

Stuart
Kauffman

Más allá
de las
leyes
físicas

El largo camino
desde la materia
hasta la vida



Stuart Kauffman

MÁS ALLÁ DE LAS LEYES FÍSICAS
El largo camino desde la materia hasta la vida

Traducción de Luis Enrique de Juan

TUSQUETS
EDITORES

Título original: *A World Beyond Physics. The Emergence & Evolution of Life*

1.ª edición: marzo de 2021

© Oxford University Press, 2019

© de la traducción: Luis Enrique de Juan Vidales, 2021
Reservados todos los derechos de esta edición para
Tusquets Editores, S.A. – Avda. Diagonal, 662-664 – 08034 Barcelona
www.tusquetseditores.com
ISBN: 978-84-8310-9066-927-3
Depósito legal: B. 2.490-2021
Fotocomposición: David Pablo
Impresión y encuadernación: Unigraf, S.L.
Impreso en España

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de los derechos de explotación.

El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como papel ecológico y procede de bosques gestionados de manera sostenible.

Prólogo.....	11
1. El mundo no es una máquina.....	17
El universo no ergódico por encima del nivel atómico, 20; Más allá de la segunda ley, 23; ¿Por qué existe el corazón hu- mano?, 25; ¿Qué es un organismo?, 27; El mundo visto como una máquina, 31	
2. La función de la función.....	33
3. Organización propagativa.....	39
Trabajo, 43; Condiciones de contorno, trabajo y entropía, 44; El ciclo del trabajo restringido, 46; Trabajo propagativo y no propagativo, 48; Cierre de restricciones (y más cosas), 52; Dos cierres, 54; Autorreproducción en potencia: tres cierres, 55; Un holismo nada místico, 56; El carácter genérico de la física frente a la especificidad de la biología, 57; Organiza- ción de procesos propagativa, 57	
4. Desmitificando la vida.....	59
El mundo de ARN, 63; El mundo lipídico, 68; La conectividad de los grafos aleatorios, 69; Del ordenador al laboratorio, 77; Los tres cierres de la vida, 80; La vida como hija de la diver- sidad molecular, 82; La «fuerza vital», 83	

5. Cómo se construye un metabolismo	85
CHNOPS, 94; Algunas conjeturas en torno a los grafos de reacciones, 98; En el laboratorio, 101; Conectando un metabolismo a un conjunto colectivamente autocatalítico, 106	
6. Protocélulas	111
El escenario Damer-Deamer, 113; El camino hacia las protocélulas, 117; Entropía y autoconstrucción persistente, 121; Un baño de realidad, 122	
7. Variación hereditaria	123
8. Los juegos que jugamos.	129
Sentir, evaluar y responder al mundo, 132; Moverse, 133; De la materia al significado, 134; El deber instrumental, 134; Los sofisticados juegos que jugamos, 135	
Interludio: La sorprendente historia de Patrick Primero, Rupert, Sly y Gus, protocélulas en sus primeros tiempos.	137
La historia de Patrick, 137; La historia de Rupert, 142; La increíble historia de la protocélula Sly, 144; La historia de Gus, 146	
9. El escenario está listo.	151
La explosiva diversidad de la biosfera, 155; No cabe matematizar este devenir, 155; Información dependiente del contexto, 156	
10. Exaptaciones y destornilladores.	159
Preadaptaciones y exaptaciones, 161; Los múltiples usos de los destornilladores, 164; Improvisaciones y artefactos, 167	

11. Más allá de las leyes físicas 171
Entropía y evolución, 173; La creación de nichos es como una bola de nieve, 174; Más allá de la ley: la biología trasciende la física, 176; Ninguna ley determina el devenir de la biosfera, 177; El punto débil del reduccionismo, 178

Epílogo: La evolución de la economía. 181
¿Qué es una web económica?, 184; Los dos sentidos de «necesidad», 184; Breve ojeada a la evolución de la industria de las TI, 185; Lo adyacente posible en la web económica 187; El adyacente posible algorítmico, 188; Los nuevos productos, servicios y funciones de producción pueden surgir como combinaciones de otros, 188; El carácter impredecible y no algorítmico de lo adyacente posible en la economía, 189; El incognoscible «tamaño» de lo adyacente posible, 190; Diversidad de contextos y diversidad de usos, 191; La web en desarrollo es el contexto creciente para su propia expansión, 192; Un breve comentario sobre los modelos estándar de crecimiento económico, 193; Un primer modelo estadístico de lo adyacente posible, 193

