

Malicorne

Reflexiones de un observador de la naturaleza

Título original: Mancorné. Réflexions d'un observateur de la nature

Traducción: Alicia Revello Corrección: Esther Andrés Gromaches

Diseño de la cubierta: Ernesto Aparicio

Emecé Editores, S.A

ISBN: 84-7888-076-3

A los enamorados de la ciencia y la poesía.

Indice

Una mañana de junio en Malicorne 3

PRIMERA PARTE 6

Reflejos de luz

Ciencia y poesía

I. El imperio de los números 6

Puesta de sol sobre el Pacífico

El imperio de los números

Mitología pitagórica

El lenguaje de Dios

La escala de los conocimientos

El pedestal de bronce puro

¿Cómo llegan las matemáticas a los seres humanos?

II La decadencia del imperio 12

Los matemáticos inventan

Einstein y la geometría

Heisenberg y el álgebra

Inventar, sí, pero

Las matemáticas no son perfectas

El espejismo de una física definitiva

«Terra incógnita»

¿En qué punto nos encontramos?

Las ideas tienen una historia

El número y el numerante

Un carrusel infernal

El círculo de los conocimientos

El huevo y la gallina

Los interrogantes

III. Construir 24

¿Los pájaros saben contar?

Los «compartimientos vacíos»

Cómo aprenden a contar los niños

Los «puntos límite»

La «maquinaria del cerebro»
Imágenes mentales y descargas neuronales
Moléculas y memoria
El espíritu de las moléculas y las moléculas del espíritu
Una mitología molecular
¿En qué punto nos encontramos?
IV. Los lugares de la construcción mental 32
Compartimientos llenos
La lógica y el cuerpo
Se encoge el vientre
El terror del «no yo»
El telescopio sucede al osito de peluche
El nombre de las flores
La importancia de las palabras
El abismo de lo impensado

SEGUNDA PARTE 39

Mariposas sobre un campo de colza
Ciencia y libertad
V. Las mariposas y las leyes de la física 39
El mensaje de Demócrito
Las horas de gloria del polo «necesidad»
Las horas de gloria del polo «azar»
El desbarajuste de los paisajes aleatorios
La reconciliación
Las teorías del caos
Sensibilidad a los datos iniciales
De leyes y relojes
Bucles de retroacción
El efecto «mariposa»
Una sutil dosificación
VI. La termodinámica y el vuelo de las mariposas 48
La vida no es una excepción a la «regla de la entropía»
La vida no está condenada a desaparecer
No se puede afirmar que el universo tienda inexorablemente hacia un estado de desorden máximo
Las mariposas y la expansión del universo
La naturaleza está estructurada como un lenguaje
La construcción de la pirámide
Los equilibrios son estériles
Formas de cristalización
VII. Las mariposas y la flecha del tiempo 57
Reconocer el sentido de la flecha
¿Nada más?
Una sombra más sobre el hoy
SOS computadoras

La secuencia del mundo
Una mariposa hace primavera

TERCERA PARTE 66

Desde el punto de vista de la radiación fósil
VIII. El artesano del octavo día 66
Las raíces cósmicas de la creatividad
El arte como terreno de juego
El juego de las «propiedades emergentes» Una retrospectiva histórica
Proseguir la innovación
Abrir el abanico
Mensaje para el artista
IX. Una chimenea en el campo 73
Las leyes del cielo y de los átomos
El furor de crear
La ley de la selva
Una legislación a corto plazo
Una paradoja insoslayable
La naturaleza antes que el hombre
La naturaleza amenazada
El responsable de la naturaleza
Una jurisdicción de la complejidad
Ecología y chimeneas
Una caso concreto: el aborto
Garantizar y promover el desarrollo de la complejidad
X. Un campanario por encima de las hayas púrpuras 81
¿Dios ha muerto? ¿Ciencia o religión?
Roles diferentes
Las intrusiones territoriales:
la religión invade la ciencia
la ciencia invade la religión
Las historias santas
Roles diferentes pero no sin relaciones
Moral, ciencia y visión del mundo
¿Estamos verdaderamente solos?
A propósito de la sobreestimación de los conceptos
Saturno y la experiencia del mundo
Dios ya no es lo que era
Apéndices 90
I. Entropía máxima y entropía real
II. La reversibilidad temporal de los fenómenos físicos: in vitro e in vivo
III. Fluctuaciones cuánticas y mitologías pitagóricas
Notas 96
Bibliografía 110

Una mañana de junio en Malicorne

Una gran danza de pólenes se dibuja en el aire azulado cuando, con la mano, tapo el sol matinal. Minúsculos copos blancos emergen de la sombra, se deslizan lentamente por las capas de aire y se iluminan un instante antes de regresar a la espesura, en donde vuelven a destacarse en la sombra. Cada copo porta un grano, preciosa carga, formidable banco de información que se depositará en algún lugar de la campiña para que florezcan nuevas primaveras.

A mis pies corre un arroyo. Algunos grandes alisos extienden en la orilla de su cauce nudosas raíces por donde el agua se escurre y se agita. Los rayos del sol platean los remolinos que esos obstáculos imponen a los movimientos del líquido. Algunos contornos tornasolados oscilan y brillan como delgadas bandas luminosas. Una libélula de un azul metálico circula por ahí, ruidosa.

Alisos, haces de troncos que emergen de un revoltijo de raíces medio sumergidas, pesadas ramas inclinadas como puentes múltiples sobre el lecho del río; qué placer mirarlos cuando, de entre la sombra que proyectan, salen de los círculos plateados a la superficie del agua. Se oye el canto incansable y triste de una tórtola.

Amo este paisaje, el cielo reflejado en el agua, imagen en movimiento del azul entre las ramas que se balancean suavemente. El movimiento de mis pasos me dirige cotidianamente hacia los ríos sombreados que corren por el fondo de los valles.

Me siento sobre el tronco de un árbol. Para conservar el recuerdo evanescente de estos momentos sublimes, los grabo en un dictáfono. Las líneas precedentes han fijado en mi memoria el esplendor de una mañana de junio, a la orilla del Branlin.

Malicorne es un pequeño pueblo de Puisaye, el terruño de Colette, situado al norte de la Borgoña. En esta campiña fértil, verde, levemente ondulada, se puede caminar durante horas sin encontrar un solo automóvil. Es un lugar donde hay que quitarse el reloj e insertarse en el ritmo de la naturaleza, del que la vida moderna nos separa tan cruelmente. Ahí se ponen de manifiesto las estaciones. El olor de las flores de las acacias o de los tilos señala la primavera, y la aparición de las malvas cólquicas en los prados húmedos nos anuncia, como quien no quiere la cosa, que el otoño ya ha llegado.

Este libro ha nacido de mis paseos por esa campiña. En realidad, se ha ido haciendo solo. Como sin saberlo yo. He sido más el espectador que el autor. Se lo debo a las estelas de luz dorada que brillan sobre un tapiz de vincapervincas en la penumbra del bosque.

Ahí me invade una gran paz. Atento a los sonidos y a los olores, me maravillo con la presencia tranquila del mundo vegetal. Me siento vivo, en la superficie del planeta Tierra, en el instante presente de la evolución del universo.

A lo largo de estos paseos me vienen a la mente imágenes que traen consigo ideas que llevan largo tiempo madurando en las profundidades interiores. En medio de la serenidad del lugar brotan al nivel de mi conciencia. A veces se trata de un simple enunciado más o menos lapidario. En otros momentos, un torrente de palabras se precipita y fluye, inagotable. Lo dicto entonces en desorden a mi fiel magnetófono. De regreso en casa, lo transcribo todo en un cuaderno. Después de varios años he acumulado centenares de páginas.

¿Qué hacer con todo ese material? En un primer momento pensé publicar las páginas de ese cuaderno sin ninguna alteración. Como se entrega un periódico. Pero pronto renuncié a esa fórmula. El conjunto daba una imagen de confusión y de incoherencia difícilmente aceptable. Sin embargo, la idea de extraer de ellas un texto estructurado parecía poco compatible con el deseo de conservar en esas páginas su dimensión personal y subjetiva.

Adopté una solución intermedia. Hice una lista de los temas que, como tantas preocupaciones obsesivas, se repiten más frecuentemente. Luego agrupé los textos que, en mayor o menor medida, se relacionan con esos temas. Con la intención de conservar una espontaneidad cercana al contexto en el cual fueron elaboradas esas reflexiones, no he intentado evitar las ambigüedades ni las repeticiones inútiles. Sobre todo, no he querido hacer «filosofía», en el sentido tradicional del término. Desconfío de la coherencia de los pensamientos globalizadores y de la lógica de los «sistemas del mundo». Cada uno de nosotros procura pensar en su propia existencia y en su propio destino. Podría ocurrir que, para algunos, esas reflexiones adquieran el valor de testimonio y de inspiración. Por lo menos esa es mi esperanza al escribir este libro.

Ahora que este trabajo está terminado, puedo fácilmente describirlo. Entre líneas hay, a lo largo de todas estas páginas, el tema de las relaciones entre la ciencia y la cultura; entre lo que se sabe y lo que se hace. Me he preguntado en qué medida los nuevos conocimientos son capaces de afectar el modo en que contemplamos nuestra actividad humana. Los capítulos del libro hacen referencia, sucesivamente, a las relaciones entre la ciencia y la poesía, la ciencia y la libertad, la ciencia y la creación artística, la ciencia y la actividad jurídica, la ciencia y la religión.

Esta preocupación, desde luego, no es nueva. Con el progreso de los conocimientos científicos, la visión del mundo evoluciona. La revolución cultural del Renacimiento, por ejemplo, está asociada con la observación de los planetas mediante el telescopio. La Tierra deja de ser el centro del cosmos. Se adquiere conciencia de la inmensidad del universo y esto influye en todas las formas del pensamiento y de la actividad humana. El impacto se deja sentir incluso a nivel de la realidad cotidiana. La vida de Galileo, de Bertolt Brecht, nos brinda una elocuente dramatización de ello.

La observación de las galaxias, a comienzos del siglo XX, llevó al descubrimiento más importante de la ciencia contemporánea: ¡nuestro universo tiene una historia! En mi libro *Paciencia en el cielo*, presenté los hechos y los argumentos que justifican esta nueva visión del mundo.

Según la expresión de Jean Marc Lévy-Leblond, es necesario perpetuamente «inscribir la ciencia en la cultura». ¿En qué sentido la visión de un universo histórico afecta a nuestro modo de pensar y de actuar? No se trata aquí de buscar «explicaciones» reduccionistas de nuestras actividades humanas. La jurisprudencia, la creación artística y la exaltación mística existen, cada una de pleno derecho, y no requieren justificación científica alguna. Con mayor modestia cabe esperar que, al reinsertarlas en la historia a la cual pertenecen, se llegue a proyectar sobre estas actividades una luz nueva.

El tema de la «reconciliación» estará presente a lo largo de estas páginas. En la primera parte: Reflejos de luz, veremos cómo la visión científica y la visión poética, lejos de excluirse, se unen para hacernos percibir el mundo en su verdadera riqueza.

La evolución del pensamiento científico con respecto al tema de la «libertad» y de la «creatividad» está descrita en la segunda parte, titulada: *Mariposas revoloteando sobre un campo de colza*. Gracias a los progresos de las matemáticas y de la astronomía podemos ahora integrar esas nociones en el marco del pensamiento científico.

La tercera parte reagrupa reflexiones sobre diversas actividades humanas. La creación artística, la legislación y la función religiosa adquieren connotaciones nuevas cuando se las somete a la luz de nuestros conocimientos contemporáneos. La expresión «desde el punto de vista de Sirio», utilizada a veces en contextos similares, se transforma, en esta ocasión, en: *desde el punto de vista de la radiación fósil*. En la escala que nos interesa, Sirio no está lo bastante alejada...

A lo largo de estas páginas hablaremos de *juegos*. Analizaremos el papel de los juegos en la elaboración de la complejidad cósmica. De manera paralela, procuraremos delimitar las condiciones requeridas para que se produzcan los *espacios de libertad* en donde esos juegos pueden llevarse a cabo, tanto en el seno del cosmos como en el ser humano.

Esas reflexiones nos conducirán repetidas veces hacia un territorio privilegiado: el *área de juego*, donde el niño intenta afrontar el mundo exterior. Fue el psicoanalista inglés D. W. Winnicott quien puso de manifiesto la importancia capital de ese lugar en relación con las diferentes actividades de la psique humana. Cada una de ellas extrae de él, a su modo, su motivación y su dinamismo. Estudiándolas a partir de este lugar, es posible entrever, a la vez, sus unidades profundas y sus diferencias específicas. Sus conflictos seculares y sus aparentes contradicciones encuentran entonces esbozos de soluciones.

El título del libro desea señalar que no se trata aquí de tesis estructuradas y coherentes, sino de impresiones personales, motivadas por espectáculos muy simples: los reflejos de la luz solar en un árbol, los matorrales floridos con los primeros rayos cálidos del sol primaveral, un vuelo de mariposas, un campanario, una chimenea en el campo. Situando esas reflexiones en un marco campestre, he querido concederme a mí mismo un «espacio de libertad» —¡una *área de juego*!— desde donde puedo aventurarme a terrenos poco firmes, como uno puede hacer estando entre amigos.

Por encima de todo, he procurado que estas reflexiones conservaran su carácter subjetivo. Como cualquier otro ser humano, estoy incluido en la realidad que describo. Cuando me enfrento con los problemas y los conflictos de la vida humana, reacciono con mi sensibilidad y mi emotividad. Se encontrarán rastros de ello a lo largo de estas páginas.

Una observación sobre el vocabulario. Empleo de manera indistinta los términos «naturaleza» y «universo». Por lo demás, tengo una fastidiosa tendencia a personalizar estas entidades. Me hubiera gustado que, como los *gadgets* de la revista infantil *Pif*, el editor distribuyese con el libro una bolsa de comillas. El lector habría sido invitado a colocarlas, a su gusto, allí donde hubiera sentido la necesidad de hacerlo. Si bien conviene no tomar demasiado en serio el lenguaje antropomórfico, hay que reconocer que es enormemente útil en el plano de la pedagogía...

En Malicorne vivimos entre los grandes árboles de una antigua granja borgoñona. Me encanta plantar árboles, en particular los que tienen una gran longevidad: cedros del Líbano, cedros del Himalaya, metasecuoyas de Setchuan, robles rojos, castaños. He sembrado secuoyas que ahora tienen más de tres metros de altura. En nuestra jerga de Malicorne, este conjunto de árboles se llama el «bosque milenario».

Ser responsable de estos árboles que me sobrevivirán durante largo tiempo me complace infinitamente. (Saldré de mi tumba si a alguien se le ocurre cortarlos.)

Los visito a menudo. Su intensa presencia me habla y me inspira. Me es grato reconocer su contribución a las reflexiones que presento en este libro.

PRIMERA PARTE

Reflejos de luz Ciencia y poesía

I El imperio de los números

Un gran cielo azul intenso pone de relieve los colores rojizos y pastel del follaje de otoño. Entre las sombrías coníferas y los arces escarlata, los álamos agitan sus hojas al capricho del viento matutino. Movimientos rápidos, oscilaciones rítmicas como un centelleo de reflejos plateados sobre el mar.

Enmarcada por los troncos blancos, esta agitación, o mejor, este hormigueo de luces vivas, proporciona al ojo una sensación de plenitud y de perfección. Aquí todo tiene su razón de ser.

