

LA EVOLUCIÓN CÓSMICA: UN MODELO

It is interesting to contemplate an entangled bank, clothed with many plants of many kinds, with birds singing on the bushes, with various insects flitting about and with worms crawling through the damp earth, and to reflect that these elaborately constructed forms, so different from each other, and dependent on each other in so complex a manner, have all been produced by laws acting around us. These laws, taken in the largest sense, being Growth with Reproduction; Inheritance, which is almost implied with Reproduction; Variability from the indirect and direct action of external conditions of life, and from use and disuse; a Ratio of Increase so high as to lead to a Struggle for Life, and as a consequence to Natural Selection, entailing Divergence of Character and the Extinction of less-improved forms. Thus, from the war of nature, from famine and death, the most exalted object which we are capable of conceiving, namely, the production of higher animals, directly follows. There is grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.

“Es interesante contemplar un enmarañado ribazo cubierto por muchas plantas de varias clases, con aves

que cantan en los arbustos, con diferentes insectos que revolotean y con gusanos que se arrastran entre la tierra húmeda, y reflexionar que estas formas, primorosamente construidas, tan diferentes entre sí, y que dependen mutuamente de modos tan complejos, han sido producidas por leyes que obran a nuestro alrededor. Estas leyes, tomadas en un sentido más amplio, son: la de *crecimiento con reproducción*; la de *herencia*, que casi está implícita en la de reproducción; la de *variación* por la acción directa e indirecta de las condiciones de vida y por el uso y desuso; una *razón del aumento*, tan elevada, tan grande, que conduce a una *lucha por la vida*, y como consecuencia a la *selección natural*, que determina la *divergencia de caracteres* y la *extinción* de las formas menos perfeccionadas. Así, la cosa más elevada que somos capaces de concebir, o sea, la producción de los animales superiores, resulta directamente de la guerra, del hambre y de la muerte. Hay grandiosidad en esta concepción de que la vida, con sus diferentes fuerzas, ha sido alentada en un corto número de formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un principio tan sencillo, infinidad de formas las más bellas y maravillosas.”

Hemos transcrito en su totalidad el último párrafo de *El origen de las especies* de Darwin,¹ porque no sólo contiene,

para decirlo brevemente, la estructura desnuda de la teoría de la evolución, señalando los principios de la herencia y la variación, así como el eje de la teoría de la selección natural, sino porque, viniendo del hombre que planteó la teoría de la evolución, es una de las pocas instancias, donde usa la palabra desarrollando (*evolved*, en inglés) en un contexto extraño. La palabra llega en el mero final del libro. De hecho, es la última palabra en la versión original del libro, y Darwin no la usó como nombre, sino como participio pasado (*evolved*) en una construcción verbal, no sólo para hacer valer, con destreza y de manera menos polémica, que este proceso había sucedido, sino también para implicar que seguía sucediendo. Es muy sorprendente que a la vez que Darwin utiliza el término, su tono es el más reverencial. Menciona los “objetos exaltados” y “la grandiosidad” (*grandeur*). Pero más que reverencial, el párrafo ha sido siempre perturbador. Allí hay más que ambigüedad, hay también mucho más que simple reverencia de parte de Darwin. Pero para empezar con lo último, analicemos que es lo que con esa frase explicativa que empieza con “mientras” y termina con “gravitación”, trata de lograr. Como dando la vuelta, Darwin se las arregla para colocar su teoría y colocarse a sí mismo, codo a codo con la teoría de la gravitación, y es que está consciente de la importancia de su trabajo. De manera bastante discreta se las ingenia para recordarnos lo que constituía la revolución científica más influyente anterior a la evolución.

Sin embargo, la frase no sólo introduce o eleva la teoría de la evolución al mismo nivel que el descubrimiento de Newton. Darwin está incierto de la cantidad de tiempo que la evolución requiere para actuar, pero sabe que necesita mucho. Así que para recordarnos el cosmos newtoniano, ese verdadero símbolo de la exactitud, él evoca una especie de línea del tiempo, un tipo de cronología que encaja en el proceso de la evolución. Sin embargo, hay algo más perturbador. Durante todo el libro, Darwin ha estado tratando con la herencia, con la variación, con la lucha por la vida y con la selección natural, ha estado dando ejemplos tomados de criadores y de trabajadores del campo. Para decirlo de otra manera, él ha estado con los ojos fijos en lo pequeño, pájaros, gusanos y toda la diminuta red de formas del planeta. ¿Entonces por qué una vez que ha explicado la teoría, una vez que está configurada, olvidarse del mundo terrestre que tan bien exploró y enfocarse en las estrellas? Nunca tendremos una respuesta precisa a esto. Pero podemos conjeturar. Teniendo el bosquejo de una historia que es inconcebiblemente larga, teniendo trazado el proceso que tomó miles de millones de años para desarrollarse y que, supuestamente, tomará otros tantos para concluir, debió estar consciente, pensamos, de que nuestra historia, la historia de la evolución, tenía que ser sólo un fragmento de un proceso más largo. Él debe haber creído que la evolución no era un proceso relegado sólo a la Tierra, pero lo puso en un contexto terrestre, un planeta que gira en el vasto espacio y, haciendo esto, puso

al espacio en el mismo *continuum* evolutivo. Entretejió, en otras palabras, la evolución como pudo ser trazada en este planeta, con las viejas leyendas de la evolución cósmica.

El Darwin en su modo más elevado, más perturbador y especulativo, no es el Darwin que a los científicos realmente les gusta, ellos prefieren al Darwin compilador como científico naturalista, apuntando observación tras observación en sus trabajos de campo. Ambos Darwin son reconciliables, y mediante su trabajo de campo, bien pudo no haber llegado a la teoría de la evolución si no hubiera sido un escritor perturbador y especulativo. La pregunta que surgiría hoy día, por supuesto, es: ¿estaba Darwin en lo correcto?