Apéndices
Bibliografía. 199
Índice onomástico 203

Tras los éxitos alcanzados por Descartes, Newton y Laplace, y el advenimiento de la física clásica, hemos llegado a considerar esta ciencia como la respuesta a todas nuestras preguntas sobre qué *es* la realidad. Y, en nuestra búsqueda, hemos llegado a pensar que el mundo es una gigantesca máquina. La relatividad especial y la general no hacen más que expandir el marco newtoniano fundamental. La mecánica cuántica y la teoría cuántica de campos alteran algunos de los aspectos deterministas básicos de la física clásica, pero no esa visión de la realidad como una gigantesca «máquina».

La tesis que planteo en este libro es que, respecto a una biosfera en evolución, ya sea la nuestra o cualquier otra que pudiera existir en el universo, esa idea de la «máquina» es incorrecta. La vida en evolución no es una máquina. Llegar a esta conclusión requerirá algo de tiempo y, aunque las consecuencias de ese cambio de visión no se pueden prever, confío en que entre ellas esté el darnos cuenta de que somos miembros de un mundo vivo que se desarrolla con una inmensa creatividad. Espero también que tal cambio conlleve una mayor conciencia, una mejor apreciación y un profundo sentido de la responsabilidad hacia el mundo vivo.

C. P. Snow escribió un conocido ensayo, titulado *Las dos culturas*, en el que denunciaba la separación entre el mundo

de la ciencia y el mundo del arte. Parte de esta dicotomía proviene de la tradicional oposición entre materia inerte e imaginación humana. Pero entre ambas se encuentra el mundo vivo y en evolución, tanto el dotado de consciencia como el que no la tiene. Espero poder mostrar que, a diferencia de la física, donde prevalecen las leyes, ninguna ley determina el devenir de la biosfera. Nadie sabe ni puede saber con antelación en qué se convertirá a medida que evolucione y dé forma a su propio futuro. La biosfera es, literalmente, «impredecible». Esa emergencia sin ley, contingente pero no aleatoria, nos habla de un lugar a medio camino entre la materia inerte y Shakespeare. La propia vida se despliega entre la física y el arte.

Invito al lector a acompañarme en la exploración de estos temas, aquí apenas esbozados. Hay mucha tarea por delante, más de lo que este libro puede abarcar. Pero a través de él intentaré proporcionarle al menos un buen comienzo.

El universo no ergódico por encima del nivel atómico

¿Ha fabricado ya el universo todos los tipos posibles de átomos estables? La respuesta es «sí». Los bosones y los fermiones, los dos tipos básicos de partículas que la física conoce, se han agrupado ya en todas las combinaciones posibles para producir los ciento y pico elementos que componen la materia. Ahora bien, ¿llegará el universo a fabricar todas las cosas complejas posibles? La respuesta es «no, en absoluto». La mayoría de las cosas complejas no llegarán a existir jamás.

Es fácil entender por qué. Las proteínas son secuencias lineales de 20 tipos de aminoácidos (alanina, fenilalanina, lisina, triptófano, etc.). La secuencia concreta de esos 20 ami-

noácidos a lo largo de la cadena principal de una proteína específica, unida por enlaces peptídicos, define la secuencia primaria de esa proteína. A partir de ahí, la proteína se pliega adoptando formas complejas para realizar sus funciones en la célula.

Una proteína típica en un ser humano es una secuencia lineal de unos 300 aminoácidos. Algunas proteínas están compuestas por miles de ellos.

¿Cuántas proteínas se pueden formar con solo 20 aminoácidos? Hay 20 opciones para cada posición, por lo que el número total de proteínas posibles de longitud 200 es 20 elevado a 200. Esto viene a ser 10 elevado a 260 (10^{260}), un número hiperastronómico.

El siguiente punto es constatar que el universo no puede haber producido más que una fracción muy pequeña de esas proteínas posibles en el tiempo transcurrido desde el Big Bang.

Según las estimaciones actuales, la edad aproximada del universo es de 13.700 millones de años, lo que equivale a unos 10^{17} segundos. En el universo conocido se estima que existen 10^{80} partículas. La mecánica cuántica nos dice que el intervalo de tiempo más corto en el que puede ocurrir algo en nuestro universo es el tiempo de Planck: 10^{-43} segundos.