El espíritu humano no se limita a admirar. También quiere comprender. En la actualidad, después de dos mil años de investigaciones científicas, hemos aprendido mucho. Sabemos por qué el cielo es azul, verde o rosado, y por qué el follaje cambia de color. Conocemos las leyes que rigen el gracioso balanceo de las hojas en el extremo de su peciolo. Estamos en condiciones de calcular el número de fotones que esta vegetación refleja hacia nuestros maravillados ojos.

Pero ¿acaso la magia de semejante espectáculo no está amenazada por la perfección de tales explicaciones? ¿La poesía tiene aún algo que decir después del paso de la ciencia? ¿El encanto indecible de esta mañana de otoño resiste el análisis de los delicados mecanismos que el ojo inexorable del investigador ha sabido detectar?

Este interrogante se da con frecuencia en las preguntas que me hacen al finalizar mis conferencias. Revela una preocupación muy presente entre nuestros contemporáneos. Si la abordo en estas páginas, es también porque, en la encrucijada de mis gustos naturales por la ciencia y la poesía, yo mismo me la he planteado a menudo.

Puesta de sol sobre el Pacífico

Mi primer recuerdo a este respecto se remonta a la edad de dieciocho años. Me encontraba entonces en la costa oeste del Canadá para seguir un cursillo de verano en el Dominion Astrophysical Observatory.

Por la tarde iba regularmente a ver la puesta de sol sobre el océano. El acontecimiento que voy a relatar tuvo lugar durante un crepúsculo particularmente espectacular cuyos menores matices, después de cuarenta años, están aún grabados en mi memoria.

A lo lejos, las cumbres nevadas de las montañas costeras pasan lentamente del blanco al rosa. Reflejados sobre las aguas tranquilas del mar, esos colores se despliegan sobre el extenso oleaje venido de mar adentro.

En la dulce contemplación a la cual me abandono, un repentino pensamiento me turba profundamente y «me arranca de mi ensueño como una muela», como habría dicho Jacques Prévert.

Los espectáculos marítimos me resultan familiares desde hace mucho tiempo. Interminablemente, he recorrido las abruptas costas de Gaspesia y las inmensas playas del golfo de San Lorenzo. Pero, desde mi

última visita al océano, ha ocurrido algo que adquiere en este instante toda su importancia. Como estudiante del Departamento de Física de la Universidad de Montreal, he conocido, algunos meses atrás, las ecuaciones de Maxwell.

Maxwell es un físico escocés del siglo pasado. Le debemos, en gran parte, la teoría de la luz. Las ecuaciones de las que es autor nos proporcionan una excelente representación matemática de los comportamientos luminosos. Reflexiones, refracciones, difracciones, interferencias; todos los juegos de la luz nacen de la interacción de los átomos con campos eléctricos y magnéticos. Soberbia, matemáticamente elegante y físicamente eficaz, la teoría de Maxwell despierta el entusiasmo del estudiante que la analiza por primera vez. Es uno de los grandes momentos del aprendizaje de la física.

Frente a este océano sereno, gloriosamente coloreado por la puesta de sol, una voz interior se deja oír: «Estos dibujos, estas formas, estos matices tornasolados son soluciones matemáticas de las ecuaciones de Maxwell. Perfectamente previsibles y calculables. Nada más».

En mi cabeza se produce el pánico. El temor de ver desintegrarse este exquisito placer que me posee. ¿Debo renunciar para siempre a él ahora que he mirado por encima de la valla y he probado el fruto envenenado del conocimiento? En la medida en que ese sacrificio cruel me parece inaceptable, así también me parece imposible dar marcha atrás. En mi cielo interior, las ecuaciones de Maxwell se alzan frías, inexorables. Su cruda luz acaba, me parece, con la frágil magia del cielo rosado y el mar con reflejos tornasolados.

Trastornado por este conflicto, abandono el paisaje que se me ha hecho insoportable para regresar a mi casa a pie, bordeando los secuoyas gigantes de Beacon Hill Park. Me asalta un violento dolor de cabeza, como si tuviera una cuña de metal hundida en mi cráneo. Atrapado en ese dilema, comprendo entonces el sentido primero de la palabra «esquizofrenia», desgarró mental.

Aquel día me marcó durante mucho tiempo. Es el origen de un largo recorrido que prosigue aún hoy. En la búsqueda de una solución, o más bien de una reconciliación, he tenido que explorar numerosos caminos. Me he internado en rutas a veces inesperadas, con la esperanza de recobrar el derecho de gozar apaciblemente del espectáculo de las olas rosadas sobre el mar tranquilo.

Es este recorrido el que quisiera trazar aquí para todos aquellos que, como yo, en un momento de su vida han experimentado el dolor de esa cuña cruel. ¿Es posible todavía dejarse llevar por el deslumbramiento de los espectáculos naturales cuando lo científico nos hace ver lo que hay entre bastidores? Al principio se imponen algunas precauciones. Se trata de una marcha sin orden ni concierto alrededor de un interrogante. O también de un relato como el que uno hace a sus amigos cuando vuelve de un viaje. Visitaremos juntos numerosos terrenos de la actividad humana. Mi objetivo no es presentar síntesis exhaustivas. Sólo retendremos los elementos capaces de iluminar nuestra linterna.

Es costumbre, para contar las peripecias de un largo periplo, presentar a los oyentes un resumen del recorrido. Esta práctica es eminentemente útil cuando el trayecto implica meandros, desvíos y miradas hacia atrás. De este modo cada cual puede, en todo momento, volver a situarse con relación al conjunto del recorrido.

Este periplo va a ocupar cuatro capítulos de este libro. En el primero trazaremos la historia del nacimiento y del ascenso de los números, y en el segundo analizaremos las causas de su decadencia.

Veremos cómo, después de haberse impuesto progresivamente como la expresión última y perfecta de la realidad, las matemáticas tropezaron con algunas dificultades que las han llevado a su verdadera dimensión.

La lógica, que es la base de las matemáticas, se nos aparece ahora como un proceso en devenir; un procedimiento imperfecto, como todas las cosas humanas, que busca desesperadamente su propia coherencia. En este nuevo *status*, se ve inducida a renunciar a unas pretensiones hegemónicas que ya no está en condiciones de justificar.

En los dos capítulos siguientes procuraremos comprender cómo el pensamiento lógico llega al hombre. Intentaremos identificar los elementos a partir de los cuales se construye (tercer capítulo). El psicoanálisis nos permitirá reconocer los lugares de su nacimiento: la angustia del niño pequeño frente a la aterradora realidad (capítulo cuarto).

Situado en este contexto más realista y más modesto, el exacto papel del pensamiento lógico no es, como se pretendió, el de eliminar las otras formas de actuación del alma humana, sino asociarse a ellas para alcanzar y explorar juntos las múltiples facetas de la realidad. *The full mind is alone the clear*, escribió Schiller.

Si cito este verso en inglés es porque no conozco una traducción adecuada en francés, y el alemán no nos resulta familiar. El sentido es aproximadamente este: *es necesaria la intervención de todas las facultades del alma humana para alcanzar la realidad en toda su magnitud*. He procurado traducir este verso. Mi mejor fórmula: *la claridad es el atributo del alma entera*, está lejos de satisfacerme. Si algún lector tiene una idea para su traducción, le quedaría muy agradecido si me la hiciera llegar (escribiéndome a Éditions du Seuil).

El imperio de los números

¿De dónde viene esta pretensión hegemónica que, en mi cerebro, yo concedía tan gustoso al discurso científico? ¿Con qué derecho éste podría desplazar a todos los demás discursos? ¿Sobre qué bases —delito mucho más grave— podría exigirme que me viera privado de una fuente de placer inagotable: la admiración ingenua ante la naturaleza?

La historia del imperio de los números comienza hace más de dos mil quinientos años a orillas del Mediterráneo. Procurando comprender el mundo que los rodea, los pensadores griegos tienen una idea genial. Detrás de la extraordinaria complejidad de la realidad visible existe algo «simple» invisible. Esto tan «simple» estaría compuesto por algunos elementos fundamentales —una especie de ladrillos— a partir de los cuales todo se construye, se ordena y se organiza.

«Pensar» la realidad sería, en primer lugar, procurar identificar esos elementos. Luego intentar desmontar, uno por uno, los mecanismos por los cuales la complejidad visible de la realidad se construye a partir de esos elementos primordiales.

Esta búsqueda de los ladrillos fundamentales de la realidad va a proseguir durante varios siglos. En un comienzo se invocará a diversos elementos materiales: el agua, el fuego, el aire, la tierra. Esta identificación primitiva con sustancias concretas (1)¹ será pronto reemplazada por elementos¹ más abstractos. Se pasará del terreno de las cosas al de las ideas.

¹ Las notas aparecen al final del libro

Mitología pitagórica

Todos recordamos el teorema de Pitágoras sobre la suma de los cuadrados de los catetos del triángulo rectángulo. Sobre el propio Pitágoras es poco lo que se sabe. Se cuenta que, convencido desde su niñez de la importancia fundamental de los números, se fue a estudiar matemáticas a Egipto, con los sacerdotes del culto faraónico. Del mismo modo que hoy se va a buscar el saber más elevado a las grandes universidades norteamericanas.

Es la música la que aportó a Pitágoras la iluminación del conocimiento. Existe una sencilla relación entre la longitud de las cuerdas de una lira y el sonido que emerge de ella. Reduciendo la cuerda a la mitad, se asciende una octava; acortándola dos tercios, se obtiene una quinta; pasando a los tres cuartos, se obtiene una cuarta. De igual manera, el sonido generado por un martillo sobre un yunque es proporcional al peso del martillo.

Inspirado por la armonía musical de los martillos y de las cuerdas vibrantes, Pitágoras hace una afirmación revolucionaria (para la época): la naturaleza es *fundamentalmente matemática*. Los números gobiernan la realidad en su conjunto. Son su esencia misma. El número es la clave del cosmos.

Pitágoras y sus discípulos procurarán aplicar esa hermosa idea a todos los terrenos de la actividad humana, incluida la moral y la justicia. Se trata, a la vez, de una síntesis y de un formidable programa de investigación.

«¿Qué es lo más sabio?», preguntan los pitagóricos: «el número». «¿Y qué es lo más bello?»: «la armonía de los números». De esta época data la expresión «música de las esferas celestes». Se cuenta que uno de ellos, llamado Eurite, se había propuesto encontrar el *número característico* de todos y cada uno de los seres vivos. Para lograrlo contaba, por ejemplo, la cantidad de piedrecitas necesarias para componer la imagen del hombre o del caballo.²

Esta manera de considerar la realidad recibe un poderoso apoyo por parte de Platón. Las ideas desempeñan para Platón aproximadamente el mismo papel que los *números* para Pitágoras. La realidad material es una ilusión. La naturaleza última pertenece al orden de las ideas. Esas ideas «existen» en un «más allá» no localizable, a partir del cual fundan y gobiernan todas las manifestaciones de nuestro universo. «Dios es un geómetra», afirman en común Pitágoras y Platón.

El lenguaje de Dios

Este punto de vista tendrá un éxito enorme. Dominará el desarrollo del pensamiento occidental y de la ciencia. A lo largo de los siglos, será repetido como un eco por un número impresionante de eminentes pensadores.

Galileo escribirá: «La filosofía, escrita en el gran libro del universo, está formulada con el lenguaje de las matemáticas. Sin él, es humanamente imposible comprender cualquier cosa y no se puede sino errar en un laberinto oscuro». «Las matemáticas son el lenguaje de Dios», dirá Newton. Y Einstein: «El mundo es en última instancia inteligible en términos de geometría». Richard Feynman, uno de los más grandes físicos de

nuestra época, admitía gustoso, en conversaciones privadas, su adhesión a la realidad última de las ideas y de los números.(3)

Bertrand Russejl, matemático inglés de comienzos de nuestro siglo, es para nosotros un personaje clave de esta historia. Vivió en directo el apogeo y la decadencia del imperio de los números. Al comienzo de su carrera colocaba en el cénit de su cielo los teoremas matemáticos. Para él, estos teoremas son todo a la vez: las «ideas» de Platón, «el orden eterno» de Spinoza y el «mundo del ser» de todos los metafísicos. Llevado por su entusiasmo, canta a la ciencia de los números con acentos que alcanzan el lirismo:4 «Mundo inmutable, rígido, exacto, delicioso para el matemático, para el lógico, para el constructor de sistemas metafísicos y para todos aquellos que aman la perfección más que la vida». «Las matemáticas no sólo son verdaderas, son también enormemente bellas. Tienen una belleza fría y austera, como la de las esculturas, sin concesión a las debilidades de nuestra naturaleza humana. Evitando las trampas suntuosas de la pintura y de la música, son de una pureza sublime y de una perfección digna de los más grandes maestros del arte.»

Estas palabras impregnadas de lirismo del gran matemático —quién cambiará de opinión más adelante— nos autorizan a hablar de una «mitología pitagórica» para describir esta fe absoluta en la primacía de las ideas y de los números que ha reinado durante más de dos milenios.

«Los iluminados del mundo oculto», decía Nietzsche, lúcido y sarcástico, a propósito de los fieles de esta creencia. Ya veremos que los acontecimientos debían darle ampliamente la razón. Pero, por el momento, continuemos observando la espectacular expansión del imperio de las matemáticas.

La escala de los conocimientos

En el transcurso de los siglos, las cifras invaden de manera progresiva todos los terrenos del conocimiento.

Galileo (se dice) hace girar bolas sobre planos inclinados y mide la distancia recorrida en función del tiempo. Aplica sus resultados al estudio del movimiento de los cuerpos. De esta manera acaba, de un plumazo, con dos mil años de física aristotélica. El movimiento absoluto no existe, el espacio absoluto no existe. Los dos son relativos al observador.

Pascal registra las variaciones de su barómetro entre la ciudad de Clermont-Ferrand y la cumbre de las montañas circundantes. De ahí deduce la existencia de la atmósfera terrestre.

Descartes mide los ángulos de reflexión de la luz sobre los espejos. De ahí las leyes fundamentales de la óptica geométrica.

Durante años, Tycho Brahe anota con precisión la posición de los planetas en el cielo. Gracias a esos datos, Johannes Kepler demuestra que las órbitas planetarias no son círculos sino *elipses*.

Las elipses planetarias son *casi* círculos; las diferencias son escasas. Kepler, se dijo en su momento, pierde el tiempo. Pero aquí —como a menudo en la investigación científica— una diferencia numérica, incluso mínima, «marca toda la diferencia». La implicación es gigantesca. Gracias a los trabajos de Tycho Brahe y de Kepler, Newton podría enunciar la teoría de la gravitación universal. A partir de entonces, los movimientos de los planetas y las mareas de los océanos no tienen misterios. Es posible calcular con milenios de anticipación las posiciones del Sol y de la Luna.

El imperio de los números continúa su progresión triunfante. Sobrepasa el marco astronómico, invade toda la física. Los misterios de la luz son elucidados por la teoría electromagnética de Maxwell. Las propiedades

del calor nos son reveladas por la termodinámica. Lavoisier y sus sucesores van a extender el reino de las cifras al campo de la química. *Así, en esta época, se llega a la conclusión de que los números son el lenguaje común de las ciencias.*

Naturalmente, cada disciplina científica tiene sus propios conceptos, sus métodos, su manera de encarar la realidad. Pero aun cuando la química, la física y las matemáticas son por entero ciencias, se descubre que no son en absoluto independientes. La química, por ejemplo, obtiene sus conceptos de la física y la física toma prestados los suyos de las matemáticas. Asimismo, la biología se estudia en términos de química orgánica.

