción de fuerzas a distancia, por campos como variables fundamentales”.⁸

La teoría del campo, en lugar de resolver completamente las “grietas” en la teoría de Newton, solamente las exacerbó. En el mundo de Newton, la posición, la velocidad y la aceleración son absolutas, por lo que Einstein inventó un experimento mental –como en general hizo– en el que se preguntaba qué observaría si viajara a la velocidad de la luz. Un newtoniano contestaría que vería “un haz

de luz como un campo electromagnético espacial oscilatorio en reposo”.⁹ Sin embargo, Einstein sostuvo que “no parece haber tal cosa, con base en la experiencia ni de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell”.¹⁰ Einstein resolvió esta paradoja por la vía de Ernst Mach, destacado filósofo de la ciencia y matemático de su tiempo. Como Leibniz y Huygens antes que él, que criticaron el espacio absoluto de Newton, Mach lo pensó como “una obscuridad metafísica”. Para Mach, el espacio no era absoluto, sino que “todas las masas y velocidades, y en consecuencia todas las fuerzas, son relativas”.¹¹ Mach fue una inspiración para Einstein, pero el sistema de Mach o su criterio no encajaban completamente en la relatividad especial. Einstein resolvió la paradoja y concluyó que uno no puede desplazarse a la velocidad de la luz, y que la velocidad de la luz es la misma para todos los observadores sin importar su movimiento relativo. Las implicaciones de la relatividad especial son trascendentales y requieren un poco más de explicación. En este punto Einstein todavía no está tratando con la gravedad sino con la luz. Empero, esto es importante para nosotros porque la teoría de la relatividad general mediante la cual hacemos el mapa del universo, contiene los conceptos en los que Einstein se apoyó para crear una explicación de la gravitación que se equiparara con los resultados de la teoría de la relatividad especial.

Lo que tuvo de revolucionario la relatividad especial, fue que se deshizo de un marco inmóvil de referencia donde las medidas se hacían con respecto a un tiempo y a un espacio absolutos, para remplazar esta norma con la luz. La luz es el único sistema absoluto de medición. La relatividad especial reemplaza el espacio absoluto

con un entramado de haces de luz. Existen otras consecuencias que se desprenden del experimento mental donde están involucrados unos viajeros imaginarios. Permítasenos por un momento regresar a Newton y recordar que cuando un objeto es puesto en movimiento, una fuerza es responsable de ello. En otras palabras, para que un objeto sea acelerado, otro objeto tiene que perder energía. La energía que la fuerza pierde es ganada por el objeto en movimiento. Así, imaginemos ahora el escenario común que la relatividad especial propone, e imaginemos una nave espacial que se acelera a una velocidad cercana a la de la luz. Puesto que la aceleración impone un intercambio de energía; puesto que, en otras palabras, las masas del astronauta y su nave se volverán plásticas, se podrán dilatar y encojer y se incrementarán, mientras que el tiempo transcurre más lentamente. Aquí es donde dejamos el universo “lógico” de Newton y nos adentramos en el “absurdo” de Einstein, si bien sabemos que este último es más exacto. Lo que revela finalmente el experimento mental, el último resultado del escenario de Einstein, viene dado por la conclusión de que si la masa de un objeto absorbe energía, entonces la masa decrece cuando el objeto radia energía. Con esta conclusión, Einstein fue capaz de mover el electromagnetismo de Maxwell, del laboratorio al universo entero, puesto que toda la materia, estrellas y planetas, automóviles y las páginas de este libro, está gobernada por la misma ley. La masa y la energía son entonces intercambiables. A partir del descubrimiento de este hecho, Einstein consideró la equivalencia de la masa con la energía:

$$m = \underline{E}$$

$$c^2$$

En esta ecuación m es la masa del objeto, E es la energía contenida y c es la velocidad de la luz que está elevada al cuadrado, es decir multiplicada por sí misma. Otra vez, la constante contra la que se miden las cosas, sean masa o energía, es la velocidad de la luz. En su forma más famosa la fórmula no está expresada en función de la masa, sino de la energía

$$E = mc^2$$

Cualquiera que sea la manera en la que se lea la fórmula, la conclusión es la misma: para Einstein, la materia es energía congelada. Esta intuición, como bien sabemos, produjo trágicas consecuencias históricas y ecológicas en su aplicación práctica. Y tendrá tremendas ramificaciones cuando abordemos, no la estructura, sino la historia del universo.