Si las 10^{80} partículas del universo no hubieran hecho otra cosa desde el Big Bang que construir proteínas al compás del reloj de Planck, se tardaría 10^{39} veces la edad actual del universo (13.700 millones de años) en obtener, una sola vez, cada una de las proteínas posibles de 200 aminoácidos de longitud. (Aunque, curiosamente, en apenas unos miles de millones de años han surgido los 20 aminoácidos que codifican las proteínas.)

Al universo, en cualquier caso, solo le ha dado tiempo a fabricar una pequeña fracción (1 parte en 10^{39}) de todas las

proteínas posibles, cada una de las cuales consta de 200 aminoácidos.

La historia entra en escena cuando el espacio de lo posible es mucho más grande que lo que puede llegar a hacerse realidad. Por ejemplo, la evolución de la propia vida es un proceso fundamentalmente histórico. Lo mismo ocurre con la química espacial y la formación de moléculas complejas. Y esta es la razón por la que el devenir del universo por encima del nivel atómico es un proceso histórico.

El término utilizado por los físicos para denominar esta historicidad es «no ergódico». Un sistema «ergódico» es aquel que es capaz de recorrer todos sus estados posibles durante un periodo «razonable» de tiempo. El ejemplo característico, proveniente de la mecánica estadística, es un recipiente lleno de gas que alcanza rápidamente el equilibrio. Las partículas de gas que pululan en el interior del recipiente asumen casi todas las potenciales configuraciones antes de adoptar el estado más estable posible. Por el contrario, un sistema «no ergódico» es incapaz de recorrer todos sus estados posibles. Es lo que ocurre con los aminoácidos, que no pueden producir todas las proteínas posibles, incluso transcurrido un número gigantesco de veces esos 13.700 millones de años que tiene el universo.

Si nos preguntamos si el universo ha creado ya todos los átomos estables, la respuesta es afirmativa. Así pues, el universo es básicamente ergódico en lo relativo a los átomos. Sin embargo, no es ergódico en relación con las moléculas complejas. Y cuanto más complejo es el tipo de molécula, menos estados ha recorrido desde el Big Bang. Pensemos en proteínas formadas por $N = 1, 2, 3, 4, \dots, N + 1$ aminoácidos. A medida que N aumenta, el universo muestrea las posibles secuencias de forma cada vez más dispersa. El universo puede seguir explorando e incrementando su complejidad indefi-

nidamente. En este sentido, no existe un «límite superior» para la complejidad. El universo puede explorar dominios infinitamente vastos.

Más allá de la segunda ley

La segunda ley de la termodinámica establece que el desorden tiende siempre a aumentar, un desorden que se mide en términos de entropía. De nuevo, el caso típico es el de un sistema termodinámico cerrado, formado por partículas de gas en un recipiente, las cuales exploran cada una de las configuraciones posibles antes de alcanzar un estado de equilibrio. El sistema adopta lo que se denomina el «macroestado» más probable: el estado de máxima entropía. La segunda ley afirma que la entropía tiende a aumentar a medida que un sistema fluye de macroestados menos probables a macroestados más probables, como por ejemplo esa taza de café humeante que se enfría hasta quedar tibio y luego frío, o como ese cubito de hielo que se va derritiendo hasta convertirse en un charquito.

Pero si todo avanza irremisiblemente hacia un estado de máxima entropía, ¿cómo pueden el universo y, en particular, la biosfera ser tan enormemente complejos? En realidad no lo sabemos. Parte de la explicación es que el universo en sí mismo todavía va camino de alcanzar el equilibrio (una oscuridad homogénea que los cosmólogos denominan «muerte térmica») y que la biosfera no es un sistema cerrado: el sol brilla sobre nosotros y nos proporciona energía para construir complejidad, esquivando la entropía aunque solo durante un tiempo.

Una razón más profunda podría ser que al universo no le es posible «agotar» la complejidad. La libre exploración de sus vastas posibilidades se produce en los ámbitos de la com-

plejidad de la química del espacio y de la creciente diversidad de la biosfera. Cabe preguntarse, pues, en qué modo ese «sumidero» de complejidad puede influir en la complejidad emergente del universo. En lo relativo a la biosfera, esta se ha vuelto compleja y ha alcanzado una enorme diversidad desde su origen en la Tierra hace unos 3700 millones de años. Es razonable pensar que lo mismo ha debido suceder en otras potenciales biosferas del universo. Algo impulsa «hacia arriba» a las biosferas en cuanto a diversidad y complejidad. Pero ¿en qué modo ocurre y por qué?