El pedestal de bronce puro

Tal es la situación a fines del siglo pasado. El filósofo francés Auguste Comte ordena entonces el imperio de los números. Establece una «escala de las ciencias». En la cumbre coloca a la psicología, ciencia nueva en esa época, que se apoya —por lo menos él está convencido— sobre la biología. Pero la biología se apoya sobre la química, que a su vez se basa en la física, y la física se funda sobre las matemáticas. De esta manera, todos los campos del conocimiento reposan unos sobre otros y encuentran sus cimientos últimos sobre el pedestal de puro bronce de los números y de la lógica.

La escala de las ciencias de Augusto Comte, al resumir dos mil años de investigaciones científicas, confirma la genial intuición de Pitágoras.



Eternas y todopoderosas, gracias a una larga tradición de investigadores, las matemáticas son la verdadera realidad.

¿Cómo llegan las matemáticas a los seres humanos?

En este punto una pregunta se plantea con toda naturalidad. ¿Cómo se comunica ese mundo de los números a los espíritus humanos? ¿Cómo lo conocemos nosotros? ¿Mediante qué operaciones mentales nuestro cerebro ha podido tener acceso a ellos? Esta pregunta nos seguirá a lo largo del presente capítulo. Va a insertarse como una filigrana entre nuestros interrogantes sobre la ciencia y la poesía.

Para Platón, el mundo de las cifras está inscrito, sin saberlo nosotros, en nuestra memoria. *Nosotros las «recordamos»*. Es la primera respuesta, la cual prevalecerá a lo largo del auge del imperio de los números.

Nadie, tal vez, mejor que el filósofo francés del siglo XVII, Rene Descartes, ha descrito el punto de vista según el cual el cerebro humano «descubre» en el interior de sí mismo las «tablas de piedra» sobre las que están grabados los conceptos, la lógica y las matemáticas.

Cito un pasaje de la Quinta Meditación Metafísica que nos servirá de punto de partida para varias reflexiones. He puesto algunas expresiones en cursiva a fin de subrayar su importancia en el marco de nuestra discusión (5) «Cuando comienzo a descubrirlas [las matemáticas], no me parece que aprendo algo nuevo, sino más bien que me acuerdo de lo que ya sabía antes, es decir, *que percibo cosas que ya estaban en mi mente*, aunque aún no hubiese dirigido mi pensamiento hacia ellas.

»Y lo que encuentro aquí más digno de destacar es que hallo en mí una infinidad de ideas de ciertas cosas que no pueden considerarse una pura nada, *aunque tal vez no tengan existencia alguna fuera de mi pensamiento*, pero que tienen sus verdaderas e inmutables naturalezas».

En la época de la metafísica cristiana, la realidad de los números parecía muy natural. Para Descartes, como para los filósofos escolásticos, la «verdad» existe en Dios. Las matemáticas encuentran allí su fundamento. Los mandatos divinos fueron transmitidos a Moisés en tablas de piedra. Las leyes de los números están grabadas desde el nacimiento en la memoria humana. Basta con aprender a leerlas.

Esta creencia va a sobrevivir a la laicización del pensamiento filosófico de los siglos posteriores. Se la encuentra aún en numerosos pensadores contemporáneos.

Para terminar este primer capítulo resumamos nuestro interrogante así como el trayecto recorrido hasta aquí. ¿La ciencia, al explicar las puestas de sol, mata su magia? Ésa es la pregunta que nos ha puesto en camino. Nos hemos remontado a la época de los pensadores griegos. Ahí hemos encontrado una tesis que durante milenios, ha tenido gran éxito. Los números son la realidad última. Preexisten a todo lo que percibimos. Se hallan inscritos en nuestro cerebro. Eminentemente científicos están convencidos de que, al descubrir las leyes matemáticas del cosmos, están leyendo el gran libro de los designios de Dios.

II La decadencia del imperio

En el siglo XIX, la imagen de las matemáticas —cimentando toda la realidad e inscrita en el fondo de la memoria humana— se iba a ver empañada por una sucesión de golpes. En este segundo capítulo serán descritos unos a continuación de otros. Veremos en particular, bajo su impacto, cómo la escala de las ciencias se metamorfosea en un «círculo de conocimientos». Ese círculo, vicioso hasta el punto de resultar perverso, va luego a causarnos muchos problemas.

Los matemáticos inventan

Desde los tiempos más antiguos, la matemática es, en la vida corriente, la sirvienta de las ciencias y de las técnicas. A los matemáticos se les pide resolver problemas concretos. Los cálculos astronómicos, la

previsión de los eclipses o la agrimensura motivan y justifican el desarrollo de sus sagaces técnicas. Es la época de lo que hoy denominamos las «matemáticas aplicadas».

Más tarde, en el siglo pasado, la situación cambia. Los matemáticos se revelan contra su subordinación. Se «liberan». Inventan sus propios problemas. Hacen juegos gratuitos cuyas reglas componen ellos mismos. Se comportan como jugadores de cartas que, prohibiéndose sin embargo hacer trampas, alteran indefinidamente las convenciones de su actividad favorita.

Se hace entonces un descubrimiento asombroso. Las preguntas planteadas por las ciencias y las técnicas no constituyen más que una parte ínfima del conjunto de los problemas formulables. La gran mayoría de las teorías matemáticas, inventadas y publicadas en las revistas especializadas, *no tienen aplicación alguna en la realidad*. No describen en absoluto el mundo que nos rodea. Sus axiomas no corresponden a lo que conocemos de la naturaleza. No tienen otras razones de ser que el placer de los matemáticos que las han formulado. Sólo se justifican por su propia coherencia interna.

Las matemáticas adquieren entonces una nueva dimensión. Se convierten en un juego de la mente humana.

En el lenguaje corriente «inventar» significa: producir algo que no existía antes.⁽⁶⁾ No podemos decir que la Novena Sinfonía de Beethoven «existía» antes de que Ludwig se sentara a su mesa de trabajo. Del mismo modo, con respecto al matemático que, jugando con los axiomas, erige una variedad infinita de geometrías no euclidianas, parecería más justo afirmar que, como el artista, «inventa», «crea».⁽⁷⁾

En estas condiciones, ¿todavía podemos considerar seriamente la idea de Platón y Descartes según la cual todas las matemáticas estarían inscritas a título de «recuerdo» en el cerebro humano? Sería poco más o menos tan creíble como afirmar que Joseph Haydn leyó, en unas partituras ya inscritas en su cabeza, la música de sus ciento cuatro sinfonías...

Einstein y la geometría

Y, sin embargo... Es necesario que introduzcamos ahora un nuevo elemento que va a alterar la situación y relanzar la polémica. En el pasado, lo he mencionado antes, las teorías matemáticas se creaban siempre en respuesta a los problemas técnicos. Por ejemplo, a comienzos del siglo pasado, Charles Fourier intenta comprender el comportamiento del calor. Para describir la evolución de la temperatura de una barra metálica calentada en un extremo, Fourier escribe un nuevo capítulo de las matemáticas: *el análisis en series de Fourier*, bien conocido por todos los científicos contemporáneos.

En fechas más recientes, la situación se ha invertido varias veces. Las matemáticas a menudo han precedido a la física. Veamos algunos ejemplos.

A comienzos de nuestro siglo, la física atraviesa una serie de crisis mayores. La teoría de las órbitas planetarias de Newton tropieza con dificultades. El planeta Mercurio se obstina en no obedecer exactamente las exhortaciones de las ecuaciones. La órbita no es una elipse perfecta. Difiere muy poco de ella. Pero, como en tiempos de Kepler, esta mínima diferencia va a convertirse en una rica fuente de informaciones. Es Einstein quien salva la situación. Replantea la pregunta de la fuerza de la gravedad. Descubre que el espacio en el cual los planetas se mueven no puede ser correctamente descrito por la geometría de Euclides de nuestros pupitres de escuela (dos rectas paralelas no se encuentran nunca...). Sospecha que para explicar las sutiles relaciones entre las masas de los cuerpos y sus movimientos habría que utilizar geometrías muy especiales.

Sus colegas le señalan entonces que tales geometrías existen ya en la literatura. Han sido inventadas, un siglo antes, por Gauss y Riemann. Estos dos matemáticos alemanes no imaginaron nunca que sus trabajos encontrarían un día un lugar en el mundo de las estrellas.

Trasponiendo esas nuevas geometrías —denominadas no euclidianas— a su problema, Einstein formula en 1915 la teoría de la relatividad generalizada. Esta pura obra maestra del pensamiento humano no se limita a describir correctamente la órbita de Mercurio. Nos abre el acceso al extraño mundo de las estrellas superdensas así como a los primeros segundos del universo.

Heisenberg y el álgebra

La física atómica está igualmente en crisis a principios de siglo. No hay concordancia entre las predicciones de la teoría y los resultados de laboratorio. Esta vez es la física cuántica quien va a salvar la situación. Bohr, Schrödinger y Heisenberg llegan a la conclusión de que hay que formular la mecánica de los átomos sobre unas bases completamente nuevas. Pero se carece de una teoría matemática apropiada. Afortunadamente, como en el caso de Einstein y de Gauss, los matemáticos ya han pasado por ahí. Heisenberg se entera de la existencia de un formalismo matemático llamado *álgebra lineal*, creada pocos años antes por el matemático Jordan. Adaptado a la descripción de las partículas de la materia, este formalismo se convierte en el fundamento de la teoría cuántica. El éxito es deslumbrante. En algunos casos esta teoría permite predecir los resultados de experimentación con una exactitud superior a una milmillonésima fracción.

Un acontecimiento análogo tuvo lugar en la física de las partículas elementales. Las diversas fuerzas de la naturaleza: la fuerza electromagnética, la fuerza de la gravedad, la fuerza nuclear, la fuerza débil, aunque en apariencia muy diferentes, son en cierta medida similares. Pueden ser descritas mediante formalismos matemáticos análogos a los que los físicos han dado en llamar «teorías de arqueo». Más adelante se dieron cuenta de que el matemático francés Cartan ya había elaborado el formalismo con el nombre de «teoría de los haces». Se introducen ahí las partículas y las fuerzas de la física y todo funciona admirablemente bien...

Inventar, sí, pero...

En esos tres casos hemos visto cómo las matemáticas, inventadas como un juego, fueron utilizadas ulteriormente en la descripción del mundo real; cómo su estructura y su lógica interna correspondían casi de manera milagrosa al comportamiento de la materia en algunas circunstancias particulares.

La pregunta surge otra vez: «¿cómo llegan las matemáticas a los seres humanos?». Ahora estamos enfrentados a una situación paradójica. Si «se inventan», ¿cómo explicar que las diversas teorías que se aplican a la naturaleza se adapten con una eficacia tan asombrosa? ¿Cómo unos axiomas inventados por unos matemáticos que ignoran totalmente los problemas para los cuales se van a utilizar llegan a reproducir las sinuosidades de los fenómenos físicos en más de nueve órdenes de magnitud?

Sin embargo, a pesar de estas notorias excepciones, ¿cómo justificar el empleo del término «descubrir» cuando la casi totalidad de las teorías matemáticas publicadas son el resultado del juego gratuito de los matemáticos y no tienen ninguna relación con la realidad?(8)

Sin duda alguna, los dos términos, «descubrir» e «inventar», son igualmente insuficientes. Para descubrir la operación mediante la cual las matemáticas llegan a los seres humanos hay que buscar en otra parte.

Las matemáticas no son perfectas

La dimensión lúdica de las matemáticas ha alterado un tanto la severa pureza del mito pitagórico. Otros acontecimientos van a ir ahora mucho más lejos en este sentido.

A comienzos del presente siglo, algunos matemáticos procuraron mejorar los fundamentos de las matemáticas. Analizaron la lógica, herencia de los filósofos griegos y, en particular, de Aristóteles. Para su sorpresa, pusieron en evidencia un conjunto de dificultades en el seno mismo del edificio conceptual. El esfuerzo por corregir esta situación reveló otras dificultades más graves.

Con la esperanza de resolverla se formaron varias escuelas de pensamiento. Estas evolucionaron en direcciones diferentes sin ponerse de acuerdo sobre los enunciados más fundamentales. Nadie sabe si esos desacuerdos se van a resolver o no. En su libro *Mathematics, The Loss of Certainties*, Morris Kline cuenta las peripecias de este tempestuoso capítulo de la historia de las matemáticas. Llamemos como testigo a Bertrand Russell, que al comienzo de su carrera loaba con entusiasmo la perfección de las matemáticas. En su autobiografía⁹ narra su decepción: «Yo deseaba certidumbres como las que las personas buscan en la religión. Pero descubrí que varias demostraciones matemáticas que mis profesores querían hacerme aceptar estaban llenas de errores. Si las certidumbres podían venir de las matemáticas, vendrían de un nuevo campo matemático con fundamentos más sólidos que los que ya existían y en los cuales habíamos creído que se podía confiar. Cuanto más progresaba mi trabajo, más me venía a la memoria la fábula del elefante y la tortuga. Después de crear un elefante sobre el cual el mundo matemático pudiera apoyarse, lo hallé vacilante y me puse a la construcción de una tortuga para depositarlo ahí e impedir que cayera. Pero la tortuga no era más sólida y era necesario apoyarse sobre una nueva tortuga... Después de veinte años de dura labor he llegado a la conclusión de que nada más puedo hacer por dar al conocimiento matemático status de certidumbre».

El mito de la perfección de las matemáticas se disolvió en medio de estas dificultades. En la actualidad resulta difícil creer que las leyes de los números sean la verdad última del mundo. ¿Cómo es posible que la esencia de la realidad, el lenguaje de Dios, esté plagada de disonancias?

Debemos más bien reconocer que la evolución de las matemáticas refleja el funcionamiento y los límites del cerebro humano, del cual, sin duda, son el producto. Pero entonces vuelve a surgir, más misteriosa que nunca, la cuestión de su extraordinaria eficacia para describir algunos aspectos del mundo real.

El espejismo de una física definitiva

Paralelamente al sueño de una matemática perfecta, los físicos acarician desde hace mucho tiempo la esperanza de formular una *teoría completa del universo*. Ya presente en Einstein con el nombre de «teoría unitaria», vuelve en la actualidad con el ambicioso título de «teoría del todo» (*theory of everything*). En un arranque de optimismo ejemplar, Stephen Hawking (10) nos deja entrever que bien podría ver la luz antes de finalizar el siglo.

¿Dónde estamos nosotros en esta búsqueda? Aquí es necesario destacar un elemento importante: las matemáticas no dan más que una representación aproximada de la realidad. Una retrospectiva histórica nos permitirá evaluar la situación.

Entre el conjunto de las geometrías posibles, la de Euclides, la que aprendimos en la escuela, continúa desempeñando un papel privilegiado. Las nociones de ángulo y de superficie, los razonamientos fundados sobre los ángulos iguales son utilizados por millones de arquitectos e ingenieros en el mundo entero. La solidez de los puentes y de los rascacielos es la manifestación de su eficacia para representar *suficientemente bien* la textura de lo real. Sin embargo, un agrimensor geómetra provisto de un excelente teodolito podría demostrar que esta representación de los arquitectos no es perfecta.