Por lo pronto, debemos retomar, desde donde lo dejamos, el proceso del rompimiento de la simetría que tuvo lugar durante el *big bang* y ver cómo los científicos la han interpretado y cómo podrían interpretarla si sólo cambiaran los paradigmas que usan. Podemos, por supuesto, razonar que sí, que Darwin estaba en lo correcto y que no fue mera arrogancia colocar su teoría al lado de la teoría que había sido la más eficiente y congruente para explicar el cosmos.

El rompimiento de la simetría que discutimos en el capítulo previo ha sido interpretada por algunos filósofos y los divulgadores de la ciencia, así como por muchos científicos, como la prueba de que el universo es el trabajo de la casualidad y de lo hecho al azar, prueba, brevemente, de que no sólo el universo, sino nuestra misma vida es el resultado de un “cara o cruz” que irrumpió alegremente de una fluctuación

cuántica. La razón de esta creencia se desprende en muchas maneras, del hecho de observar únicamente en el contexto de la física de partículas, de ver solamente a través de la lupa de la teoría de las supercuerdas, de creer que el proceso del rompimiento de la simetría es solamente un fenómeno con una cadena de causalidad anterior, pero sin ninguna consecuencia. Las palabras operativas aquí, son por supuesto, causalidad y consecuencia. Cualquier actividad en este universo inicia una cadena de causalidad. Somos parte de los resultados de la cadena de causalidad. Los embotellamientos del tráfico que padecen los habitantes de las grandes ciudades casi diariamente son un buen ejemplo de lo que una cadena de causalidad es. Para explicarla, tenemos que remitirnos a los planificadores de la ciudad y al porqué de sus decisiones, así como a las decisiones que los malos conductores toman. El hecho de que uno termine medio estacionado por varias horas, en muchas ocasiones está causado, entre otras, por las decisiones de los urbanistas y de los malos conductores. Para la mayoría, estos embotellamientos son sólo rutina, parte de la vida diaria y difícilmente una consecuencia de ella. Enfurecidos mientras estamos atrapados en ellos, rabiando porque llegamos tarde a casa desde el trabajo, el asunto es olvidado rápidamente al reasumir nuestras diarias actividades. Sin embargo, la naturaleza “molesta pero inocua” de los embotellamientos, siempre ha tenido el potencial de llegar a ser no solamente molesta, sino nociva. Imaginemos por ejemplo, que un mal

conductor choca provocando que se cierren dos carriles de la calzada y llevando el tráfico a una paralización el día que vamos a cerrar un importante negocio o a una entrevista de trabajo. No solamente podríamos llegar tarde, podríamos no llegar. Los embotellamientos del tráfico, desde este escenario, provocan una consecuencia. En otras palabras, algo de importancia ocurre o deja de ocurrir por ello.

La mayoría de la gente está consciente de este señalamiento. Después de todo, los embotellamientos son parte de nuestra diaria experiencia, y para prevenir que la causalidad se vuelva consecuencia, a menudo consideramos el tráfico cuando planeamos. Sin embargo, cuando esto se traduce a datos científicos, es más difícil valorar si una pieza de información como el fenómeno del rompimiento de la simetría, que ocurrió durante el *big bang*, sólo desencadenó una cadena de causalidad o si tuvo consecuencias. Parte del problema tiene que ver con la tendencia casi innata de los científicos a evadir la generalización y el pensamiento determinista. Si uno le explicara el proceso de rompimiento de la simetría a mucha gente, y después les mostrara cómo sin él, ni el planeta ni nosotros estaríamos aquí, la mayoría de esa gente estaría de acuerdo en que el proceso de rompimiento de la simetría tuvo tremendas consecuencias. Para los científicos, el enmarcarnos en el argumento cae en el antropocentrismo, y ellos creen que fue el antropocentrismo lo que en el pasado impidió el progreso científico. En parte tienen razón y en parte están equivocados. Están muy equivocados cuando sostienen

que el proceso de rompimiento de la simetría fue un accidente que desató una cadena de causalidad. El azar y el accidente siempre tienen un rol en las cosas, su presencia es innegable y bastante evidente en nuestro diario existir. Así que nadie puede negar el hecho de que muchas cosas en este mundo no sólo están sujetas al azar, sino que le deben su existencia. A pesar de todo, el pasar de concederle un papel importante al azar en el universo, a sostener que porque ciertos aspectos de la creación puedan deberse al azar, el universo entero es aleatorio, es un paso en falso, lógico y epistemológico. Como el antropocentrismo al que tanto temen, los científicos privilegian un elemento sobre el otro y se ciegan a una visión más amplia.

Así que ¿cómo vamos a imaginarnos o a valorar las consecuencias de una acción o evento como el proceso del rompimiento de la simetría? De la misma manera que vemos consecuencias en los embotellamientos del tráfico cuando los filtramos a través de la perspectiva de una entrevista o un negocio perdidos. Los filtramos, los ponemos en perspectiva, ¿y qué perspectiva nos revelará las consecuencias de tal accidente? Todas las ramas de la ciencia consideran la indeterminación y el accidente, puesto que su papel es predecir. Sólo la evolución los ha sistematizado, los ha entendido e integrado. Para los cosmólogos y los físicos de partículas, los eventos anormales, el accidente y los saltos cuánticos son solamente interesantes en tanto revelan un sistema y un orden interno, una recurrencia. Para que la

evolución funcione como una sostenible teoría científica, los biólogos evolucionistas necesitan de lo anormal, del accidente, o para usar los propios términos de Darwin, de lo monstruoso.

Así, el sostener que el universo está sujeto a las leyes de la evolución, es anatema para muchos científicos. De hecho, el pretender dar a la evolución un campo de aplicación más amplio que el biológico, es visto inmediatamente como pretender volver a un positivismo científico del siglo XIX. Los cosmólogos encuentran la evolución un poco más comfortable, menos inquietante a su modo de pensar, en miles de millones de años de historia cósmica, como un deslizarse hacia el fondo de un basurero entrópico, en lugar de imaginarse a los planetas, las estrellas, los átomos, las galaxias y los seres vivientes como el producto de una evolución. Las razones que están detrás de esta resistencia a tal interpretación o aplicación de la evolución al tema de la cosmología y en general al de la materia inorgánica, son varias. Algunas están matizadas por esa tendencia nihilista postmodernista que hemos discutido en capítulos previos, postura que está acorde con su pesimismo. Otras razones tienen un criticismo válido que debemos señalar.