Confío en poder mostrarle al lector al menos una parte del origen de ese impulso: una versión fuera de equilibrio de la famosa segunda ley, un principio que ayudaría a explicar cómo la biosfera de hoy puede ser mucho más compleja de lo que era hace 4000 millones de años. La química del espacio muestra esta creciente complejidad. Tras el Big Bang se crearon los elementos estables. El meteorito de Murchison, formado hace unos 5000 millones de años, contiene unos 14.000 tipos de moléculas orgánicas, fabricadas a partir de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre. La biosfera en evolución manifiesta esa complejidad continuamente creciente, desde las protocélulas de hace 3700 millones de años hasta los millones de especies existentes en la actualidad. El orden es históricamente contingente, pero no totalmente aleatorio. El reto es averiguar, nada menos, de dónde vino ese orden o por qué, en palabras de Darwin, «desde un comienzo tan sencillo han evolucionado, y siguen haciéndolo, las formas más bellas y maravillosas».

La biosfera se construye literalmente a sí misma y lo hace a través de una diversidad creciente. ¿Cómo y por qué ocurre esto? Curiosamente, la respuesta podría ser: «Porque el mundo vivo *puede* volverse más diverso y complejo y, de manera constante, *crea su propio potencial para hacerlo*». Ello exige

aprovechar la liberación de energía para construir orden, antes de que ese orden pueda ser destruido por la segunda ley de la termodinámica. Como veremos, la elegante teoría de Montévil y Mossio sobre el cierre de restricciones y los ciclos de trabajo termodinámico ocupan un lugar destacado en nuestra historia.

¿Por qué existe el corazón humano?

Entre las innumerables complejidades que pueblan el universo se encuentra el corazón humano. Pero durante toda su existencia, el universo solo puede llegar a generar una pequeña fracción de todas las proteínas posibles y una fracción aún más pequeña de los potenciales tejidos fabricados con esas proteínas, los cuales, a su vez, son la materia prima de esos órganos que denominamos corazones. La pregunta es inevitable: ¿por qué existe el corazón humano en este universo no ergódico por encima del nivel atómico?

En principio, los corazones existen porque bombean sangre, lo cual representó una ventaja adaptativa para nuestros antepasados vertebrados y, debido a ello, los hemos heredado nosotros.

Darwin nos da una parte de la respuesta: los corazones nos ayudan a sobrevivir y, por lo tanto, resultan favorecidos por la selección natural. Pero Darwin no se dio cuenta de que, a la vez, estaba proporcionando una explicación más profunda de por qué existen los corazones: una vez que la vida se hallaba en curso y en evolución, con los mecanismos de reproducción y variación hereditaria en marcha, si surgía un órgano con la más mínima capacidad funcional de bombear sangre, ese feliz accidente podía resultar una ventaja en organismos demasiado grandes para que el oxígeno llegara a cada una de sus células

mediante simple difusión. En definitiva, *los corazones existen en el universo no ergódico por encima del nivel atómico en virtud de su papel funcional en la supervivencia de los organismos vivos y en evolución que los poseen.*

A medida que se replican, los organismos propagan su organización, la forma en que sus piezas encajan y trabajan juntas. Los órganos son parte de esa organización y existen *por y para el conjunto*. Los corazones existen, en otras palabras, porque la vida existe. Además, como veremos, la vida crea el espacio de posibilidades de expansión hacia el cual evoluciona en ese universo no ergódico por encima del nivel atómico al que pertenece.

Esta es la primera conclusión importante del libro: la existencia de los entes complejos en el universo no ergódico por encima del nivel atómico requiere una explicación, y la respuesta es tan simple como profunda. Los corazones existen *en virtud* de su rol funcional en el mantenimiento de la existencia y el futuro evolutivo de los organismos vivos que los poseen. Los organismos se propagan a un nivel superior al de los átomos y, con ellos, sus órganos sustentadores. Los corazones existen en el universo no ergódico por encima del nivel atómico porque los organismos necesitan de este tipo de dispositivos para existir y proliferar. Como entes kantianos, los organismos llevan consigo las partes que los sostienen. Los organismos con corazón existen, *ergo* los corazones existen.

¿Por qué existen los ojos, las narices, los riñones, los tentáculos con ventosas, el sexo, el cuidado de los padres o el largo cuello de las jirafas? La respuesta es siempre la misma: en virtud de los roles que estos órganos o procesos desempeñan a la hora de garantizar la supervivencia de los organismos que los poseen. Ellos también existen por y para la totalidad.