En astronomía, la órbita de Mercurio nos da el ejemplo de una situación análoga. La geometría de Euclides puede servir para describir el sistema solar con tal de que las posiciones de los planetas no sean determinadas con demasiada precisión. Pasado cierto umbral de calidad, se manifiestan divergencias entre la teoría y la observación.

En la actualidad, los científicos admiten que todas las teorías de la física contemporánea son aproximativas. Ninguna proporciona una imagen universalmente válida del mundo real. Además, cada una funciona en el interior de un ámbito dado, definido por ciertas condiciones. Fuera de ese ámbito propio, resulta inutilizable.

Por ejemplo, la física de Newton funciona muy bien si los cuerpos a los cuales se aplica no van demasiado rápidamente. Cuando se quiere describir el movimiento de partículas que se aproximan a la velocidad de la luz, ya no tiene validez. Es necesario entonces utilizar la relatividad de Einstein. Perfectamente adaptada al estudio de las velocidades muy grandes, y también, en su versión generalizada, a la descripción de los fuertes campos de gravedad, resulta sin embargo incapaz de explicar correctamente el comportamiento de los átomos. Se requiere entonces acudir a la física cuántica. Sus proezas en su terreno propio son extraordinarias. Describe los fenómenos atómicos y moleculares con una precisión admirable *siempre* que esos objetos no estén sometidos a un fuerte campo de gravedad. En ese caso no hay nada que sirva...

Para obtener resultados válidos es necesario, en primer lugar, escoger correctamente el objetivo y saber contentarse con una descripción incompleta de la naturaleza.

«Terra incógnita»

Cuando los exploradores de los últimos siglos dibujaban los mapas de sus viajes, colocaban en el límite de las tierras recorridas una zona blanca llamada «térria incógnita»: tierras desconocidas sobre las que nada podían decir. La frontera de esta región separaba la zona explorada de las regiones aún vírgenes. Se situaba en el límite entre lo conocido y lo desconocido.

En física también tenemos nuestra «térria incógnita». Un terreno en el que nada funciona. Esto se denomina en la literatura técnica «las condiciones de Planck». Se encuentra en temperaturas muy elevadas, próximas a 10^{32} grados kelvin, o en densidades de 10^{93} gramos por centímetro cúbico. Puede parecer que unas densidades y temperaturas tan increíbles no tienen papel alguno en nuestro universo, y que se las puede pasar por alto alegremente. No es así. Tales condiciones han existido muy probablemente en el pasado remoto del mundo. Sus posibles huellas podrían haber influido de una manera preponderante en el destino del universo. Por desgracia, nuestra ignorancia de las leyes de la física que reinaban por entonces nos impide llevar hasta ahí nuestra exploración del mundo.

Numerosos físicos procuran formular una teoría aplicable a esas condiciones extremas.⁽¹¹⁾ Las dificultades son enormes y los resultados, por el momento, han sido decepcionantes. Según todas las evidencias, sólo se conseguirá, en el mejor de los casos, llevar un poco más lejos las actuales fronteras.

En resumen, hemos tomado conciencia del hecho de que las matemáticas sólo proporcionan *representaciones aproximativas y limitadas* de la realidad, aunque esas representaciones son algunas veces extraordinariamente fieles. Sus límites nos son conocidos (aunque muy a menudo nos cuesta localizarlos). En cuanto se sale de su ámbito de validez, las teorías de la física pierden valor.

Año tras año, la situación va mejorando. Los conocimientos progresan. Las fronteras de la ignorancia retroceden. ¿Podremos algún día enunciar una teoría global y definitiva del universo? ¿O bien se trata de un espejismo que se aleja con la misma rapidez con que nos acercamos a él? Varios investigadores han abordado esta pregunta. Las respuestas no son unánimes. Reflejan sobre todo, en mi opinión, el temperamento de sus autores.

¿En qué punto nos encontramos?

Antes de proseguir con esta investigación es conveniente volver a situarnos en nuestro recorrido. La visión antigua de las matemáticas perfectas, presentada en el primer capítulo de este libro, ha tenido que hacer frente, en el transcurso de estos dos últimos siglos, a elementos imprevisibles. Recibió el impacto de varios golpes. El primero ocurrió en el siglo XIX. Los matemáticos inventan un nuevo juego. Se divierten enunciando conjuntos de axiomas inéditos y desarrollando sus consecuencias. Inventan una *multitud* de geometrías, todas diferentes de la geometría de Euclides. En su mayoría, esas geometrías no describen ninguna realidad, no resuelven ningún problema. Se descubre la dimensión lúdica de la actividad matemática.

Las (escasas) matemáticas que describen el mundo real nos plantean interrogantes sobre varios planos diferentes. ¿Por qué ellas y no las otras? ¿Por qué tienen siempre un territorio de aplicación limitado, fuera del cual no funcionan? ¿Y por qué, en ese territorio de aplicación, tienen esa extraordinaria aptitud para representar lo real? La precisión de sus previsiones —se llega a veces a la milmillonésima parte— supera infinitamente lo que de manera ingenua se hubiera previsto.

Un segundo golpe soportado por la simplicidad bucólica de las imágenes pitagóricas se produce a comienzos del siglo XX, cuando se descubren varios problemas de coherencia interna de la acción lógica. El mito del lenguaje perfecto de un dios geómetra se ve seriamente socavado. Pero ¿qué queda entonces de la mitología pitagórica y del status de las matemáticas?

Los físicos, por su parte, permanecen a la búsqueda de una teoría absoluta del universo. La cuestión de saber si se llegará algún día a ella permanece en suspenso. Esta esperanza me parece que está seriamente comprometida por las dificultades internas de las matemáticas contemporáneas. Es difícil imaginar una física absoluta apoyada en una lógica problemática...

Las ideas tienen una historia

Algunos descubrimientos científicos alteran profundamente nuestra visión del mundo. Pero la toma de conciencia suele ser lenta. Los conocimientos nuevos deben, en primer lugar, imponerse, y después su influencia tiene que ir penetrando las capas del pensamiento contemporáneo. Esto puede llevar decenios.

Con algunas excepciones, los filósofos de la antigüedad piensan que el universo *es eterno e inmutable*. La materia siempre ha existido y siempre existirá. La madera se pudre y el metal se oxida, pero se trata de «accidentes», de cambios anecdóticos, sin alcance universal. En la escala de los astros, todo es siempre igual y nunca cambia nada.

Esta visión de un universo estático recorre toda la ciencia, desde la antigüedad griega hasta el comienzo de nuestro siglo. Galileo, Newton y Laplace no la cuestionan. El mismo Einstein se adherirá a ella con convicción; incluso llegará a alterar las ecuaciones de su propia teoría para preservar la idea de un cosmos estático. En 1915, diez años antes de las medidas históricas de Hubble, sus ecuaciones contenían ya la imagen de un universo en evolución. Cuando se descubre el movimiento de las galaxias y la expansión del universo, reconocerá su error. «Fue la mayor equivocación de mi vida», dirá más adelante.

Desde hace algunos decenios, las diferentes ciencias, y en particular la astronomía, nos presentan la imagen de un universo dinámico. Hay cambios en nuestro mundo. No sólo las formas animales se modifican, no sólo las estrellas evolucionan, cambian de colores, viven y mueren, sino que también las propiedades globales del cosmos, la temperatura, la densidad y los estados de la materia, varían profundamente en el transcurso de las eras.

Vivimos en un *universo en evolución*. Este descubrimiento influye en nuestra manera de pensar sobre todas las cosas, incluso sobre el pensamiento mismo. Va a afectar la situación del imperio de los números. Va a cuestionar la mitología pitagórica.

El ser humano no ha existido siempre. En las escalas de tiempo de la astronomía, su aparición es muy reciente. Emerge de una larga serie de antepasados entre los cuales reconocemos las células primitivas, los metazoarios, los peces, los anfibios, los reptiles, los mamíferos y los primates. El cerebro de nuestros antecesores de hace dos millones de años era, como promedio, tres veces más pequeño que el nuestro.

El hombre no ha existido siempre y los griegos no lo sabían. Esto pone en cuestión tanto la mitología pitagórica como la escala de conocimientos de Augusto Comte. Ya que, en nuestro estudio sobre el estado de las ideas y del conocimiento científico, hay que introducir ahora la dimensión histórica.

Nos encontramos entonces ante una evidencia fundamental. La lógica y las matemáticas son pensadas por el cerebro humano. Ahora bien, este cerebro sólo aparece después de miles de millones de años de evolución del universo —regido por leyes físicas— en el cual no hay cerebros pensantes.

En este punto se nos plantea una pregunta insidiosa: *¿Las matemáticas «existen» cuando no hay un cerebro para pensarlas?* ¿Qué quiere decir la palabra «existir» cuando se habla de las ideas y no hay nadie? ¿Dónde anidaban en el precámbrico las cifras y las leyes de la física a las cuales debemos nuestra propia existencia? «¿Dos y dos eran cuatro en la época de los dinosaurios?», pregunta atinadamente Pirsig en su hermoso libro *Tratado del zen y del mantenimiento de las motocicletas?*.⁽¹²⁾

¿Cuál era, en aquel periodo, la situación del imperio de los números? En el texto citado anteriormente, Descartes yuxtapone la afirmación: «Encuentro en mí una infinidad de ideas de ciertas cosas que *no pueden ser consideradas como una simple nada*» con las palabras «aunque tal vez no tengan existencia alguna fuera de mi pensamiento». Nos gustaría hacerle nuestra pregunta: ¿qué quiere decir «existir» aplicado a una idea o una cifra cuando no hay nadie para pensarla? O una vez más: ¿Dos y dos eran cuatro en la época de los dinosaurios?

El número y el numerante

Este enigma, en realidad, no es nuevo. Mucho antes de los descubrimientos de la ciencia moderna, Aristóteles tuvo una intuición fragmentaria de ello y expuso una primera parte. Al añadir una segunda parte, la astronomía contemporánea nos permite comprender la verdadera dimensión de este problema.

Aristóteles se interroga sobre la relación entre la existencia *del tiempo* y la existencia de *una psique humana capaz de concebirlo*. Con astucia relaciona ese problema con el de la existencia del número en su relación con un «numerante» que piensa el número.

«Se podría dudar», escribe, «de la existencia del tiempo sin la existencia del alma. En efecto, si no se admite la existencia del numerante tampoco se admite la existencia del número. Pero si es verdad que por aptitud natural únicamente el alma —el alma con intelecto— tiene la capacidad de numerar, es imposible que exista el tiempo si no existe el alma.»(13)

En pocas palabras, Aristóteles nos dice que si no hay *numerante*, no hay *número*. Es la primera parte. Pero lo que no sabe, y que nosotros aprendimos a continuación, es que la evolución de la materia —del Big Bang hasta la aparición del cerebro humano— obedece a las leyes de la física que el cerebro humano expresa mediante números. La segunda parte consistirá entonces en añadir que si no hay número, no hay numerante. De ahí la conclusión paradójica hacia la cual parecemos empujados de manera inexorable: hacen falta los números para engendrar un numerante, y un numerante para concebir los números...

Un carrusel Infernal

En el lenguaje popular esto recibe el nombre de «círculo vicioso». Pero todos los círculos viciosos no son iguales. Algunos lo son más que otros. Este, pronto lo descubriremos, bate todos los récords... Al vicio añade la perversión. Tiene el arte de llevarnos a él en el momento preciso en que pensamos que finalmente nos hemos liberado...

Antes de intentar salir de nuestro círculo vicioso, voy a presentar los elementos un poco más detalladamente. Puede hacerse de varias formas. Por ejemplo, yuxtaponiendo dos frases en apariencia anodinas.

La primera frase se enuncia de esta manera: *el cerebro humano está «inscrito» en las leyes*. Utilizo aquí el término «inscribir» en un sentido bastante vago. Tiene como finalidad recordarnos dos cosas diferentes:

- Por una parte, que el *funcionamiento cerebral* implica un conjunto de reacciones fisicoquímicas situadas en el cerebro. Estos procesos implican la interacción de gran número de moléculas gigantes. El comportamiento de esas moléculas está sometido a la fuerza electromagnética y a las leyes que rigen esta fuerza.
- Por otra parte, que la existencia misma del cerebro humano, en tanto que emerge de la evolución cósmica, está ligada a la operación de fenómenos ocurridos a lo largo de quince mil millones de años. Esos fenómenos hacen intervenir las cuatro fuerzas de la física (nuclear, electromagnética, débil y gravitatoria) y las leyes físicas que las gobiernan.

En otras palabras, el crecimiento de la complejidad cósmica en el transcurso de las eras, hasta la aparición del pensamiento, puede ser considerado como una actualización de las potencialidades que, *gracias a la existencia de leyes*, la matemática poseía ya en el magma inicial.

La segunda frase se formula entonces así: *las leyes están inscritas en el cerebro humano*. A su vez, este enunciado nos devuelve a la memoria el hecho de que las matemáticas y la física son producciones —relativamente recientes— de los seres humanos.

Estas dos proposiciones yuxtapuestas constituyen una nueva expresión del problema del número y del numerante. Tenemos también otra más sucinta: las leyes elaboran el cerebro y el cerebro elabora las leyes. Cada una de estas expresiones, a su modo, nos arroja a este carrusel infernal del que nos costará mucho bajarnos.(14)

De ahí la dualidad: ¿qué es lo primero?, ¿el cerebro o el pensamiento? El vaivén del uno al otro de esos elementos es más rico en su dialéctica que la dualidad reloj-relojero, puesto que el relojero no remite a nada en absoluto.

Pero ¿ese primero es pensable? Y si lo es, ¿resulta verdaderamente primero puesto que los conceptos que lo describen le preceden como ocurre, por otra parte, en el pensamiento mismo?...

El círculo de los conocimientos

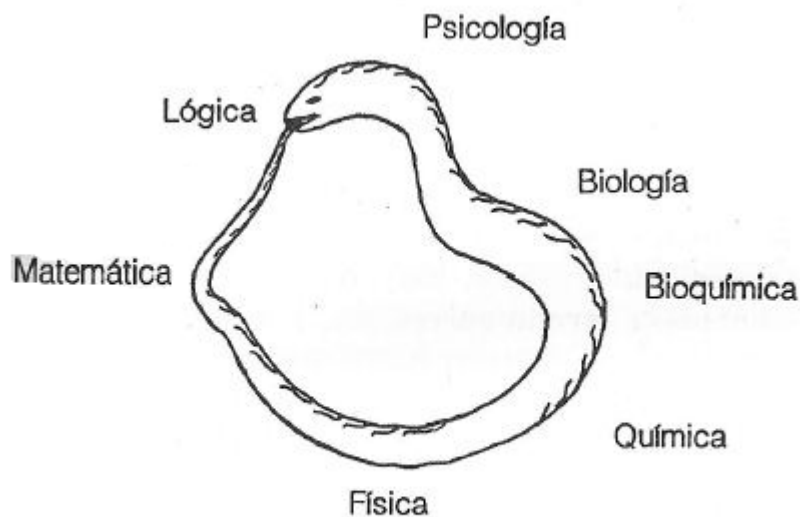
El psicólogo suizo Jean Piaget ha sido uno de los primeros en introducir la dimensión histórica en el estudio de la adquisición de conocimientos. Reconoció de entrada que la lógica es un proceso en devenir, sometido a una evolución. En otras palabras, el pedestal de puro bronce —que para Augusto Comte sirve de cimiento a la escala de las ciencias— está sujeto al mismo cuestionamiento que las otras disciplinas que forman la escala. ¿Sobre cuál reposa y dónde encuentra sus cimientos?