La principal de ellas funciona como sigue: la evolución ciertamente ha moldeado la vida en la Tierra –argumentan estos pensadores–; sin embargo, cuando uno aplica la idea de la evolución al cosmos, no está siendo literal, y la ciencia no puede trabajar con metáforas. Lo que ellos temen, o más bien, lo que ellos se preguntan, es si la evolución y la cosmología

deben actualmente encontrarse y, si es así, deben hacerlo con una base sistemática. Estas dudas críticas son reales e importantes, puesto que su consignación se debe a una mala interpretación de la evolución. Ellos están en lo correcto, y lo que pretenden es que la declaración sea demostrada y que la evolución no debe ser entendida como un mero cambio. ¿Como podemos probar que la evolución realmente sucedió y está sucediendo en el universo? Antes de empezar a buscar una evidencia de la evolución cósmica, refresquemos brevemente nuestra memoria regresando al primer capítulo, donde hablamos de los tres principios de la evolución, y después intentemos ver cómo esos principios parecen encajar bien y explicar varios estados de la historia cósmica.

De esta manera, como vimos, lo que los biólogos llaman evolución es la aplicación de estos tres principios a los cambios de los organismos vivientes. El primer principio es el de conservación. Por conservación, los biólogos etiquetan el fenómeno de la herencia en su significado más profundo. Hasta donde tienen que ver las especies, lo que las define como tales es el principio de conservación, el hecho de que haya un conjunto de características que pasan y permanecen de los progenitores a su prole. En el mundo orgánico, el principio de conservación es tan fuerte que los embriólogos nos han mostrado cómo los embriones humanos desarrollan en una etapa agallas, recuerdo de los antecesores “peces”, que luego se transforman en pulmones. De igual manera,

también construyen y destruyen buena parte del tejido cerebral en un proceso llamado “escultura neural”.

El segundo principio de la evolución es la antítesis de la conservación: la innovación. Muchos han interpretado mal la teoría y la han visto sólo como un progreso o un mero cambio que se ha enfocado en la innovación misma, aunque para los biólogos esta innovación es semánticamente diferente a la que nos referimos cuando hablamos de tecnología. Mientras que la innovación en la tecnología implica un intento de aerodinamizar herramientas que tienden a ser más eficientes y poderosas, en biología significa el hecho de que la molécula de ADN resulta alterada mediante cambios internos producidos por sucesivas mutaciones que heredarán los descendientes. Estas mutaciones constituyen la amenaza o la “monstruosidad” de la que la evolución depende. Como el rompimiento de la simetría, las mutaciones surgen al azar. Sin embargo, la evolución asimila estos accidentes en un esquema más amplio, en un modelo mayor.

Y en el centro de este modelo mayor, actuando como el eje entre los dos principios anteriores opuestos, está el principio de la selección. La conservación, por sí sola, apunta al estancamiento; sumada a la innovación, nos conduce a cambios ciegos, a la casualidad. El meollo de la evolución está en la adición de la selección. Darwin llegó al principio de la selección después de leer a Thomas Malthus, pues se dio cuenta de que las especies se reproducen a una tasa mayor que la que su ambiente puede soportar. En otras palabras, los

seres vivos tienden a reproducirse tan aprisa y en la mayor cantidad que puedan y el único mecanismo para controlar esta reproducción es el agotamiento de los recursos. Los individuos compiten por estos recursos y algunos compiten lo suficiente como para llegar a reproducirse, mientras que otros, menos aptos, mueren antes de alcanzar la edad necesaria para ello. Puesto que los individuos que sobreviven son producto de la innovación y la conservación, a su vez engendran su descendencia, la cual preservará su información genética. Como la innovación surge de su éxito en la interacción con el medio ambiente, éste determina si la innovación es aprobada o no.

Cuando los críticos de arte, por ejemplo, usan el término evolución para indicar ciertos cambios en los trabajos artísticos, lo están tomando prestado de la ciencia. Pero este préstamo lo usan en forma metafórica. El arte realmente no evoluciona. Claro que hay y ha habido principios conservativos en el mundo del arte, pero pensamos en estos principios bajo la sola rúbrica de la tradición. También existen innovaciones, sin embargo, que no son debidas al azar, sino que están determinadas por la individualidad de un artista, el medio, las circunstancias históricas, o por lo menos reflejan el respaldo o antecedentes culturales que influenciaron al artista. Más aún, estos cambios no se acumulan para crear una especie totalmente diferente. El arte tiene la misma función y propósito que tenía en el Renacimiento. Y más allá de invocar fuerzas

de mercado, no podemos hablar de principios de selección en el mundo del arte.

Ésta es la clase de aplicación de la teoría de la evolución que los científicos han rechazado, por lo que si pretendemos hablar de una evolución cósmica, debemos tener la certeza de que los tres principios evolutivos funcionan en la historia del cosmos. ¿Podemos, en otras palabras, decir que el universo nos ha dado la prueba de que no está solamente gobernado por las fuerzas que hemos discutido, sino que estas fuerzas están a su vez sujetas a los principios conservativos, innovativos y selectivos de la evolución?

La respuesta de Teilhard de Chardin es un categórico sí, lo que para muchos supone la mayor falla de sus ideas. Nosotros creemos que, a pesar de todo, Teilhard de Chardin está en lo correcto, y que no sólo hay más que suficiente evidencia de que los tres principios de la evolución actúan en el cosmos, sino que si accedemos a cambiar nuestro paradigma un poco, no solamente entenderemos la perspectiva de Teilhard de Chardin, sino que también podríamos empezar a redirigir el propósito de las investigaciones científicas, de la misma manera que toda revolución científica lo ha hecho.