Todas estas particularidades de nuestro universo se dan en nuestro pequeño planeta azul. Pero si la vida no es un fe-

nómeno excepcional, en los aproximadamente 10^{22} sistemas solares que puede haber en el universo, ¿qué miríadas de cosas complejas, impredecibles y seguramente impensables poblarán ese infinito reino de la complejidad, cada vez más arriba sobre el nivel de los átomos?

¿Qué es un organismo?

Mucho antes de Darwin, Immanuel Kant había afirmado: «Un ser organizado tiene la propiedad de que las partes existen por y para la totalidad». Llamaremos a esto un «todo kantiano». El corazón existe por y para el conjunto del organismo, del cual es una parte funcional. Los seres humanos somos todos kantianos.

En la figura 1.1 se muestra un caso simple de todo kantiano. Se trata de un ejemplo hipotético de lo que denomino un «conjunto colectivamente autocatalítico». El sistema está compuesto por polímeros, del tipo de proteínas pequeñas conocidas como péptidos, y será de gran interés para nosotros a lo largo de este libro. Se inicia a partir de unas «moléculas de alimento», bloques de construcción individuales que llamaremos A y B (los monómeros), más los cuatro dímeros posibles, AA, AB, BA y BB, todos los cuales se suministran desde el exterior. Luego hay polímeros más largos, como ABBA y BAB, formados a partir de ese conjunto inicial por medio de reacciones que empalman dos polímeros para crear un polímero más largo, o rompen un polímero largo en dos fragmentos. Pero la idea importante es esta: las reacciones que dan lugar a esos productos son catalizadas por los propios polímeros que conforman el sistema. El sistema es, pues, colectivamente autocatalítico.

(Un ejemplo más simple constaría de dos pequeños polímeros, AB y BA, fabricado cada uno por una reacción que

une A con B. En este caso, AB catalizaría la reacción que forma BA y BA catalizaría la reacción que da lugar a AB. El conjunto sería colectivamente autocatalítico.)

En un conjunto como el de la figura 1.1, ningún polímero cataliza su propia formación; en lugar de ello, es el conjunto entero el que cataliza su formación como un todo. Si consideramos que catalizar una reacción constituye una tarea catalítica, todas las tareas se realizan de manera conjunta, dando lugar a una especie de «cierre de tareas catalíticas». Un sistema de este tipo es un «todo» y constituye más que la suma de sus partes. El cierre de la catálisis mutua no está asociado a ninguna de las partes de forma aislada. Por el contrario, ese cierre es una propiedad colectiva.

Un sistema así puede, literalmente, construirse a sí mismo y reproducirse. Es un todo kantiano, dotado de partes que existen por y para el todo. Será mi modelo básico para describir el origen e incluso el carácter de la vida.

Los conjuntos colectivamente autocatalíticos emergen de manera espontánea en soluciones químicas suficientemente diversas. Tales sistemas existen, constituidos por péptidos, ARN y ADN. Estoy convencido de que esos sistemas pueden haber sido esenciales en el origen de la vida, algo que analizaré en detalle más adelante.

Dos científicos chilenos, Humberto Maturana y Francisco Varela, propusieron en 1973 la idea de la «autopoiesis», un sistema que se construye a sí mismo. En este sentido, un conjunto colectivamente autocatalítico es un ejemplo de sistema autopoietico.

Todos los seres vivos son sistemas autopoieticos y colectivamente autocatalíticos. Al ser capaces de desarrollar variaciones hereditarias, tales sistemas pueden estar sujetos a la selección natural y construir biosferas evolutivas.

No vivimos aislados. El mundo vivo lo creamos entre to-

Estas cuestiones nos conducen más allá de nuestra tradicional visión del mundo basada exclusivamente en la física. El brillante físico Steven Weinberg decía que: (1) las flechas explicativas siempre apuntan hacia abajo, desde los sistemas sociales a las personas, los órganos, las células, la bioquímica, la química y, finalmente, la física; (2) cuanto más sabemos del universo, más carente de sentido nos parece.