La pregunta planteada hace surgir una evidencia insoslayable: *el problema del origen de la lógica es un problema de orden psicológico y biológico*.

«El universo», escribe, «sólo es conocido por el hombre a través de la lógica y de las matemáticas, producto del espíritu, pero éste únicamente puede comprender cómo ha construido las matemáticas y la lógica estudiándose(15) a sí mismo desde los puntos de vista psicológico y biológico, es decir, *en función del universo entero*.»

Siguiendo esta argumentación, encontraremos una nueva expresión de nuestro problema. Los conceptos son creados por un cerebro cuya actividad se estudia científicamente en términos de fisiología, es decir, de reacciones bioquímicas. Ahora bien, debemos reconocer que esta bioquímica se apoya en la química, que a su vez se apoya en la física, la cual se apoya en la lógica y las matemáticas, que son creaciones del cerebro humano. *Simplemente hemos vuelto al punto de partida...*

Este contratiempo nos sugiere reemplazar la imagen de «la escala de los conocimientos» de Augusto Comte por la imagen del «círculo de las ciencias» de Piaget. Retomando la secuencia de las disciplinas que se apoyan unas sobre otras —la psicología se apoya en la bioquímica, que descansa sobre la química, que se apoya sobre la física, que se apoya sobre las matemáticas y la lógica—, Piaget propone completar el círculo colocando el origen de estas últimas disciplinas en relación con la psicología misma.



La serpiente de las ciencias, Jean Piaget, alrededor de 1960.

Como una serpiente que se muerde la cola, la escala se retuerce sobre sí misma, formando una especie de cadena cerrada donde cada una de las ciencias es un eslabón. En ese movimiento giratorio, el pedestal de bronce de la lógica se ha transformado ante nuestros ojos en un eslabón de la cadena.

Esta metamorfosis es capital para nuestra discusión.

El huevo y la gallina

Esta situación no deja de recordar el enigma del lluevo y la gallina. ¿Cuál de los dos apareció primero? Se requiere una gallina para hacer un huevo; es necesario un huevo para hacer una gallina. Estamos atascados. Giramos en redondo: huevo, gallina, huevo, gallina, etc. ¿Cómo salir del círculo?

En la actualidad este problema está resuelto. Demos una vuelta por el gallinero. La solución del problema huevo-gallina podría ayudarnos a reformular nuestra cuestión.

Para resolver el enigma huevo-gallina, hay que añadir un ingrediente: el tiempo. En el marco de los millones de años de la evolución biológica, el tiempo desempeña su papel, sutil pero determinante. La dirección se nos aparece claramente indicada: hay que buscar por el lado de los antepasados.

Remontemos la secuencia ininterrumpida de las gallinas y de los huevos que conduce a nuestro corral contemporáneo. Una mirada atenta nos permitirá comprobar una modificación progresiva de nuestros volátiles. Muy breves al comienzo, los cambios se tornan apreciables e incluso dominantes cuando la marcha hacia atrás nos conduce a varios centenares de millones de años en el pasado. Los volátiles se convierten en reptiles, luego en anfibios y luego en peces.

Pero los reptiles, los anfibios y los peces ponen todos huevos que se abren y se convierten a su vez, y respectivamente, en reptiles, anfibios y peces. Nada ha cambiado con relación a nuestro enigma. Sin embargo, nos encontramos muy cerca de la respuesta.

La existencia del huevo está vinculada con el fenómeno de la reproducción sexual. Es el lugar donde los dos individuos de sexo diferente depositan sus genes. De ahí la pregunta: ¿cuándo apareció la reproducción sexual en el mundo animal?

En *Microcosmos; Four Billion Years of Evolution from our Microbial Ancestors*, de Margulis y Sagan,(16) hallé una mina de informaciones fascinantes sobre la sexualidad de las células primitivas. Las primeras células vivientes se reproducen por división de sí mismas sin encuentro sexual, sin poner huevos. Posteriormente,

algunas células más complejas inventan la reproducción sexual. Los dos miembros de una pareja sexual depositan sus genes en un mismo cesto. Ese cesto se denomina huevo.

Aunque no sepamos con exactitud cómo aparece la sexualidad, sabemos que en cierto periodo un antepasado lejano de la gallina pone a punto el mecanismo del encuentro sexual. Es él quien nos saca del círculo vicioso. Aunque este antepasado no sea un huevo ni una gallina, dará nacimiento, después de centenares de millones de años, al huevo y a la gallina.

Hemos resuelto el problema: lo que surgió primero no es el huevo ni la gallina, sino ese antepasado común que no era ni un huevo ni una gallina. Comprendemos cómo hemos salido del círculo vicioso. Mediante el reconocimiento de que no se trataba verdaderamente de un círculo. Las gallinas del pasado son similares pero no *idénticas* a las gallinas contemporáneas. Al remontarse al pasado, las diferencias, en un primer momento ínfimas, se tornan considerables y acaban por darnos la clave del enigma.

Gracias al marco histórico de la evolución, hemos resuelto un problema que parecía insoluble. Este éxito nos sugiere un método a seguir. Utilizando la misma clave para abordar el problema del número y del numerante, podemos plantearnos diversas preguntas. ¿Cuál es el precursor común, el germen conjunto del número y del numerante? ¿Cómo se diferencian los dos en el transcurso del tiempo? ¿Cómo evolucionan para adquirir su forma actual?

¿Qué forma adopta el número cuando el numerante no existe? No olvidemos que, en esta forma primitiva —cualquiera que sea su naturaleza—, el número es «operacional» desde los tiempos más remotos del universo. Hace doscientos millones de años, la Tierra, poblada por dinosaurios analfabetos, gravitaba impasible alrededor del Sol. Obedecía ciegamente a «eso» que iban a ser las leyes de Newton.

Las lecciones aprendidas en el gallinero nos sugieren un análisis histórico de las relaciones entre el pensamiento y el cosmos. Intentemos establecer la cronología. Podemos dar fechas a la aparición de los objetos que estudian las diferentes ciencias. El resultado sería lo que presentamos a continuación.

El universo de hace quince mil millones de años era muy diferente del universo contemporáneo. Se podría comparar el estado de la materia de entonces con un puré indiferenciado de partículas elementales. Esta materia antigua y las fuerzas que en ella se desplegaban se estudian con los métodos tradicionales de la FÍSICA.

En ese puré primitivo no hay átomos ni moléculas. El hidrógeno surge un millón de años después. La química molecular debe aguardar la aparición de los primeros átomos pesados. Ahora bien, para fabricar estos átomos, primero hay que hacer estrellas. Luego esperar a que esas estrellas lleguen al fin de sus existencias. A su muerte, liberarán en el espacio toda la panoplia de los núcleos pesados engendrados en su tórrido corazón. De esos núcleos pesados nacerán los primeros átomos pesados y, por sus combinaciones, las primeras moléculas complejas. Como mínimo hay que contar VARIOS CENTENARES DE MILLONES DE AÑOS antes de ver entrar a la QUÍMICA cósmica en una fase activa.

Los planetas sólidos son mucho más recientes. Es necesario, en primer término, fabricar en cantidades adecuadas los constituyentes químicos de sus cimientos rocosos: oxígeno, silicio, hierro, magnesio. Esta fase implica la actividad combinada de numerosas generaciones de estrellas. Ello requiere VARIOS MILES DE MILLONES DE AÑOS. Tales cimientos planetarios parecen indispensables para la elaboración de la vida. Asimismo, la presencia de una napa líquida acuática parece indispensable para los juegos de las experiencias prebióticas, objetos de la BIOQUÍMICA.

En cuanto a los seres vivos, objeto de la **BIOLOGÍA**, nuestras observaciones están limitadas a nuestro planeta. Aquí, los más antiguos fósiles datan de tres mil quinientos millones de años. En esa época, el universo tenía ya **DIEZ MIL MILLONES DE AÑOS POR LO MENOS**.

Sobre los primeros organismos multicelulares (gusanos marinos, medusas) no se conocen vestigios cuya edad sea superior a mil millones de años (contados con relación al presente). En el transcurso de las eras, los animales evolucionan y se hacen más complejos. El sistema nervioso se desarrolla. Los mandos se centralizan en la forma de un cerebro. Rudimentario al comienzo, después cada vez más complejo, este órgano maneja las informaciones del mundo exterior. Las trata y las organiza para elaborar imágenes a partir de las cuales intenta representarse el mundo que lo rodea.

El cerebro humano, surgido **HACE MENOS DE TRES MILLONES DE AÑOS**, lleva aún más lejos este esfuerzo de representación interior del mundo exterior. Se convierte en objeto de estudio de la **PSICOLOGÍA**. Esta disciplina procura comprender cómo el cerebro inventa los conceptos y los números que le sirven, entre otras cosas, para estudiar el comportamiento de las partículas elementales del caldo inicial: objeto de la **FÍSICA**.

Así que, de repente, nos vemos propulsados a **QUINCE MIL MILLONES DE AÑOS ATRÁS**. De ahí, otra vez, la imagen de un carrusel que gira indefinidamente o de una serpiente que se come la cola. El análisis histórico ha vuelto a sumergirnos en nuestro círculo... El círculo de los conocimientos es infinitamente más vicioso que el del huevo y la gallina. "Su perversión favorita consiste en sugerir vías falsas de salida, que nos llevan a su seno, en el momento en que pensábamos poner un pie afuera.

Los interrogantes

Se cuenta que en el siglo XII vivían tres hermanos llamados los príncipes de Sérendip. Se dice que aquellos hermanos sabían convertir en provechosas hasta las circunstancias más adversas. Se creó el término «serendipidad» para describir el arte de sacar provecho de los problemas encontrados. Intentaremos seguir el ejemplo de los príncipes. Pronto comprobaremos que las dificultades en las que estamos sumergidos pueden, en realidad, servirnos de guías. Van a orientar nuestra búsqueda en nuevas direcciones. Pero, antes de llegar a eso, repasemos brevemente el trayecto recorrido.

¿Con qué derecho, hemos preguntado, la lógica y los números pueden pretender agotar la realidad? ¿Sobre qué bases pueden afirmar que ahí por donde han pasado ya no hay nada que añadir, relegando así la expresión poética a su futilidad finalmente desenmascarada?

La escala de Augusto Comte podía avalar esta reivindicación cuando la lógica se presentaba como la base y la referencia última de todos los conocimientos. En nuestra visita al gallinero hemos asistido a un espectáculo altamente significativo. La escala de las ciencias se ha metamorfoseado en una «serpiente de los conocimientos». ¿En qué medida este espectáculo da luz a nuestra linterna? ¿Qué relación tiene con la pregunta de la ciencia y de la poesía?

Esta metamorfosis constituye un ataque suplementario a las pretensiones hegemónicas del lenguaje científico. La serpiente de los conocimientos rechaza la «fundamentalidad» de la lógica y de las ideas pitagóricas. Esas mismas ideas tienen un origen que se estudia a partir de las otras ciencias.

El círculo de las ciencias nos indica los límites del método científico. Cualquiera que sea la eficacia de las disciplinas en el interior de esos límites, lo cierto es que se apoyan unas sobre otras. Funcionan en un «medio cerrado». ¿Cómo, por tanto, podrían pretender agotar la realidad y hacer inútil cualquier otro enfoque del mundo?

III Construir

La historia del imperio de los números nos muestra, con toda evidencia, que la lógica no está ahí, definitiva e inalterable, como esos «sueños de piedra» que acariciaba Baudelaire. Bertrand Russell nos ha hablado de sus dificultades internas y de su frenética búsqueda de la coherencia. Hay que contemplarla como un proceso en devenir, siempre perfectible, siempre susceptible de ser revisada. Como el universo, la lógica está en perpetua evolución.

«¿Cómo llegan los números a los seres humanos?» Esta pregunta lancinante nos persigue y adquiere nuevas connotaciones después de cada recorrido. ¿En qué se convierte cuando le inyectamos este elemento fundamental: el número y el numerante están sometidos a la evolución?

Jean Piaget propone el término «construir». Esta palabra contiene a la vez «descubrir» e «inventar», pero va mucho más allá. Implica elementos de construcción cuya identificación será nuestro objetivo en este tercer capítulo. Pero descubramos ya el secreto: no llegaremos a ese objetivo. Sin embargo, este fracaso nos pondrá sobre una nueva pista, más rica y más prometedora.

Esta idea de «construcción» no es realmente nueva. Ya a fines del siglo XVIII, Kant critica la idea cartesiana según la cual nosotros «descubrimos» las matemáticas en nuestra memoria. Pone de manifiesto el activo papel del cerebro humano en la elaboración del saber. El cerebro «construye», pero ¿a partir de qué?

Kant responde a esta pregunta mediante una afirmación autoritaria. Habría «datos a priori», por ejemplo, el tiempo y el espacio, así como «categorías» del entendimiento, como la causalidad. Esos datos, preexistentes al pensamiento, servirían para organizar las percepciones de los sentidos. De ahí procedería el conocimiento científico.

Volvemos a encontrar nuestros anteriores interrogantes. ¿El tiempo, el espacio y la causalidad existen cuando no hay cerebros para pensarlos? Kant, hay que reconocerlo, no hace más que diferir el problema. Además, los progresos de la física contemporánea cuestionan seriamente la idea de que el tiempo y el espacio puedan ser «datos a priori».(17)

Analicemos la cuestión desde un poco más lejos. ¿Dónde y cuándo comenzó el proceso lógico? ¿Cuál es su historia? ¿Qué sabemos de su desarrollo, tanto en el plano de la evolución biológica como en el del propio individuo? ¿Cuándo fueron formulados los primeros razonamientos en la historia universal?

Varias disciplinas científicas se interesan de cerca o de lejos, por el origen de la lógica. Cuatro grupos de investigadores han abordado estos problemas desde ángulos diferentes. Los etólogos estudian las manifestaciones de inteligencia en los animales. Los antropólogos procuran reconstruir el comportamiento de la psique humana primitiva. Los psicólogos se interesan en el despertar del pensamiento en los niños. Los neurofisiólogos procuran comprender qué ocurre en un cerebro en actividad.

En las páginas siguientes vamos a interrogar a esos investigadores. En síntesis, nos enseñarán que la lógica, en una forma rudimentaria, es, en efecto, mucho más antigua de lo que se creía hasta ahora. Nos confirmarán que, tanto en el hombre primitivo como en los niños, la lógica se «construye» a partir de elementos anteriores que no llegaremos a delimitar de manera conveniente.

Sentiremos la misma tentación que experimentan algunos investigadores de identificar esos elementos con la estructura molecular del cerebro.

Un minuto de atención nos bastará para comprender la trampa que se oculta detrás de tal identificación. Esta nos introducirá de nuevo en el círculo vicioso de los conocimientos. Una vez más tendremos que buscar en otra parte.

¿Los pájaros saben contar?

Nada es más instructivo, para quien quiere explorar los fundamentos de la psique humana, que la lectura de las investigaciones etológicas. El estudio de la vida de los animales nos conduce a descubrimientos asombrosos. Se recopilan informaciones altamente pertinentes. En una forma más o menos rudimentaria, encontramos ahí nuestras actividades, nuestros comportamientos y nuestros defectos...