El cambio de paradigma es bastante simple. Si tomamos los registros y la explicación de fenómenos específicos como el propósito de la ciencia, terminaríamos con una ciencia que considera la causalidad y evita tratar con consecuencias. Lo que actualmente tenemos en la mayor parte del trabajo

científico es un calcular o llevar las cuentas, sin un intento de darle un significado. Como cualquier amante de la música o cualquier entusiasta de las artes –que son las más significativas de las tentativas humanas– sabe, el significado en cualquiera de ellas no es tanto un asunto de contenido como de forma. Sin tratar de prolongar demasiado la analogía, podemos sostener que la investigación científica está basada en contenidos y sólo las nuevas ramas de las matemáticas se relacionarán con el aspecto formal. Aclaremos un poco. La física de partículas, que reúne colores, sabores, espines y trazas de partículas para descubrir otras partículas, la cosmología que relaciona fenómenos y cuerpos celestes, la biología que hace el escrutinio del genoma, son todas ciencias que están tratando con lo que nos hemos referido como contenido. Si el proyecto del genoma humano es, como se vea, indicativo de esta tendencia, lo que tenemos son ciencias que, en lugar de ser predictivas, han llegado a ser nuevas taxonomías, ciencias que son una vez más solamente descriptivas. La biología, sin embargo, parece estar un paso adelante en el juego. La razón es principalmente histórica. Lo que el proyecto del genoma está haciendo es llevar la cuenta o describir el contenido de la molécula de ADN. A diferencia de los físicos de partículas y de los cosmólogos, los biólogos iniciaron la relación después de que descubrieron la forma, la estructura de la molécula de ADN, y por consiguiente el significado o función de la molécula. Lo que necesitamos es una ciencia formalista, pero ¿qué supone esto? A diferencia

del contenido que tiene propósitos semánticos significativos, pero que también puede tener ruido semántico, lo que elegimos para referirnos como forma son realmente las estrategias² que la naturaleza impone a través del tiempo.

Esta última definición no es simple. No obstante, es importante y antes de continuar con la evolución cósmica, debemos ver lo que significa. Como ya se dijo, las grandes revoluciones científicas por lo común hacen más que elaborar un nuevo concepto, cambian los paradigmas con los cuales vivimos. Después de la revolución copernicana, ninguna otra perturbó más nuestra manera de pensar que la de Darwin, y mientras que la mayoría de la gente cree que Darwin cambió nuestros paradigmas colocándonos en la misma línea de descendencia que los primates, el concepto verdadero y más difícil de asimilar es el que la teoría implica acerca del tiempo y del mundo en que vivimos. La mayor parte de la ciencia y de la filosofía predarwinianas, consideraban el tiempo como una especie de maquillaje, puesto que el universo y todo en él era estático. Por supuesto que los pensadores y los legos percibían cambios; sin embargo, no pensaban que los grandes o pequeños cambios equivalieran a algo. La teoría de la evolución de Darwin no sólo sostenía, sino que necesitaba que la Tierra fuera mucho más antigua que lo que cualquiera hubiera pensado. Unas pocas formas de vida originales, para diversificarse en los millones de especies que se encuentran actualmente en la Tierra, requirieron cientos de millones de años. Aun cuando Darwin no tuvo en su tiempo los registros

geológicos que soportaran su teoría, ésta seguía siendo radical al identificar un mecanismo, una estrategia por medio de la cual la naturaleza preservaba tanto como cambiaba las características innatas de la especie. En otras palabras, la evolución, barajando sus tres principios –conservación, innovación y selección– es una estrategia impuesta sobre el tiempo.

Quién o qué impone la estructura, será la cuestión con la que trataremos el siguiente capítulo. Por ahora debemos continuar para definir cómo una ciencia formalista es o debe ser radicalmente diferente a una ciencia basada en el contenido. Como hemos visto a lo largo del libro, los cosmólogos tratan con enormes cantidades de tiempo, mucho más vastas que aquéllas con las cuales los biólogos evolucionistas tratan. Por otro lado, sus contrapartes, los físicos de partículas, tratan con lo más diminuto, con cantidades que para nosotros son inimaginablemente pequeñas, si bien tanto los cosmólogos como los físicos de partículas se enfocan en un su mayor parte en un solo asunto, el explicar fenómenos individuales. Sus ciencias, en otras palabras, sólo tratan con momentos aislados en el tiempo. Aun los astrofísicos, cuyos métodos parecen tan históricos como la evolución (después de todo las galaxias y quásares que los astrónomos observan son de muchas maneras los registros fósiles del universo), se enfocan principalmente en momentos aislados, si bien en momentos cósmicos. Sí, a menudo obtenemos una crónica del universo, pero como hemos

argumentado, más que una historia, es una cadena de causalidad.

El problema central para los físicos, si fueran a hacer la tentativa de cambiar la naturaleza de sus trabajos basada en el contenido y reenfocarse en el problema formal, es que el modelo “matemático” que la evolución ha empleado las más de las veces para calcular los cambios a través del tiempo, no es precisamente el suficiente para el tipo de cálculo exacto que se tiene que hacer cuando uno trata con millonésimas de segundo. Las matemáticas, por supuesto, han estado de muchas maneras en la vanguardia de la investigación científica. Con esto no queremos decir que los matemáticos se ponen la bata de laboratorio con frecuencia para trabajar con la ciencia experimental, aunque algunos sí lo hagan. No, las matemáticas han estado a la vanguardia porque muchos de sus modelos, que han sido cruciales para el progreso científico, ya estaban bien establecidos para cuando algún científico llegó y trató de aplicarlos a la realidad. En otras palabras, las matemáticas existen antes de ser explicadas. Un buen ejemplo es el de Einstein, que llegó a escena cuando las reglas de la geometría de cuatro dimensiones había ya sido trabajada por Bernhard Riemann y János Bolyai. Este tema de la geometría de cuatro dimensiones permanece considerado como de los más difíciles y misteriosos.