Pero antes, vamos a echar una mirada al siguiente gran descubrimiento de Einstein. Como ya dijimos, la relatividad especial trata con la energía, la masa y la luz. Sintetiza las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell, viéndolo como el sistema de permuta mediante el cual se intercambian la masa y la energía.

Lo que no trató fue la gravitación. Otra vez, Einstein diseñó la teoría de la relatividad general para crear una explicación de la gravitación acorde con la teoría de la relatividad especial, y en aquella postuló el principio de equivalencia entre la aceleración y la gravedad. Veamos un ejemplo:

Imaginemos un carrito de servicio de un avión en tierra donde la tripulación lo prepara y supongamos que tienen que empujarlo. En estos momentos, quienes lo empujan están sintiendo la masa inercial, pero si tratan de levantar el carro entonces sienten la masa gravitacional. En otras palabras, la masa inercial es una propiedad de los objetos. La masa gravitacional se siente sólo cuando hay una fuerza gravitacional. Ahora imaginemos un escenario angustiante. Una vez que el avión despegue, encuentra turbulencias y mientras que la tripulación está sirviendo los alimentos, el avión se desploma en una bolsa de aire; el carro de servicio mantendrá su masa inercial. En realidad, si la caída es lo suficientemente pronunciada el angustiado pasajero se sentirá sin peso y probablemente verá el carro salir volando hacia alguien.

El experimento anterior no es muy diferente del que Einstein realizó cuando propuso la teoría de la relatividad general. El fenómeno que condujo a Einstein a su visión tiene que ver con el hecho de que la masa gravitacional de un objeto y su masa inercial, son en realidad la misma. Esta visión de Einstein le llegó en 1907, y aun cuando hemos leído recuerdos del creativo invento, leamos la versión del propio Einstein:

*I was sitting in a chair at the patent office at Bern, when all of a sudden a thought occurred to me: "If a person falls freely, he will not feel his weight". I was startled. This simple thought made a deep impression on me. It impelled me to the theory of gravitation.*¹²

Así como la persona del experimento mental de Einstein se siente carente de peso, el carro de servicio en el avión, en el ejemplo anterior, cuando éste se precipita, también carece de peso porque el avión está en una caída libre.

¿Qué importancia tiene el significado de todo esto? Imaginemos una nave espacial que se mantiene en órbita debido al campo gravitacional de la Tierra. El astronauta deja de sentir su peso, pero no porque la nave vaya cayendo. Si selláramos las ventanas y le pidiéramos que respondiera si va viajando hacia el espacio o cayendo hacia la Tierra, no podría hacerlo. Ninguna experiencia sensorial puede indicarle la diferencia. Ahora, imaginemos un experimento en sentido contrario: con las ventanas aún cerradas la nave se desploma hacia la Tierra, ésta la atrae con una fuerza igual a la de la gravitación terrestre, es decir G . Si en lugar de tener a la nave cayendo, se encendiera la máquina y se acelerara a $1 G$, el astronauta sería incapaz de saber en qué dirección viaja o si va cayendo, no sentiría la diferencia, sentiría exactamente lo mismo. Por esto, Einstein concluyó finalmente que si los efectos de la gravitación eran similares a los de la aceleración, entonces la gravitación era una forma de aceleración. De cualquier modo, la cuestión es con respecto a qué marco de referencia se considera la aceleración, pues como vimos con el experimento hipotético del astronauta y su incapacidad de diferenciar entre la aceleración y la gravedad, el campo gravitacional es relativo.

La solución a este asunto requirió un cambio de paradigma, y es este cambio el que finalmente nos conduce a lo que hemos

llamado nuestro mapa del cosmos. La razón por la cual la respuesta de Einstein constituye uno de los grandes cambios de paradigma en la historia, es porque abandonó la geometría euclidiana que trata con dos y tres dimensiones y adoptó una geometría de cuatro dimensiones. Esta geometría tetradimensional de Einstein le adjudica al usual espacio de tres dimensiones –alto, ancho y largo– una dimensión más, el tiempo. La formulación de Einstein fue el verdadero *requiem* al espacio absoluto de Newton. Ya no hay un espacio sino un *continuum* espacio-tiempo.