¿Hemos inventado realmente el arte de manipular los números? ¿Quién fue el primero, en nuestro planeta, que supo realizar operaciones matemáticas? Parece ser que algunos pequeños «cerebros de pájaros» se nos adelantaron bastante en el tiempo.

Antes de entrar en un granero con granos, los cuervos se aseguran de que no haya nadie en el interior. Si entran tres personas *juntas o sucesivamente*, el ave en el exterior, aguardará a que las tres personas salgan, *juntas o de manera sucesiva*. Se puede recomenzar con cuatro o cinco personas. Funciona igual. Algunos cuervos «fuertes en matemáticas» llegan de este modo hasta seis.

¿Puede decirse que saben «contar» hasta diez? De un niño que realizara la misma proeza se diría que sí con seguridad. Algunos especialistas rechazan esta afirmación, tachada de «simplista». Sin embargo, debemos admitir que, de alguna manera, los números no les son extraños. Saben utilizarlos. Pero ¿qué formas embrionarias toman en el cerebro? Como en el caso de la gallina y el huevo, ¿cuál es el antecesor que ha evolucionado hasta adquirir, en nuestra cabeza, la forma de una cifra? ¿Cuáles son los motores de esta evolución de los conceptos?

Esas experiencias, y muchas otras, nos muestran que hay «embriones» de números y de razonamientos que ya están presentes en nuestros antepasados animales. Forman parte de una herencia que, de un modo misterioso, se ha transmitido en el curso de los milenios.

A partir de esos elementos embrionarios se han desarrollado nuestro pensamiento y nuestra lógica. No hemos ni inventado ni descubierto las matemáticas. Las hemos hecho nacer a partir de misteriosos «datos primitivos» recibidos de nuestro ancestral linaje animal.

Los «compartimientos vacíos»

¿Cuándo y cómo la lógica apareció en el hombre prehistórico? ¿Cuál era el modo de pensar del pintor de Lascaux, por ejemplo? ¿Cómo razonaba?

Aquí nos beneficiamos del hecho de que ciertas comunidades humanas contemporáneas tienen una forma de existencia similar a la del hombre de Cromagnon. ¿Podemos suponer que su analogía de comportamiento refleja igualmente una analogía de las actitudes mentales? ¿Que la mente del aborigen australiano funciona como la de nuestros lejanos antepasados? ¿Que la observación de lo que se da en llamar «mentalidad primitiva» de los seres humanos puede aportarnos claridad sobre nuestro pasado? Hasta cierto punto, sí, sin duda. Pero ¿hasta dónde?

Los antropólogos han reunido una abundante cosecha de documentos sobre los modos de vida y de comportamiento de las poblaciones tribales dispersadas sobre el planeta. Resulta difícil para una persona no especializada sacar algo en claro de todo ello. Yo me he interesado sobre todo en la obra monumental de Claude Lévi-Strauss. Este autor no teme dar interpretaciones personales, muy útiles para el no iniciado.

El aporte fundamental de Lévi-Strauss, a mi juicio, es la intuición de que algunos elementos simples y familiares de la realidad humana, como las formas de nutrición o de relaciones paternas, nos ponen en contacto directo con los procesos de la psique.

Mediante la comparación de diferentes tribus, pone de manifiesto unas reveladoras analogías. Los temas de los lazos de parentesco, de predomios y de tabúes incestuosos se encuentran en todas partes sobre el planeta. Tienen un carácter de universalidad, unido a particularidades locales. De esta manera ocurre también con los cuentos y leyendas cuya memoria se perpetúa por la transmisión oral. A pesar de la gran diversidad de elementos propios de cada tribu, la estructura y los temas de los relatos muestran sorprendentes analogías.

A la objeción natural: «Pero los seres humanos se comunican entre sí y se cuentan sus historias», Lévi-Strauss responde pertinentemente que lo importante no es saber si esas poblaciones las han inventado —o simplemente tomado— a partir de leyendas similares. Se trata más bien del hecho de que esas leyendas persisten y se inscriben en cada uno de los patrimonios locales. Esta permanencia de los grandes temas legendarios prueba su anclaje en las capas profundas del espíritu humano.

Tales analogías manifiestan, nos dice Lévi-Strauss, la existencia de estructuras fundamentales y universales de nuestro espíritu. Habla de un «inconsciente estructural» que influiría y modelaría el funcionamiento de la psique humana.¹⁹ Se encontrarán «compartimientos vacíos» en los cuales las conductas estarían predisuestas a inscribirse y modelarse.

De estas consideraciones retendremos la idea de algo exterior al pensamiento lógico. Una herencia universal que sería compartida y transmitida de una generación a otra.

¿Y qué dice Lévi-Strauss sobre el origen de esos «compartimientos vacíos» que parecen desempeñar un papel tan significativo en la evolución de la psique humana? Poca cosa en realidad. En *El hombre desnudo* (20) los asocia al «mandato oscuro que, a lo largo de millones de años y por vías tortuosas y complicadas, ha sabido asegurar la polinización de las orquídeas gracias a unas ventanas transparentes que dejan filtrar la luz».

Cómo aprenden a contar los niños

Si bien por falta de documentos, el origen histórico de la lógica humana se nos escapa, queda un campo de estudio más fácilmente accesible: la evolución psicológica de los niños. ¿Cómo alcanzan éstos el mundo de los razonamientos?

Me he zambullido en las obras de Jean Piaget. Con sus colaboradores, hombres y mujeres, Jean Piaget observó e interrogó a una multitud de niños en edad preescolar. Por medio de astutos tests, siguió su evolución mental desde sus primeros meses hasta su ingreso en la escuela.

Se presentan a un niño dos vasos de forma geométrica diferente. El primero, alargado como una copa de champaña, está lleno de agua hasta el borde. El segundo, ancho y bajo, está vacío. Frente a los ojos del niño, se vierte el agua del primero al segundo. Este quedará, entonces, igualmente lleno hasta el borde.

Se pregunta: «¿Qué vaso contiene más agua?». Un niño muy pequeño no sabe responder correctamente. La diferencia de forma entre los dos vasos lo perturba y le impide hallar la solución. Luego, un buen día, la solución se le aparece. Sin más. Sin vacilar, el niño dice: «Igual». De manera intuitiva, tal vez sin poder expresarlo, ha comprendido. *La forma no tiene importancia.*

Toda el agua del primer vaso está ahora en el segundo vaso. Se ha conservado la cantidad de agua durante la operación de transvase. Esta conservación, asociada al hecho de que los dos vasos se llenan uno después del otro, impone la respuesta.

La noción de conservación es una de las claves de la física contemporánea. Se la aplica con igual éxito a gran número de «sustancias» diferentes. Controla el comportamiento de la energía, de las cantidades de movimientos y de la carga eléctrica, así como de otras cargas asociadas a las diferentes fuerzas de la naturaleza.

Un elemento destacable de esas experiencias pedagógicas es la «iluminación» que acompaña por lo general al descubrimiento. La respuesta adecuada surge de pronto, a menudo con un intenso sentimiento de placer. Lo que parecía hasta entonces un problema insoluble (¿cómo comparar formas diferentes?) se convierte en una «evidencia» (las formas no importan). En un destello, el nuevo dato es comprendido y adquirido. De manera definitiva. Nunca será cuestionado.(21)

Piaget, y numerosos psicólogos después de él, subrayan la importancia del «mundo exterior», representado aquí por los vasos de agua. La lógica emerge de una interacción entre el intelecto humano, por una parte, y la realidad percibida por los sentidos, por otro lado. Cercenado del mundo, sin contacto con los seres y las cosas, un niño no se desarrolla. Más aún, se conoce en la actualidad la importancia determinante de los factores afectivos en la pedagogía. El buen educador es ante todo aquel que, por un lazo de simpatía, consigue ganar la confianza del niño.

Descartes parece ignorar todo esto. «Percibo cosas que ya estaban en mi mente, aunque nunca hubiese llevado mi pensamiento hacia ellas», dice. Piaget le respondería, acertadamente, que sin la larga relación positiva que desde su infancia mantiene con el mundo exterior, nunca hubiera podido «percibir esas cosas en su mente».

Los «puntos límite»

¿Qué es lo que todo esto nos enseña sobre el origen de la lógica? En un libro de entrevistas de Piaget con Jean-Claude Bringuier (22) he encontrado el siguiente comentario, que está por completo en la línea de nuestra investigación (los paréntesis y la cursiva son míos): «Creo que todas las estructuras (mentales, es decir, los conceptos y los elementos de los razonamientos) se *construyen* y que el hecho fundamental es el desarrollo de la construcción. Nada está dado al comienzo sino *algunos puntos límite* sobre los cuales se apoya el resto. Pero las estructuras no son datos a priori, ni en la mente humana ni en el mundo exterior tal como nosotros lo percibimos o lo organizamos. Los datos se construyen por interacción entre las *actividades del sujeto y las reacciones del objeto.*»

Volvemos a encontrar aquí el término «construir». Una palabra que recubre a la vez «descubrir» (se construye a partir de algo que ya existe) e «inventar» (pero la construcción no existía como tal). Piaget nos ha hecho avanzar hasta una nueva frontera, bien delimitada por la expresión hermética: *nada* está dado al comienzo *sino algunos puntos límite* sobre los cuales se apoya el resto. El elemento nuevo, con respecto a Kant, es: el reconocimiento de nuestra ignorancia *frente a ese a-par-tir-de-lo-cual* el cerebro construye. Las palabras «algunos puntos límites», así como los términos «compartimientos vacíos» y «mandato oscuro» de Lévi-Strauss plantean más preguntas que las respuestas que aportan...

La «maquinaria» del cerebro

En otro texto, Piaget nos hace algunas confidencias sobre lo que piensa de «esos puntos límite». Nos habla de su esperanza de que el estudio de la bioquímica del cerebro pueda vincular estos puntos límite con los fenómenos moleculares.

Hallamos una opinión análoga en la pluma de varios psicólogos y críticos de arte. Freud, en su texto *Un recuerdo infantil de Leonardo da Vinci*, enuncia la posibilidad de un origen orgánico de «las estructuras preexistentes de la psique». El pedagogo Arno Stern, después de haber comprobado las analogías entre las pinturas de los niños de tribus de Nueva Guinea y las de los niños occidentales, invoca como explicación la hipótesis de una «memoria orgánica» de las formas.(23)

Nosotros lo sabemos de manera intuitiva, y la investigación científica nos lo confirma: es en el cerebro donde esto ocurre. Encastrado en su caja ósea, este órgano es el asiento de nuestras emociones y nuestros razonamientos. ¿Qué relación hay entre el pensamiento abstracto y la actividad neuronal en ese volumen opaco que está entre nuestros oídos?

Vamos a preguntarlo a los investigadores que, con una serie de instrumentos diferentes, han intentado dilucidar el funcionamiento del cerebro.(24) En los últimos años se han realizado grandes progresos en este terreno.(25) Siguiendo nuestra buena costumbre, nos plantearé después cuál es el impacto de esos nuevos conocimientos. ¿En qué medida tales resultados pueden ayudarnos en nuestro recorrido?

A menudo se ha comparado al cerebro con una gigantesca computadora. En el mejor de los casos se trata de una pobre comparación, muy a la medida de nuestro débil entendimiento. La conservaremos por su utilidad pedagógica, pero sin perder de vista sus límites.

El cerebro está constituido por centenas de miles de millones de células denominadas neuronas. Mediante un conjunto de conexiones, cada neurona está ligada a un gran número de otras neuronas. El número de

conexiones posibles en el cerebro humano es ampliamente superior al número de átomos en el universo. Todo recuerda, en efecto, el apretado amasijo de cables de los circuitos electrónicos de la informática.

La actividad del cerebro se manifiesta por la extraordinaria crepitación de una multitud de descargas neuronales, de impulsos que descienden a lo largo de conexiones y desencadenan oleadas de moléculas específicas, que propagan señales cuyos efectos van a su vez a excitar a otras neuronas. Retendremos aquí sobre todo la importancia de los fenómenos eléctricos (los impulsos emitidos por las neuronas cuando se descargan) y las reacciones químicas (condiciones obligadas del paso de una señal hacia otra neurona).(26)

Imágenes mentales y descargas neuronales

¿Cuál puede ser la relación entre esas innumerables descargas y el desarrollo de un razonamiento?

Estamos lejos, desde luego, de poder responder a esta pregunta. Sin embargo, se han hecho progresos destacables en esta dirección. Los razonamientos se hacen a partir de conceptos, los conceptos se forman a partir de imágenes y las imágenes provienen de percepciones sensoriales. Los trabajos de dos investigadores estadounidenses, Huber y Wiesel, nos permiten relacionar la percepción de las imágenes con el comportamiento individual de las neuronas. Ya es un paso en la dirección adecuada.

Al estudiar la visión en los gatos, estos investigadores demostraron que cada componente de una imagen es percibido por grupos de neuronas diferentes. Algunos grupos se descargan cuando una línea horizontal está presente en el paisaje. Otros grupos sólo reaccionan a líneas verticales; otros, finalmente, a diferentes líneas oblicuas.

Algunas neuronas no reaccionan si la imagen permanece estática. Sólo reaccionan a los movimientos. Unas son sensibles a los desplazamientos rápidos; las otras, a los desplazamientos lentos. Las direcciones de los movimientos —de abajo arriba, de izquierda a derecha— están asociadas a otros grupos de neuronas.

Todo ocurre como si el paisaje fuera *analizado* por el ojo. Se descompone en diferentes elementos: líneas, colores, movimientos. Percibidos por grupos de neuronas específicas, esos elementos —análogos a las letras de un alfabeto en la constitución de un lenguaje— se reorganizan luego en la corteza cerebral.

Moléculas y memoria

Las imágenes formadas de esta manera se registran en la memoria, donde se ponen a disposición del cerebro asociativo. ¿Cómo se almacenan las imágenes? ¿Qué ocurre en nuestra bóveda craneana cuando, tras una pregunta, damos nuestro número de teléfono o decimos el nombre de la capital de Polonia?

Varios investigadores se han interesado en este fenómeno. Primera hipótesis: las informaciones están ligadas a moléculas específicas. La biblioteca de nuestros recuerdos estaría compuesta por un gran número de estructuras atómicas debidamente etiquetadas, listas para resurgir, del mismo modo que buscamos un documento en una estantería. Esta idea, muy difundida hace algunos años, ha sido sometida a pruebas de muy diversa índole. Los resultados han sido, por lo general, negativos. La mayoría de los investigadores no la sostienen, por lo menos en su forma más ingenua.

Se han propuesto otras formas de almacenamiento de la información. Los recuerdos harían intervenir las conexiones entre las neuronas.(27) El problema, pues, sigue estando a la orden del día.

El espíritu de las moléculas y las moléculas del espíritu

La farmacología de las enfermedades mentales nos permite explorar otras relaciones entre la actividad psíquica y las moléculas. Con las manifestaciones esquizofrénicas, por ejemplo, estaría asociada una cantidad excesiva de una molécula específica denominada *dopamina*. Los síntomas se alivian mediante inyecciones de sustancias que neutralizan el efecto de la dopamina. Lo mismo ocurre con la senilidad precoz (enfermedad de Alzheimer), que estaría vinculada con una insuficiencia de *acetilcolina*.