Einstein realmente luchó para entender las matemáticas. Sin embargo, al adoptar el modelo pudo comprobar la simiente de la teoría de la relatividad general. Existe por

supuesto un sentimiento de retraso en la cultura y los científicos no están inmunes a él. En las conferencias académicas hay a menudo lamentaciones por el hecho de que el ambiente intelectual que favoreció a los Einsteins y Bohrs ha desaparecido. Se fue la rígida academia de las universidades alemanas que prepararon a la que quizá haya sido una de las más notables generaciones. Se fueron también las ideas acumuladas que flotaban en el aire y que resultaron las más fértiles, cuando luminaria tras luminaria parecían tomar la esencia de ésta o aquella idea y transformar la manera en que entendíamos el mundo. Así que hagamos la pregunta: ¿existe un modelo matemático que los físicos puedan adoptar, para que pudieran cambiar hacia una manera más formalista de hacer la ciencia?

A partir de la mitad de la década de los años setenta y principio de los ochenta, los mundos de las finanzas, de la meteorología y de la ecología han sido radicalmente transformados a medida que las matemáticas del caos y los fractales han empezado a filtrarse en sus estudios. El caos, la ciencia más elaborada de ambas, trata con lo que los científicos llaman comportamiento caótico. El comportamiento caótico es propio de los sistemas –como el clima, el mercado de valores o un ecosistema– cuyo comportamiento no es lineal y un pequeño cambio en las condiciones iniciales del experimento tiene una gran influencia en los resultados. El caos es de muchas maneras el verdadero estudio de las consecuencias.

Tratemos de explicar con una analogía más elaborada. Lo elaborado se debe principalmente a que los conceptos no son fáciles. Pero de cualquier manera, imagínese que tenemos una cámara fotográfica en la que el visor de imagen y la lente no son uno o el mismo, por lo que existe una discrepancia, aun cuando pequeña, entre lo que vemos y lo que la lente captura. La cámara y el objeto a fotografiar forman en este caso un sistema lineal porque existen “errores” predictivos, que pueden tomarse en cuenta desde un principio. Así que si estamos tratando de hacer un acercamiento, digamos, de un florero, todo lo que tenemos que hacer es tomar en consideración la discrepancia, es decir, ajustar de inicio. Nuestro sistema, que incluye el visor de imagen, los lentes de la cámara y el florero, son bastante predecibles. Pero si salimos del estudio y en vez de fotografiar un florero decidimos tomar fotos de gente caminando en la calle, aunque estemos conscientes de los “errores predictivos”, tan pronto la gente se empieza a mover dentro y fuera de foco y las nubes permitan una mayor o menor luminosidad, estaremos tratando con un sistema caótico. Muchas de las condiciones iniciales habrán cambiado y no serán predictivas, así que las fotos que logremos pudieran no ser las que esperábamos, aún tomando en cuenta los errores predictivos.

La característica fundamental de los sistemas caóticos es que si a dos sistemas idénticos se les dan “giros” ligeramente diferentes, se tornan exponencialmente divergentes. Finalmente, lo que el caos, como modelo

matemático, permite a los científicos es poder considerar un sistema, no como un fenómeno aislado, sino como un proceso que se desenvuelve en el tiempo. De ahí el éxito del caos para trabajar con el mercado de valores, el clima o los ecosistemas. ¿Cómo funciona el caos? En lugar de intentar predecir las condiciones finales de un sistema, el caos modela el desenvolvimiento del sistema varias veces cambiando muy poco sus condiciones, para predecir un resultado. El meteorólogo, por ejemplo, “corre” en la computadora una simulación que empieza con las condiciones del día de hoy. Puesto que está tratando de predecir el clima de pasado mañana, debe dejar que la simulación se desarrolle durante esos dos días. A menudo los resultados serán bastante divergentes. El clima, después de todo, es uno de los sistemas más caóticos, es decir, uno de los más sensibles a los cambios por más insignificante que éstos sean. Su predicción, por consiguiente, está basada no en el tipo de divergencias que se encuentran, sino en los lugares donde las diferentes simulaciones concurren. Los corredores de bolsa siguen un proceso similar con el mercado, para obtener gráficas que revelen los cambios a la alta o a la baja. Los ecólogos también usan diferentes modelos de ejemplos de ecosistemas e intentan predecir el crecimiento de las poblaciones y la merma de los recursos.

Muchos argumentan que la evolución cósmica es una quimera, pues apunta a que si queremos usar modelos de caos para probarla debemos tener varios modelos de

universo, o varios universos para ver cómo los diferentes escenarios se desarrollan, y solamente entonces discurrir patrones. Algunos cosmólogos consternados por esta imposibilidad han llegado a postular la fascinante idea de los multiuniversos. Brevemente, lo que argumentan es la existencia, no de uno, sino de muchos universos, los cuales han tenido historias radicalmente diferentes. Algunos habrán nacido sin posibilidad de llegar a producir estructuras biológicas, otros habrían podido terminar con más de cuatro dimensiones y fuerzas después del rompimiento de la simetría. Desafortunadamente, mientras que el modelo de multiuniversos suena intrigante, como postulado poco nos ayuda en nuestra búsqueda de probar que la evolución cósmica es un hecho. Actualmente sabemos mucho más de nuestro universo que hace un siglo. Podemos reconocer una estructura, tenemos clasificado mucho de su contenido. Sin embargo, tal trabajo ha tomado milenios y la concurrencia de varias civilizaciones para lograrlo. Así que actualmente, imaginar que pudieramos trazar la historia de varios universos de ese multiuniverso para simular los diferentes modelos de universo y encontrar patrones, es más que ingenuo.

La propuesta tampoco parece tomar en cuenta que mientras que en los pronósticos financieros y meteorológicos el caos ha sido utilizado como una herramienta predictiva, si aplicamos el mismo modelo matemático a la historia del universo, lo haremos no tanto para predecir un resultado como para encontrar patrones en el caos, para encontrar una

recurrencia de aquellas estrategias que la naturaleza ha impuesto a través del tiempo. Lo que buscamos en la historia del universo usando el caos como un lente de aumento, no es la historia de los eventos *per se*, sino la historia de aquellas formas que han emergido en ciertos estados de la historia del universo y que fueron capaces de llegar a ser estables y perdurar pese a la entropía. Por supuesto aquí no hay genética de cuando emergieron las formas de la que hablar. La genética llegó a ser un asunto de importancia cuando las moléculas se polimerizaron, pero esto será tema del siguiente capítulo. Brevemente, nosotros no podemos argumentar que una estructura estelar inicial transmitió sus rasgos a su descendencia. Lo que sí podemos argumentar mientras vemos las diferentes estructuras que emergen en el universo son dos cosas.