No estoy de acuerdo con esas afirmaciones. Hemos empezado a ver en este libro que los sistemas y subsistemas que llegan a existir en la biosfera no ergódica por encima del nivel atómico (corazones, vista, olfato...) lo hacen *en virtud* de los roles funcionales que desempeñan para favorecer la supervivencia y evolución de los organismos de los que forman parte. El oído surgió al evolucionar las mandíbulas de un pez primitivo que eran sensibles a la vibración, y que se acabarían convirtiendo en el martillo, el yunque y el estribo de nuestro oído medio. Nadie podría haber predicho, hace 3000 millones de años, que el oído surgiría y evolucionaría. No habríamos podido prever esa emergencia evolutiva. Pero los huesecillos del oído medio existen actualmente en el universo no ergódico por encima del nivel atómico en virtud de su papel funcional en la supervivencia y evolución de los organismos dotados de este sentido. Las flechas explicativas no apuntan hacia abajo desde la audición a la física, sino hacia la selección de órganos que favorecen la audición. Esa selección actuó a nivel de organismos enteros a medida que el oído en sí mismo evolucionaba. Y esa es la razón por la que tales órganos existen en el universo y por la que Weinberg está simplemente equivocado.

Volveré más adelante a nuestra incapacidad para prever la emergencia del sentido del oído, y a partir de ello concluiremos que ninguna ley «determina» cómo ha de ser la evolu-

ción de la biosfera y que el reduccionismo, el sueño de Weinberg de una teoría final, es vano.

El mundo visto como una máquina

Antes de Descartes y Newton, el pensamiento occidental contemplaba un Cosmos, un todo orgánico del cual éramos miembros. Este era el punto de vista de la Iglesia. Con su *res cogitans*, Descartes asignó una materia mental a los seres humanos. El resto del mundo, incluidos nuestros propios cuerpos y todos los animales y plantas, eran *res extensa*, materia extendida, puro mecanismo. Con los *Principia* de Newton, las cuatro causas de Aristóteles (material, formal, eficiente y final) se reducían a una versión matemática de la causa eficiente: el cálculo diferencial e integral de Newton, tal como se refleja en sus tres leyes del movimiento y la gravitación universal. A partir de las posiciones y los momentos de todas las partículas del universo, el demonio de Laplace podría calcular todo su pasado y su futuro. Para la física clásica, el mundo se convirtió en una gigantesca máquina, con sus predecibles órbitas. Había nacido el reduccionismo moderno. El Dios teísta se transformaba en un Dios deísta que había creado el universo, establecido las condiciones iniciales y dejado que las leyes de Newton tomaran el mando. Este nuevo Dios ya no podía actuar sobre el mundo para hacer milagros. La lucha entre la ciencia y la religión se recrudeció, y a ella siguió la rebelión de los románticos. Era «la ciencia de la regla y la línea», como se lamentaba Keats.

Weinberg sigue esa tradición. El mundo científico es una máquina sin significado, una auténtica pesadilla para Shakespeare y sus personajes. Personalmente, discrepo de esa vi-

sión, porque, entre otras cosas, carece de los conceptos fundamentales de consciencia y agencia.

En efecto, un concepto ausente en ese mundo según la física es la idea crucial de agencia, de la que nos ocuparemos en un capítulo posterior. Con la agencia en escena, existe el significado en el universo, diga lo que diga Weinberg. Somos agentes que participan en complejos y elaborados juegos unos con otros. Sin embargo, las rocas no lo hacen. Entonces, ¿de qué propiedad debe estar dotado un sistema para ser un agente? ¿Qué deben poseer los sistemas para desarrollar esos complejos juegos de la vida que se entrelazan entre sí? Esta complejidad forma parte de la complejidad del universo.

Dejaremos de lado por ahora el asunto clave de la consciencia. Incluso si la biosfera estuviera compuesta exclusivamente por organismos carentes de ella, la evolución no sería en absoluto como el mecanismo de una máquina. En el universo no ergódico por encima del nivel atómico, el mundo biótico se agita más allá de las ecuaciones y del cálculo laplaciano, de la regla y la línea que entristecían a Keats, y avanza con tenacidad hacia las posibilidades adyacentes que la propia vida crea. La biosfera en evolución se ve «atraída» por las oportunidades de explorar cotas imprevisibles de complejidad, de organizaciones de materia y energía nunca vistas. Y la evolución de la biosfera es un «todo» orgánico. Son sus miembros los que crean conjuntamente los caminos evolutivos por los que la biosfera como un todo transitará, procedente de un pasado no menos misterioso. Este mundo viviente como un todo es el Cosmos que perdimos con Descartes.

El resto del presente libro tratará de desarrollar las implicaciones contenidas en los anteriores párrafos.