Dentro de este marco, Einstein fue capaz de contestar lo que Newton nunca pudo. ¿Qué es la gravedad y de dónde proviene? La gravedad es la aceleración de los objetos que se desplazan siguiendo las trayectorias de campo en un espacio tridimensional que se curva en la cuarta dimensión. En otras palabras, la teoría de Einstein se aleja de la gravedad *per se* y nos dice que la materia curva el espacio, y lo que llamamos gravitación es la aceleración de los objetos cuando se deslizan a lo largo de las curvas descritas por sus trayectorias en el tiempo.

La cuarta dimensión es algo que aun confunde a algunos científicos y más a los no iniciados. El resultado parece más que ligeramente extraño. A pesar de todo, la teoría ha probado ser correcta una y otra vez. La primera evidencia de lo correcto de la teoría llegó cuando Eddington observó cómo la luz se desviaba al pasar cerca del Sol durante un eclipse solar en 1919. Lo que esta desviación de la luz probó es que el espacio se curva alrededor de los objetos masivos. De acuerdo con Einstein, la luz viaja en línea recta, lo que se curva es el espacio. En otras palabras, lo que la

relatividad general prueba, es que la gravedad, que usualmente concebimos como una fuerza, puede ser entendida como un efecto de la hiperdimensionalidad fuera de la experiencia normal, del mundo tridimensional.

La relatividad general no solamente se desembaraza del problema de la procedencia de las formulaciones de Newton, sino que nos provee de un mapa actual del universo mediante sus predicciones. En su estructura, la relatividad general, ve al universo como un espacio curvo. La cuestión de si el universo es hiperbólico y abierto o esférico y cerrado está aún por resolverse. De cualquier manera, en este espacio curvo, una de las cosas que observamos es que el universo es isotrópico y homogéneo. El que sea isotrópico significa que hacia donde veamos, lo que veremos será siempre lo mismo. Este es un efecto similar al de caminar en medio del desierto. El que sea homogéneo, significa que aun cuando la materia está agrupada en nebulosas, galaxias, etc., la composición global del universo es prácticamente la misma si tomamos una porción suficientemente grande.

La relatividad general explica lo anterior por medio de la curvatura. Sin embargo, su más importante predicción fue una con la que el mismo Einstein no se sentía comfortable. Y esta primera y más importante predicción, desde un punto de vista cosmológico, fue que el universo se está expandiendo. Einstein estaba consciente de esta predicción de la teoría, y para compensar este efecto introdujo la idea de una “constante cosmológica” en un intento de hacerla compatible con los hechos de la observación. Nadie había probado

que el universo se estuviera expandiendo. Como Einstein escribió en 1917:

*Had to introduce an extension of the field equations of gravitation which is not justified by our actual knowledge of gravitation... That term is necessary only for the purpose of making possible a quasi-static distribution of matter, as required by the fact of the small velocities of stars.*¹³

Más tarde Einstein llamó a la “constante cosmológica” el más grande error de su carrera. Esto fue bastante extraño, como veremos más adelante, porque los cosmólogos, que no se explican cómo el universo se aceleró en sus inicios, han revivido el concepto al menos teóricamente. Einstein, a pesar de su oposición a un universo en expansión, finalmente tuvo la evidencia cuando Edwin Hubble, bastante ignorante de lo que había descubierto, le mostró la prueba de un desplazamiento de las líneas espectrales hacia el extremo rojo. En otras palabras, Hubble descubrió, mediante el efecto Doppler, que las estrellas se estaban alejando del Sol.

Hay dos consecuencias debidas a la expansión del universo. La primera es que si el universo se ha estado expandiendo, debe haber un lugar donde la expansión se inició. Georges Lemaître, un sacerdote y matemático Belga, fue el único científico en señalar lo anterior. Lo que Lemaître vio fue que si el universo se estaba expandiendo, era posible imaginar que en el pasado el espacio era más denso y convergía en un mismo eje. En realidad, Lemaître propuso que el universo había empezado en un punto infinitamente pequeño, una “singularidad”, “un día sin ayer”.¹⁴ Para decirlo

brevemente, puesto que la relatividad general sostiene que el espacio no es solamente espacio, sino espacio-tiempo, y predice que el universo se está expandiendo, entonces para imaginar al universo en sus principios debemos imaginar un punto sin tiempo. Lemaître nunca llevó esta idea a su conclusión. No obstante, al irse desarrollando, el *big bang* abrió las puertas de la cosmología a los físicos nucleares.