De esta manera, la percepción de las imágenes, su almacenamiento en la memoria y algunos aspectos de la actividad mental pueden corresponderse con fenómenos eléctricos y químicos en el interior de la caja craneana. Estos descubrimientos de la neurofisiología van en la dirección de la intuición de Piaget: el estudio de la bioquímica del cerebro podría relacionar los famosos *puntos límite* con los fenómenos moleculares.

De esos progresos espectaculares nació la idea de que las moléculas tal vez encerrasen el secreto y la explicación última de todos los comportamientos humanos, incluido el nacimiento del pensamiento, del lenguaje, de la actividad artística y de las angustias metafísicas. Serían, de alguna manera, la mecánica última de la conciencia; la sustancia de los «puntos límite» de Piaget y los «compartimientos vacíos» de Lévi-Strauss.²⁸ En Francia, Jean-Pierre Changeux se ha convertido en el poeta de esta visión molecular de la realidad. «Al hombre no le hace falta el espíritu», enuncia triunfalmente en su libro *El hombre neuronal* (29)

Una mitología molecular

Nuestro análisis del círculo de los conocimientos nos muestra la insuficiencia de tal ideología. Lejos de sacarnos del círculo vicioso, nos sumerge en él. Pues si se explican los números, las leyes y el pensamiento en términos de moléculas, es necesario, como contrapartida, enunciar la fisico-química de las moléculas en términos de números, de leyes y, en consecuencia, de pensamiento. Encontramos inmediatamente el problema de la existencia de las leyes y de su relación con el pensamiento humano. *Si el espíritu proviene de las moléculas, las moléculas provienen del espíritu*. A Changeux se le respondería que sin «el espíritu» que él rechaza no podría nombrar las «moléculas» que invoca.

Tampoco podría enunciar su proposición: «Al hombre no le hace falta el espíritu».

Vemos que, en un giro espectacular en relación con la mitología *pitagórica*, los descubrimientos científicos recientes han dado nacimiento a una mitología molecular.³⁰ Estas dos mitologías, cada una a su modo, son espejismos, soluciones fáciles.⁽³¹⁾ Tentaciones que debe evitar aquel que quiere explorar el origen de nuestra aptitud para comprender el mundo. Como Ulises, debemos procurar navegar entre una Caribdis de las «ideas primordiales» y una Escila de las «moléculas omniexplicativas».

Antes de terminar esta sección sobre la maquinaria del cerebro, es necesario mencionar un descubrimiento particularmente significativo y cuyas implicaciones estamos lejos de haber explorado completamente. Nuestro cerebro está dividido en dos sectores distintos, situados aproximadamente a izquierda y a derecha, con los cuales están asociadas operaciones mentales diferentes. En general, el cerebro izquierdo es el que analiza, en tanto que el cerebro derecho es el que sintetiza. Las palabras, los conceptos y las ideas son propios de la izquierda, mientras que a la derecha se procede por síntesis y por globalización.

Lo importante aquí, para nosotros, es la existencia en nuestro cerebro *de varios modos* de representaciones del mundo. Nuestro saber no imita, ni es reductible a la suma de las cosas que sabemos y al conjunto de los razonamientos que podemos formular. Este descubrimiento puede ser considerado como un nuevo cuestionamiento de la hegemonía de las ideas pitagóricas.

¿En qué punto nos encontramos?

Antes de introducirnos en nuevos senderos, es conveniente hacer una pausa y pasar revista brevemente al camino recorrido en estos tres primeros capítulos.

Hemos partido de la pregunta: ¿El conocimiento científico del universo expulsa de éste a la poesía? ¿La maravillosa belleza de los espectáculos naturales no es más que un despliegue de soluciones a las ecuaciones matemáticas de la física? ¿Es posible aún vibrar delante del mar iluminado por el sol poniente cuando se conoce la teoría de Maxwell?

Para cuestionar la legitimidad de estas pretensiones de un determinado discurso científico, nos hemos remontado dos mil quinientos años atrás, a orillas del mar Jónico, donde nació la elaboración científica.

El descubrimiento de la importancia de las matemáticas en el funcionamiento de la naturaleza dio nacimiento a lo que hemos denominado *mitología pitagórica*. Los números son la realidad última.

Las ciencias se remiten al lenguaje de las cifras (escala de Auguste Comte). El mundo es una actualización de las matemáticas. El cerebro humano las descubre ya inscritas en su propio interior.

Más adelante, este armonioso cuadro sufriría varios ataques, de los cuales no se iba a recuperar nunca.

En primer lugar, la actividad lúdica de esta ciencia. Se inventan una multitud de matemáticas «que no sirven para nada». Solamente algunas describen el mundo real.

Segunda fuente de asombro: las dificultades internas. Nada permite afirmar que un día las matemáticas resolverán sus problemas y quedarán acabadas. Frente a estos puntos débiles, su calidad de incompletas, su fantástica eficacia se vuelve todavía más misteriosa.

El tercer cuestionamiento provino de la astronomía. La naturaleza funcionaba mucho antes de que las matemáticas fuesen formuladas. Al plantearse la pregunta del origen de los conceptos, Piaget hace tambalear la escala de Augusto Comte. El nacimiento de la lógica es un problema científico. Las ciencias se apoyan las unas sobre las otras.

Para alejarnos del círculo de las ciencias, hemos procurado retratar la historia del pensamiento. Los trabajos de los etólogos nos han confirmado que no somos los primeros en haber pensado. Lévi-Strauss nos ha hablado de las «estructuras primitivas» de la mente humana y Piaget de la «construcción» de los conceptos y de los razonamientos a partir de elementos misteriosos. Hemos intentado vincular esos elementos con los fenómenos moleculares mediante el estudio de la bioquímica del cerebro. Pero al tomar conciencia del hecho de que la bioquímica se estudia por la actividad mental, nos hemos dado cuenta de que este proceder nos había conducido al círculo de las ciencias. En el cuarto capítulo iremos a buscar el camino de salida en los tortuosos senderos del psicoanálisis.

IV Los lugares de la construcción mental

Considerándolo bien, tal vez nos hayamos equivocado al reprochar a Piaget y a Lévi-Strauss el carácter vago de los términos de sus últimos análisis («puntos límite»; «compartimientos vacíos»). Quizá sea mejor ver en ellos una esperanza, el principio de una vía de salida del círculo de las ciencias. ¿No sería paradójico, en efecto, pretender formular con conceptos claros una teoría del origen de los conceptos? ¿Puede explicarse la lógica en términos de lógica?

Por tal razón, en este cuarto capítulo iremos en otra dirección casi opuesta a nuestro proyecto precedente. Nos dirigiremos a la menos «lógica» de todas las disciplinas científicas: el psicoanálisis.

La apertura del psicoanálisis hacia algo que no es del dominio del intelecto, pero que por todas partes rodea y bordea ese terreno sugiere un enfoque diferente. Más que procurar (vanamente) comprender cómo nace el pensamiento racional, vamos a preguntarnos dónde nace. Este nuevo recorrido nos sumergirá en las oscuras aguas del inconsciente. Ahí encontraremos la fuente común de la lógica y de la poesía...

Así como Cristóbal Colón descubrió América, también Freud hizo salir de las sombras un inmenso continente poblado de impulsos primitivos. Bajo la delgada capa de la conciencia, Freud encuentra en estado bruto los instintos primordiales de la vida animal: el impulso sexual, la violencia y la agresividad. El psicoanálisis, como la teoría de la evolución darwiniana, nos pone en conexión con nuestra ascendencia biológica. Reconoce, debajo de nuestros gestos de «civilizados», la pesada herencia legada por nuestros antepasados. Todo aquello que constituye nuestra riqueza y, a la vez, nuestra dificultad de vivir.

En el marco de nuestro recorrido, retendremos de Freud que lo «dicho» encuentra su fuente en lo «no dicho». Lo verbal en lo no verbal. Detrás de la actividad humana, influyendo en ella y modulándola, se deja entrever una realidad oscura: el deseo. No el deseo de una cosa: comer, hacer el amor (que desaparecería una vez satisfecho), sino un deseo imposible de saciar, inscrito en la raíz de las emociones, en la textura misma del cuerpo, en lo más profundo del ser. De hecho un deseo de retorno imposible a la madre, a la época de fusión en la cual ella y el niño no eran más que uno. ¡Ahí, en ese mundo oscuro, tendremos que sumergirnos ahora!

Compartimientos llenos

El psicoanalista suizo Carl Jung se ocupó extensamente del problema del origen del pensamiento. Según él, el inconsciente posee una dimensión colectiva. Está poblado de «imágenes» universales que sustentan los impulsos motrices del ser humano. Esas imágenes habrían desempeñado un papel fundamental en la evolución de nuestra descendencia.

Para un lector poco experto, resulta tentador conectar las «imágenes» de Jung con los «compartimientos vacíos» de Lévi-Strauss. Sin embargo, Lévi-Strauss se alza de una manera vehemente contra tal aproximación. La diferencia, según él esencial, reside en el hecho de que sus «compartimientos» están realmente «vacíos», mientras que los de Jung están «llenos». Tal es la respuesta que me dio, cuando, hace algunos años, asombrado por la vivacidad de su reacción ante esta relación que a mí me parecía natural, le solicité algunas explicaciones.(32)

¿Vacíos de qué? ¿Llenos de qué? Esa es precisamente la aportación nueva y fundamental del psicoanálisis a nuestro interrogante. Subraya la importancia de la carga afectiva que va asociada con las operaciones

mentales. Las entidades fundadoras de la psique ya no están identificadas con estructuras formales, sino con elementos activos, impregnados de emotividad.

Las «imágenes» de Jung se destacan por la impresionante energía que puede desprenderse de ellas. Hemos visto en nuestras pantallas la histeria de las multitudes iraníes tras la muerte de Jomeini y también el fanatismo de los jóvenes nazis, portando antorchas y enmarcados por cruces garuadas, dispuestos a morir por un sueño insensato. Esos documentos ilustran la carga energética que pueden movilizar las imágenes del padre, del jefe, de la guerra santa, de la patria, de la tierra natal.

La lógica y el cuerpo

Para medir el camino recorrido desde el comienzo de nuestro itinerario, recordemos que Descartes quería, a cualquier precio, dissociar el cuerpo y la lógica. Vamos ahora en sentido inverso. Al poner el énfasis sobre el contexto emotivo en donde se sumerge el magma primordial del pensamiento y de la lógica, el psicoanálisis nos muestra de qué manera esas realidades están profundamente ancladas en el mundo de los sentimientos, y por ellos, en el cuerpo mismo.

Podríamos estar tentados de retomar, en este punto, la tesis denominada «materialista», según la cual el pensamiento es una producción del cuerpo, como la bilis es una producción del hígado o un reloj una producción del relojero. Esta tesis nos conduciría, rápidamente, a los mismos caminos llenos de socavones de los que queremos salir. «Explicar» el pensamiento por el cuerpo equivaldría a fundamentar la psicología en la bioquímica, la cual, según un dicho conocido, se apoya sobre la química, que... Y estaríamos de nuevo atascados... Es imprescindible mantener una vigilancia continua para evitar el círculo vicioso de las ciencias...

Se encoge el vientre

Resulta muy evidente que el «cuerpo» del que tratamos aquí no es en absoluto un concepto. Es aquello de lo cual tenemos una experiencia diaria y que hacía decir a Wilhelm Reich: «No tenemos un cuerpo, *somos* un cuerpo». Gracias a él estamos en el mundo y ahí permaneceremos tanto tiempo como él nos lo permita. Es lo que nos hace sentir, sufrir, y tener angustias...

Una gran lección de la sabiduría oriental, en oposición al conceptualismo occidental, es precisamente la primacía del cuerpo real. El funcionamiento armonioso del ser humano pasa por una «reconciliación» con el cuerpo. Esa es, creo, la aportación fundamental del yoga, por ejemplo, que hoy recogen las terapias denominadas «californianas»: bioenergía, gestalt, etc.

El psicoanalista lo sabe, pues se enfrenta diariamente con el sufrimiento provocado por la disociación del cuerpo y de la mente. Me gustaría citar un hermoso texto de Elie Humbert,(33) en el que expresa lo que él vive y lo que siente entre sus pacientes:

El cuerpo existe y la mente no sabe lo que eso quiere decir. No encuentra nada sobre cómo comprender esta existencia y se interroga sobre su sentido...

Es el cuerpo lo que muere y así plantea la evidencia de la existencia. Es la mente la que interroga y se ve arrastrada más allá de sus reflexiones habituales. Ya no va de un significativo al otro para comprender los encadenamientos que tejen la realidad. La pregunta ha cambiado de plano, pues esta vez está ligada al cuerpo. Se ha convertido en la experiencia de lo no está ahí pero que todo mi cuerpo deja sentir. Ya no se trata de reflexión sino de contemplación y de angustia.

Se encoge el vientre y todo el cuerpo sufre; puede incluso caer enfermo y se denomina a esto «angustia metafísica». La expresión dice que una de las más elevadas actividades de la mente hunde el vientre y sacude al organismo.

El terror del «no yo»

¿Qué es lo que todo esto nos enseña sobre el origen del pensamiento en el ser humano?

Más que preguntárselo a Freud —que sólo estudió la fase infantil de los seres humanos a través de las neurosis de la edad adulta—, preguntaremos a investigadores como Melanie Klein, Winnicott y Françoise Dolto.³⁴ Estos psicólogos se han interesado en los niños mismos. Tomando en consideración el componente afectivo del problema, identificaron correctamente el lugar en donde todo esto sucede.

El elemento exterior que inicia la actividad mental en el niño es, simplemente, la «realidad». Pero en la que podríamos denominar *su dimensión de terror*. Para existir hemos aprendido a borrar los aspectos terroríficos del mundo real. Nos llegan a veces y nos saltan a la cara, frente al sufrimiento, a la muerte, al horror en todas sus formas. Basta con leer los periódicos del Líbano, de Rumania, de África del Sur, etc. Es de esta dimensión de la realidad de lo que vamos a tratar ahora.

Los poetas son quienes mantienen los ojos abiertos. Escuchemos a Michèle Lalonde, poetisa canadiense.³⁵ «La realidad no se puede reflejar en palabras. Considerarla con cierto temor, mezcla de orgullo, como materia en fusión y en fuga, magma existencial, caos permanente.»

El acontecimiento fundamental de nuestra existencia, nos dice Winnicott, es el encuentro con la realidad. Este encuentro es la fuente de todas las angustias; el drama principal de la vida humana. «Ningún ser humano», afirma, «llega a liberarse de la tensión suscitada por el encuentro de la realidad exterior con la realidad interior. La aceptación progresiva de la realidad es una tarea sin fin.»

El telescopio sucede al osito de peluche

En el nacimiento, el niño está en completa fusión con su madre. Vive en un capullo que lo aísla del mundo exterior. La confrontación progresiva con la realidad va a constituir la trama y el drama de su existencia.

Aquí se sitúa un descubrimiento fundamental de Winnicott. El encuentro de la realidad exterior con la interior se hace en un territorio medianero entre el yo y el mundo. En esta área intermedia el niño puede actuar sobre la realidad, remodelarla, recrearla. Mediante esta actividad puede exorcizar la dimensión del terror.