Primero, a causa de las fuerzas de la naturaleza y de la manera que ellas disponen de la materia y determinan su comportamiento, el universo permite la sobrevivencia de sólo ciertas estructuras. Sólo hay unas pocas estructuras viables en nuestro universo, y mientras que esto no parece ser equivalente a una ayuda genética, de muchas maneras sí lo es. Puesto que la genética es la réplica de la información, de manera que ésta pueda pasar de los padres a su descendencia, es una obligación, y determina, a nivel de las fuerzas, que las partículas formen la materia, las estrellas de las galaxias y los sistemas solares.

Segundo, es posible observar que algunas estructuras básicas no sólo parecen permanecer, sino que realmente parecen refinarse, perfeccionarse y llegar a ser más viables con el transcurso del tiempo. Lo verdaderamente sorprendente de los patrones que emergen, es el patrón de complejificación, hasta el punto que a las estructuras concierne, y a la cantidad de información que tales estructuras contienen. Esta tendencia viene a ser más obvia una vez que la evolución orgánica surge. Y en sí mismo el concepto tiene muchos términos difíciles –como complejidad e información– que sólo llegan a aclararse cuando buscamos en el proceso mismo.

La cuestión que queda para nosotros es ¿en qué punto podemos empezar a hablar propiamente de estructuras? El universo primitivo, con su inconcebible energía y calor, ciertamente no parece que fuera un amable huésped de las estructuras. De cualquier manera, pese al hecho de que nada parecido a lo que actualmente conocemos como materia residía allí, ya para la época en que el universo tenía un diezmilésimo de segundo, los quarks y antiquarks habían terminado su aniquilación mutua y los sobrevivientes se habían reunido en tríos como protones y neutrones. Entonces, en mucho menos tiempo de lo que llamamos un instante, el universo había elaborado las semillas, los componentes del futuro núcleo atómico. El núcleo atómico es el primero entre muchos venideros ejemplos de lo que hemos llamado estructuras. Es el primero que parece seguir nuestros dos principios. Inicialmente, el núcleo atómico fue configurado y

determinado por las fuerzas de la naturaleza. En seguida, vino a ser la semilla de estructuras más complejas. A tal grado, que cuando el universo tenía una edad de 3 minutos y 42 segundos, protones y neutrones se habían ligado y formado el núcleo del helio; así el naciente universo llegó a estar formado por un 20% de helio y un 80% de hidrógeno, los dos elementos atómicos más ligeros.

Para aquellos que se ocupan de los patrones y gustan de las formas, estos primeros minutos del universo pueden verse como algo casi poético en el sentido en que, como un *Leitmotiv*, manejó la urdimbre de lo que podríamos llamar el tema central de la historia del universo, si éste fuera una pieza de música. Para aquellos a quienes no les importan los patrones, tendrían suficiente con una lista inicial de ingredientes y un curso elemental de física, para un conocimiento básico de que los dos elementos que dominaron el universo primitivo no son sólo los más simples,³ sino los dos únicos en la receta de las estrellas. A las estrellas les faltaba mucho para llegar, pero cuando el universo tenía una hora de edad, se había enfriado lo suficiente para que la mayoría de los procesos nucleares (y prenucleares) se hubieran detenido y el germen de todo lo que vendría a ser se hubiera estabilizado. El enfriamiento en tales estados primitivos altamente energéticos, por supuesto que es relativo, puesto que cuando el universo tenía un año de edad su temperatura ambiente era más o menos la misma que la del centro de una estrella en la actualidad.

El origen de estas estructuras simples no es un argumento muy fuerte para demostrar que el universo está evolucionando. Mientras tanto, la existencia del núcleo será al menos el sostén de la existencia de una fuerza conservativa de este firme “lecho de roca” en el largo proceso de la historia universal, pero no tendrá importancia para los otros dos principios de la evolución, la innovación y la selección. En la búsqueda de estos principios tenemos que remontarnos a otro momento culminante de nuestra más que resumida historia. Y el estado del universo cuando empezamos a encontrar algo parecido a la innovación y a la selección es cuando éste tenía alrededor de 10 a 11 000 millones de años, esto es, para dar una mejor idea, hace alrededor de 3.8 a 4 000 millones de años. Estos son inimaginables lapsos, cuando estamos buscando al menos dos datos, puesto que estamos hablando acerca de un proceso que tuvo lugar durante 11 000 millones de años o más.

Sin embargo, dentro de este proceso podemos señalar cuatro umbrales cruciales, que si no nos confirman, al menos insinúan la innovación y la selección. El primer umbral nos remite a la radiación cósmica de fondo que incluye la liberación de los fotones, dejando a los electrones libres para combinarse con los núcleos y formar los átomos estables. O dicho de otra forma, lo que los átomos estables permiten es la formación de la materia como la conocemos. De hecho, lo que emergió hace 11 000 millones de años fueron las nubes de materia que llamamos protogalaxias. Este momento –si es

permitido llamar momento a tal lapso— marca dos cosas, la emergencia de estructuras más complejas que utilizan una “célula” básica, por llamar de alguna manera a esta estructura básica. Lo que también vemos emerger en primera instancia son nubes de materia en gran escala. Mientras que no todas de estas nubes de materia llegaron a formar galaxias, fueron alimentadas y gobernadas por esas fuentes de luz puntuales, creemos, llamadas quásares, cuyo corrimiento al rojo indica que se encuentran a distancias de miles de millones de años luz y posiblemente sean los núcleos de jóvenes galaxias. Brevemente, lo que vemos en este umbral es el principio de otra estructura. Para decirlo coloquialmente, la receta inicial para una estrella fue utilizada por el universo, y en este umbral, vemos surgir las estrellas, como el eje de nuevas estructuras. Como cualquiera con un conocimiento superficial de astronomía sabe, no todas las estrellas son viables. De hecho, la longevidad y la sobrevivencia de las estrellas está determinada por su masa.