La relatividad general no para en deducir el origen del universo. De hecho, una de sus predicciones involucra también su destino.

En su intento de “organizar” el universo, la relatividad general sostiene que, puesto que la materia curva el espacio, la densidad de la materia determinará el destino del universo. Los científicos se refieren a esta densidad como omega. Si el valor de omega es mayor que 1, esto significa que el universo es relativamente denso y las fuerzas gravitacionales lo obligaran a colapsarse dentro de sí mismo. Si omega es menor que 1, el universo continuará expandiéndose. Todavía se desconoce el valor de omega, y aun pensando que discutiremos esto más adelante, lo que es importante aquí, es darnos cuenta de que la teoría de la relatividad no solamente le da forma al universo, sino que predice que no es estático y absoluto, sino un *continuum* en expansión.

Pocos se adentraron a las consecuencias de ver al universo de tal manera, hasta que George Gamow, un emigrante ruso a Estados Unidos, empezó a especular con el estado de la materia en un universo muy denso y muy pequeño. Lemaître ya había discutido que el universo había empezado en una explosión de energía y

materia. No obstante, Gamow se planteaba que si el universo temprano era tan denso, la posibilidad de que existiera en él materia como la conocemos era nula. En tales condiciones, el núcleo atómico está demasiado caliente para fusionarse en los elementos que conocemos.

Fue Gamow quien predijo la radiación cósmica de fondo, aunque su contribución más importante fue su idea de que si el universo se expandió a partir de un plasma denso y caliente, debería irse enfriando a medida que se expandía, permitiendo la formación de la materia en el estado en el que nos es familiar. Este modo de ver las cosas es lo que nos permite colocar la evolución humana en un contexto cósmico, pues lo que Gamow vió fue que el universo seguía un proceso evolutivo similar. En realidad, sabemos ahora que en el universo temprano, el universo a los 3 minutos y 42 segundos de su inicio, se formaron principalmente elementos ligeros, cerca de 20% de helio y 80% de hidrógeno. Y no fue sino hasta que la materia se “congeló” y se agrupó en estrellas y galaxias, que los elementos más pesados empezaron a formarse. En otras palabras, la tabla periódica de los elementos es un registro del desarrollo evolutivo.

Hay científicos que rehúsan aceptar este modelo y afirman, al igual que lo hace Stephen Jay Gould con la evolución orgánica, que el universo y su historia no se pueden entender por medio de un esquema evolucionista.

En los siguientes capítulos veremos al universo como un *continuum* y trataremos de mostrar la evidencia que existe de un proceso evolutivo. Para hacer esto, requerimos dar una ojeada a la materia, puesto que sus elementos serán la fuente de nuestra

especulación. Y para echar un vistazo a la materia, necesitamos entender la otra rama de la física: el *quantum* o física cuántica, y lo que el *quantum* tiene que decir acerca del universo primitivo.

¹ El panóptico fue un diseño arquitectónico de prisión en el que desde una posición central se podían observar las celdas que están colocadas en forma poligonal a su alrededor.

² Aun cuando en Alejandría ya había un modelo heliocéntrico de Aristarco de Samos.

³ Igor Stravinsky, *Chronicle of My Life*, Londres, Victor Gollancz, 1936.

⁴ Herbert Westfall, *Never at Rest: A biography of Isaac Newton*, Londres, Cambridge University Press, 1980.

⁵ Isaac Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and His Systems of the World*, Berkeley, University of California Press, 1934.

⁶ *Ibid.*

⁷ A. Bernard Cohen, *The Newtonian Revolution*, Londres, Cambridge University Press, 1983.

⁸ Paul Arthur Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher Scientist*, La Salle, IL, Open Court, 1969, p. 33.

⁹ *Ibid.*, p. 54.

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ Ernst Mach, *The Science of Mechanics*, 6a. ed., La Salle, IL, Open Court, 1960, p. 279.

¹² Abraham Pais, *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein*, Londres, Oxford University Press, 1982, p. 179.

¹³ Albert Einstein, *The Principle of Relativity*, Nueva York, Dover, 1952, p. 188.

¹⁴ A. Berger (ed.), *The "big bang" and Georges Lemaitre*, Dordrecht, Reidel, 1985, p. 373.