Para muchos, la formación de las protogalaxias y aun la liberación de los fotones que permitieron a los electrones combinarse con el núcleo y formar átomos estables, no es tanto prueba de una evolución como de un fenómeno causal, fenómeno que tuvo lugar porque las condiciones fueron las correctas. De muchas maneras, el modo de ver una serie entera de eventos como una cadena de causalidad, es solo falta de una visión más amplia: estos eventos y los que siguieron, incluyendo la aparición de la vida hace alrededor de

4 000 millones de años, requirieron de un universo increíblemente bien sintonizado. Aun tomando en cuenta el azar, como lo hace la teoría de la evolución, aun tomando en cuenta accidentes, la sola formación de la materia, dejando fuera la emergencia de la vida, requirió un perfecto diseño de lo que el astrónomo Martin Rees ha llamado *Just six numbers*. Entre estos se incluyen:

N , el número que mide la relación entre la fuerza electromagnética y la gravedad y es un número muy grande, pues la atracción gravitacional entre los protones es 10^{36} veces más tenue que las fuerzas eléctricas. Pero aun así, si tuviera menos ceros, en el universo no habrían surgido las grandes estructuras que dieron paso a las galaxias y por supuesto que nunca habría surgido la vida. En palabras de Rees, "No tenemos una teoría que nos indique el porqué del valor de N . Todo lo que sabemos es que nada tan complejo como la humanidad hubiera podido emerger si N no fuera tan grande como 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000".

ϵ es otro número que mide lo que sucede en el átomo y es el porcentaje de masa de hidrógeno que en su interior, las estrellas transforman en energía al fusionarse en helio. Determina cuan larga será la vida de una estrella, por lo que si fuera diferente (menor) de 0.007, no daría tiempo a que la vida se desarrollara en los planetas. También describe que tan

firmemente el núcleo atómico está unido para que la fuerza nuclear fuerte domine el combate con la repulsión eléctrica.

Q es el número que determina la “textura” de la estructura del universo. Su pequeñez –alrededor de 10^{-5} – permite suponer al universo como aproximadamente homogéneo. Si su valor se inclinara hacia cualquier lado, el universo sería inerte y vacío de estructuras, o hubiera sido demasiado violento para que las estrellas y las galaxias pudieran sobrevivir.

Estos números fueron determinados en el inicio de la historia del universo. Y los tres que hemos descrito determinaron mucho de lo que pasó en los umbrales con los que hemos estado tratando. El hecho de que parezcan tan finamente sintonizados han proveído gran cantidad de material a filósofos y teólogos para especular sobre la naturaleza del universo y poder cuestionar el dogma de que una aleatoria fluctuación cuántica, un accidente, fue el culpable de la exquisita sintonía del universo. Los detractores de este argumento lo han despreciado y se han escudado acusando a aquellos pensadores de estar argumentando que existe un diseño, pues para ellos realmente no es un argumento de diseño. Lo que es, solamente, es el reconocimiento del hecho de que el universo está finamente sintonizado, y haciendo esto, sólo remarcan algunas de las deficiencias de la ciencia contemporánea en su incapacidad para explicar, y más que nada, de poner objeciones a otras posibles vías que la

investigación pudiera tomar, si la ciencia quisiera o tuviera la voluntad de explicar estos sorprendentes fenómenos.

Los científicos que han aceptado esta fina sintonía del universo y que han intentado entenderla no sólo como una serie de gigantescas coincidencias, han argumentado que la evolución es una vía para entender la manera en la que el universo se ha desarrollado. Las pruebas abundan, y no solamente nos cuentan una limpia y pulcra historia acerca de la emergencia de la materia y la manera en que las nubes de gases se convirtieron en estrellas, sino que algunos científicos importantes han trabajado y estudiado estas pruebas para darnos más amplias pistas de lo que la evolución realmente es. Destacado entre estos científicos es David Layzer, quien en su libro de 1990, *Cosmogénesis*, se las arregló para discutir no sólo sobre un universo que se desarrolla, sino para aclarar los muchos malentendidos que tienen los detractores de un universo en evolución.

El libro de Layzer, como muchos libros que han intentado de allí en adelante establecer teorías similares, no es fácilmente comprensible. Ningún libro sobre este tema puede serlo. Pero hay algo asombroso, y es que el libro parece ser solamente un refundir y repetir muchas de las cosas que Teilhard de Chardin dijo por lo menos medio siglo antes y que la comunidad científica desatendió y malentendió. Como Teilhard de Chardin, Layzer razonó que si vamos a pensar en un universo que evoluciona, primero y principalmente debemos considerar la evolución no sólo como

un proceso o una vía para darle sentido al fenómeno; por el contrario, lo que nos hace pensar en un universo que evoluciona es imaginar esta evolución como creativa. En este sentido Layzer es bergsoniano (*L'évolution creatice*). Teilhard de Chardin va todavía más allá al pensar no en una evolución creadora, sino en una creación evolutiva. Como hemos visto, muchos críticos han argumentado que la teoría científica debe ser predictiva. Nos debe decir algo sobre el futuro. Al decir que el universo evoluciona, ellos apuntan no tanto a contarnos lo que sucederá, sino sólo a decirnos lo que ha sucedido. El demandar un poder predictivo preciso a un teoría es una tendencia que hemos visto y etiquetado como reduccionismo. De muchas maneras, esta demanda viene de la física cuántica y de partículas, en la que los científicos son tremendamente precisos. Los átomos, como quiera que sea, no son sistemas caóticos. Como hemos visto en la discusión del caos, cuanto más complejo se vuelve un sistema, más caótico se hace. Para David Layzer, esta naturaleza caótica de un sistema complejo como el universo supone un entendimiento de la evolución no como una mera progresión de un estado a otro, sino como "inteligente", como un proceso conciente y sensible, cuyos productos verdaderamente innovativos tienen como propósito crear orden a partir del caos. Al decir de Layzer, vivimos en un mundo "conveniente y favorecedor, que es un mundo en el que el orden emergió de un caos primordial y engendró nuevas formas de orden. El proceso que ha creado y continúa creando orden, obedeciendo leyes físicas

universales e inalterables. A pesar de todo, porque generan información, sus resultados no están implícitos en sus condiciones iniciales”.

El punto de vista de Layzer, como la visión de Teilhard de Chardin, parece casi poética dentro de su sentido común. Su panorámica del universo, donde unas simples leyes manipulan la materia hasta que el material “en crudo” llega a ser parte de algo mayor que sí mismo. Esto no es una jerarquía, como algunos han supuesto. Es un proceso en el que el propósito o la intención es usar la materia para transformar y hacer más complejo algo que es inmaterial: la información. Esta información es copiable (o transcribible), acumulativa, legible y digna de leerse. En nuestra experiencia, la molécula de ADN puede ser uno de los más refinados ejemplos de compuestos químicos manipulados por leyes físicas permanentes que contienen información que se puede copiar y es legible. Nuestro cerebro puede ser usado también como otro ejemplo. En el próximo capítulo trataremos ambos, pero para concluir permítasenos presentar algunas de las objeciones que se han levantado en contra del argumento de Layzer y veamos que tipo de prueba necesitamos encontrar para aceptar la de Layzer como una teoría viable.

El argumento de Layzer ha sido visto en muchos círculos como agresivo y se reconoce que parece “pisar muchos dedos científicos”, por decirlo de algún modo. No solamente le quita a la ciencia su poder predictivo, sino que llamándola evolución creadora, supone que algo como una voluntad, una fuerza y

una meta, han sido inherentes al universo y sus productos. El aceptar que el universo no solamente evoluciona, sino que su historia entera ha sido “impulsada” por una fuerza creativa, pudiera significar que todas las leyes físicas están subordinadas a una macroley que determina la emergencia y el sentido de todas las otras leyes.

El encontrar esta gran ley suena más que ambicioso. Algunos le llamarían quijotesco. Esto haría redirigir la investigación científica de una manera drástica. Pero hablando más propiamente, lo que habría que modificar profundamente serían las interpretaciones de los científicos a sus teorías, pues la investigación científica, quiérase o no, tendrá siempre que ir en el sentido de desentrañar las grandes incógnitas del universo que aun subsisten y un ejemplo claro y actual es la teoría de las supercuerdas, que tiene grandes implicaciones metafísicas y tomándola desde este punto de vista es absolutamente revolucionaria.

La existencia de esta macroley también obligaría a tocar todo precepto desde la relatividad hasta el *quantum*, y razonar que estas teorías son como piezas sueltas de un vibrante rompecabezas. Y la pregunta obvia que surge para los científicos es si esta redirección, que sería inevitable, traería una nueva perspectiva, una intención didáctica o pedagógica. Es decir: ¿hay o ha habido una indicación directa de la existencia de una macroley para las formas que surgen en el universo y codifican la información que a su vez crea sistemas más complejos?

Una de las promisorias pistas o indicaciones de la existencia de una macroley, procede de una de las principales leyes científicas de 1998, y forma parte de los seis números cuyo valor Martin Rees sostiene que son indispensables para la existencia del universo como lo conocemos. Su origen se remonta a la relatividad general de Einstein. Viendo que una de las predicciones de la teoría, era que el universo se estaba expandiendo, Einstein introdujo una constante cosmológica que llamó λ y cuya función era balancear el efecto de la gravedad y obtener un universo estable. Tiempo después, al demostrarle Hubble que efectivamente, el universo se estaba expandiendo, Einstein llamo a λ el más grande error de su carrera. Y ciertamente, las razones por las cuales Einstein introdujo λ en su teoría son ahora obsoletas. Sin embargo, en el presente, los científicos han tenido a su alcance el descubrimiento de que λ apunta a una insospechada nueva fuerza, una fuerza que actúa “inteligentemente” para controlar la expansión del universo y cuyos efectos son discernibles a la escala en que la evolución lo es: a través de épocas, de eones. Además, λ , como fuerza, parece ser portadora de una macroley, puesto que en todo tiempo y en el largo plazo ha llegado a dominar sobre la gravedad. λ es la más tenue, la más débil fuerza de la naturaleza, y por mucho, la más misteriosa. A pesar de esto, controla las otras fuerzas, puesto que controla la expansión del universo y su destino último. De hecho, no sólo determina su futuro, sino que en realidad

determinó su pasado. Si hubiera sido una fuerza más fuerte, se hubiera impuesto a la gravedad en etapas tempranas de la vida del universo, impidiendo la emergencia de las galaxias. Brevemente podemos decir que λ puede ser una entre muchas evidencias de una “voluntad”, de una “sensibilidad” que no es necesariamente determinista, porque como Layzer lo ha señalado, su mecánica es creativa. Otra evidencia se encuentra, por supuesto, en el siguiente umbral de la evolución, hace 3.8 o 4 000 millones de años, cuando la Tierra se había enfriado lo suficiente para que se formara una costra sólida. Por ese entonces, las galaxias por supuesto ya se habían formado y el sistema solar había llegado a ser una estructura en el continuo proceso de un universo favorecedor. Tomaría 600 millones de años para que las células microscópicas colonizaran la Tierra y 2 000 millones de años para que las plantas emergieran. Podemos visualizar entonces la esencia de la evolución: la emergencia de formas que economizan energía para guardar información: economía en las formas para contener información.

¹ En realidad se ha transcrito en inglés y en español porque de esta manera podemos apreciar cómo una traducción, por muy cuidadosa que sea, difícilmente refleja con precisión el pensamiento original del autor. Los comentarios, pues, están referidos a la versión original en inglés que se titula *On the Origin of Species by means of Natural Selection*, John Murray, Londres, 1859.

² Estrategia: en un proceso regulable, el conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento.

³ Hay que aclarar que en sí estos elementos son simples en el contexto de los elementos que propiamente forman ya la materia, pero que son sumamente complejos ya que en el neutrón se aloja la información como

gluones, varios tipos de quarks que a su vez posiblemente estén formados por cuerdas y éstas, quizá sean la energía misma.