La palabra clave aquí es juego. Winnicott nos habla del «área de juego del niño "perdido" en su juego». Con su oso de peluche o su muñeca de trapo «se alivia de la angustia frente al mundo exterior y de la tensión creada por la necesidad de enfrentarse con él».(36)

Winnicott orienta nuestra mirada hacia esa área de juego donde, como respuesta a la tensión engendrada por el encuentro con el mundo, se manifiesta la inventiva y la creatividad del ser humano. Fertilizada por esta tensión, se convierte en el lugar de todas las actividades psíquicas. El telescopio o el pincel toman el lugar del juguete de peluche. En ese jardín florecen, mezcladas, las religiones, las artes y las ciencias.

Cada una de esas actividades remodela a su manera la actividad exterior y hace soportable la vida. Cada una tiene un papel bien definido en esta inmensa empresa de «reconstrucción» gracias a la cual el ser humano puede afrontar el mundo exterior y vivir plenamente la existencia terrestre.

Algunos niños no lo logran nunca y se encierran en su «autismo». ¿Por qué? Los psicoanalistas nos enseñan el papel fundamental de la madre. Al favorecer la aparición de esta área de juego, ella sola puede volver tolerable la angustia de la soledad provocada por la separación.³⁷

En pocas palabras, el psicoanálisis nos ha conducido a buscar el origen del pensamiento fuera del pensamiento mismo. Nos ha mostrado el lugar, el marco y las modalidades de la aparición de la actividad mental. Hemos descubierto aquí la existencia de una zona eminentemente fértil en donde se produce el encuentro del ser humano con el mundo exterior. Un terreno de juego donde el yo reconstruye la realidad, en la cual puede afrontar el «terror del no yo» y vivir plenamente. La creatividad es para Winnicott el criterio de una vida bien realizada.

El nombre de las flores

En el marco de nuestra búsqueda hemos recogido una información particularmente esclarecedora. La actividad científica, la poética y la religiosa nacen juntas en un mismo mantillo, impregnado de angustias infantiles.

Estas tres hermanas, gemelas en su origen, están destinadas a la misma tarea: la reconstrucción del mundo. A lo largo de las páginas precedentes hemos atacado las pretensiones de la primera de substituir a la segunda. En las páginas siguientes procuraré decir en qué difieren sus métodos al tiempo que se complementan.

Al descifrar el comportamiento de la naturaleza, la ciencia logra, hasta cierto punto, conjurar el miedo. Nos tranquiliza. El trueno y los cometas ya no nos asustan. Aún somos impotentes frente a la violencia destructora de los huracanes, pero estamos en condiciones de prevenir a las poblaciones amenazadas. Algunas enfermedades, antes mortales, pueden ser controladas por la medicina.

Para alcanzar su objetivo, la ciencia está atenta a los hechos. Se impone el control de las experiencias en el laboratorio. La realidad que recrea —en términos de teorías y de leyes— debe obligatoriamente reproducir las observaciones. Esta limitación le da su credibilidad, pero también sus límites expresivos. Las palabras son utilizadas aquí para intercambiar informaciones.

Para cuidar el rigor y la precisión, el científico debe expresarse en términos claramente definibles, despojados de toda ambigüedad, otorgar a sus frases la construcción lógica impecable que asegura una transmisión óptima de las informaciones.

Un quásar se denomina: «0957+51». Este nombre es a la vez preciso y práctico: da la posición del astro en coordenadas celestes. Como contrapartida, está desprovisto de connotaciones afectivas. No hace soñar... Es el precio que debe pagarse para obtener informaciones utilizables.⁽³⁸⁾

La poesía emplea el lenguaje con una finalidad diferente. Un poema japonés (haiku) nos ofrece una excelente ilustración de ello:

*Vi unas hierbas silvestres.
Cuando supe su nombre,
me parecieron más bellas.*

La belleza es una experiencia del mundo. Implica a la vez la realidad exterior y a aquel que la percibe. Está cimentada en ese territorio intermedio del que nos habla el psicoanalista. Al poner palabras sobre la realidad, la poesía enriquece nuestra relación con las cosas. Nos las deja ver de otra manera. Nos las deja ver, simplemente. Al ser nombrada, la flor se vuelve más hermosa.

Las puestas de sol no serán nunca más las mismas para quien conozca los versos de Baudelaire:

*Los soles ponientes
salpican los campos,
los canales, la ciudad entera
de jacinto y de oro,
el mundo se adormece
en una cálida luz.*

El jacinto, el oro y la cálida luz se asocian para siempre, y acompañarán al lector en esos momentos en que el sol se pone.

La importancia de las palabras

Para alcanzar su objetivo, la ciencia debe hacerse fría en su forma de utilizar el lenguaje. La poesía lo emplea de una manera más dinámica, más inventiva. Al contrario que el científico, el poeta siente inclinación por los términos ambiguos, abundantes en sentidos múltiples, cargados de connotaciones acumuladas en el transcurso de los tiempos. Altera el orden habitual de las palabras; las frota unas contra otras, como piedras a las que se les sacan chispas. Desviando los conceptos de su papel, yuxtaponiendo de un modo inesperado términos que no van juntos, hace nacer imágenes, impresiones, emociones desconocidas, una nueva experiencia del mundo.

En el espacio creado por la desorientación, nace un deslumbramiento en el que se puede percibir un «sentido» nuevo, irreducible a las palabras que lo han producido. Al revés del discurso científico, cuanto menos significación tiene el poema —en el sentido tradicional del término— más oportunidades tiene de poseer «sentido». «El mar crédulo como una enredadera», escribe Rene Char. Relea ese verso y déjese llevar...

La poesía es un sendero diferente hacia el magma oscuro de la realidad. Acrecienta las capacidades de expresión del lenguaje. Más allá de lo utilitario, encuentra nuevas vías para expresar el mundo, para escrutar sus riquezas inexploradas. En su vertiente lúdica, crea realidades inéditas.

El lenguaje científico está eminentemente adaptado al análisis de los hechos reales. Pero para obtener una visión de conjunto, para abarcar un tema en la totalidad de sus facetas, el lenguaje poético es ciertamente

mucho más eficaz. Por mi parte he hecho recientemente la experiencia. Al terminar mi libro sobre la historia del universo, busqué durante largo tiempo un título apropiado. Las palabras de mi primera elección: «evolución cósmica», son precisas, chatas y sin resonancia. Las tomé como subtítulo. Como título adopté el verso de *Valéry Patience dans l'azur*, tanto más evocador.

Sobre esos senderos de lo impensable, la música va más lejos todavía. Utiliza objetos sonoros desprovistos de sentido conceptual. Tiene en común con la lógica la construcción de edificios regidos por reglas a menudo estrictas y rigurosas. Pero posee como suplemento el arte de crear emociones nuevas.

El abismo de lo impensado

«Magma existencial, caos permanente», escribe Michèle Lalonde. «La realidad no puede ser reflejada por la palabra... [es] indiferente al Logos.» No sé si es necesario seguir a la poetisa hasta ese punto. Planteemos la pregunta de otra manera: ¿podemos afirmar que no hay ninguna relación entre la naturaleza profunda de las cosas y lo que nosotros podemos conocer y decir de éstas? ¿Es correcto pensar, como ella, que: «Todo escritor digno de ese nombre trabaja en la ilusión y la intención megalómana de cercar la realidad y sólo llega, de hecho, a precisar su relación con ella y a tomar posición muy exactamente»?

Es lícito ponerlo en duda, desde luego. Pues entonces sería necesario renunciar a comprender por qué las matemáticas (determinadas matemáticas) tienen tal eficacia para describir algunos aspectos del mundo real.(39)

Si, por el contrario, se busca el origen de las ideas en una realidad inalcanzable por medio exclusivamente del intelecto, pero presentida por el cuerpo y próxima a lo que los psicoanalistas denominan «el inconsciente», entonces ya no se puede hablar de indiferencia. Lo que decimos de las cosas revela una parte de su naturaleza profunda, de la misma manera que la parte emergente del iceberg manifiesta la presencia de la masa invisible sumergida.

¿Esto, sin embargo, basta para explicar la formidable eficacia de las leyes de la física? Son muchos los autores que se han interesado por esta cuestión. Confesémoslo con franqueza, hasta ahora no se ha aportado ninguna respuesta verdaderamente satisfactoria... Estamos reducidos a unas vagas intuiciones, plausibles pero no demostrables.

En pocas palabras, o en muchas, todos esos autores mantienen aproximadamente el mismo discurso. Se puede expresar con las frases siguientes. El cerebro humano es uno de los frutos de la evolución cósmica. Su elaboración está gobernada por la acción de la evolución cósmica. Su elaboración está gobernada por las leyes de la física sobre la materia universal. De ahí vendría su aptitud para formular los principios alrededor de los cuales, y gracias a los cuales, se ha estructurado.(40)

Dicho de otro modo, a la frase: *el universo nos resulta inteligible porque somos inteligentes*, podríamos añadir: *somos inteligentes porque el universo es inteligible*.

Semejantes afirmaciones parecerán muy poco convincentes a las mentes amantes del rigor. Son indemostrables e «infalsificables», como diría el filósofo Karl Popper. Sin embargo, cabe pensar que, en cierta medida, corresponden a la realidad.

La inteligibilidad replantea la cuestión de la existencia de la organización en el universo. ¿Por qué no es un caos? ¿Y qué es el caos? ¿Cómo podemos siquiera hablar de caos? Esta pregunta nos enfrenta con los límites de nuestro lenguaje. No se puede hablar de caos sin antes haberlo definido. Y no se puede definirlo

más que a partir de la idea de orden, lo cual nos coloca en el terreno de lo inteligible. El «caos» así como la nada escapan a toda inteligibilidad.(41)

¿Qué más podemos decir? Simplemente asomarnos al borde del abismo de lo impensado, en las profundidades del cual, misteriosamente, aparecieron la racionalidad y la poesía.⁴² El vértigo suscitado por esa mirada relativiza nuestra relación con los conceptos. Nos protege contra la tentación de las certidumbres y la hegemonía del pensamiento lógico.

Se comprenden mejor en esta óptica las frases de Jacques Lacan:

*Siempre digo la verdad, no toda,
porque a decirla toda
no se llega,
faltan las palabras.
Ese imposible
hace que la verdad
esté sujeta a lo real.*

Dicho de otro modo: detrás de lo que las palabras nos dejan captar de la realidad, se adivinan, perpetuamente en movimiento, estratos no reducibles a lo inteligible. La racionalidad sola no basta para transmitirnos la sustancia. Para percibir claramente las puestas de sol sobre el océano hay que poner en funcionamiento todas las facultades de la mente. Es el mensaje de Schiller: «*The full mind is alone the clear*»

SEGUNDA PARTE

MARIPOSAS SOBRE UN CAMPO DE COLZA

CIENCIA Y LIBERTAD

V Las mariposas y las leyes de la física

*¿El virgen, vivaz y hermoso hoy
va a desgarrarnos con un loco golpe de ala?
Ese duro lago olvidado
que acecha bajo la escarcha
el transparente glaciar
de los vuelos que no han huido.
El cisne, STÉPHANE MALLARMÉ*

El amarillo ácido de un campo de colza ilumina la primavera. Dos mariposas vuelan, indolentes, por encima de la maleza. Ahora son tres, dos amarillas y una blanca. Giran, hacen piruetas y ascienden lentamente hacia el cielo. Muy arriba, la tercera las abandona. Apenas si puedo seguirlas con la mirada. Se van hacia el Sol y desaparecen en el destello de una nube blanca.

«El universo es el conjunto de lo que ocurre», escribe el filósofo vienes Wittgenstein. La realidad está teñida de esos acontecimientos singulares que dan al hoy su vivacidad.

El «momento presente» plantea problemas a los pensadores científicos. Durante largo tiempo se ha querido negar el «hoy». Se lo ha encorsetado una vez tras otra. En nombre del «determinismo», se ha negado su virginidad; en nombre del «azar», se ha rechazado su vivacidad. Sea como sea, su sentencia está en «suspense». Ya no le queda mucho tiempo.

Está irremediablemente condenado a la «muerte térmica».

Gracias a una revolución conceptual comparable en importancia a la de la relatividad o a la de la física cuántica, los científicos de nuestro siglo están ahora en condiciones de apreciar el «momento» en su justo valor. Se han reconciliado con lo imprevisible, lo inédito y, en definitiva, con la noción de libertad.

Parafraseando a Mallarmé y a su cisne prisionero de los hielos, se puede decir que el deshielo ha llegado y que el «hoy» ha recibido, finalmente, el «loco golpe de ala» liberador.(43)

En los tres capítulos que vienen a continuación, voy a intentar contar los puntos culminantes de esta evolución. Varios elementos desempeñan un papel de primer plano: la elaboración de las «teorías del caos», el descubrimiento de la expansión del universo, el desarrollo de la informática y la construcción de las computadoras ultrarrápidas. Gracias a la acción combinada de esos diversos elementos, estamos en condiciones de apreciar en su singularidad propia el vuelo de las mariposas amarillas sobre un campo de colza.

El mensaje de Demócrito

«Todo sucede por azar y por necesidad», escribía el filósofo griego Demócrito hace dos mil quinientos años. La fórmula iba a tener éxito. Definía los dos polos principales alrededor de los cuales diferentes escuelas iban a situarse a lo largo de la historia del pensamiento.

«Todo es necesidad» implicaría que, por un conjunto de leyes dictatoriales, los fenómenos de la naturaleza y los acontecimientos de nuestra vida estarían ineluctablemente determinados a ser lo que son, relegando cualquier impresión de libertad al mundo de la ilusión. «Todo es azar» implicaría, por el contrario, la ausencia total de determinación. El reino absoluto de lo fortuito y de lo imprevisible.

Demócrito, pensador astuto, se limitó a yuxtaponer esos dos polos mediante un pérfido «y». Deja a sus lectores la tarea de elucidar cómo el «azar» y la «necesidad» coexisten en el mundo real. ¡Se han necesitado más de dos milenios para llegar a resolver ese problema!

Las horas de gloria del polo «necesidad»

En la historia de las ciencias, el polo «necesidad» conoció sus horas de gloria en los siglos XVII y XVIII, gracias al descubrimiento de la mecánica celeste. A esta gloria se vinculan los nombres de Newton y Laplace.

Es posible calcular la posición de los astros tanto en el pasado como en el futuro. A los ojos de los «mecánicos del cielo», el sistema solar se convierte en una soberbia mecánica, un trabajo de relojería admirablemente ajustado para la eternidad.

En el Siglo de las Luces, los éxitos de la teoría de la gravitación universal permiten al espíritu humano embriagarse de su propio poder. Las leyes de Newton parecen poder servir de modelo a todos los ámbitos de la realidad. La naturaleza íntegra será puesta en fórmulas. Circunscrito por ecuaciones matemáticas, el universo se tornará transparente para la investigación humana.

Víctima de las conquistas de Newton, el «tiempo» es condenado a muerte. El momento presente no es más que un punto superficial en el desarrollo sin sorpresas de una «duración» reducida al estado de parámetro matemático. El pasado y el porvenir están encerrados en la red de las ecuaciones diferenciales. Nadie glorió este acontecimiento mejor que Laplace.(44)

Si con respecto al leve vuelo de las mariposas sobre el campo de colza una hermosa mañana de primavera se le hubieran planteado al marqués de Laplace las siguientes preguntas: «¿Este acontecimiento debía necesariamente producirse?» y «¿Habría podido ser previsto en sus menores detalles?», ¿qué habría respondido? Según la lógica de su visión del mundo, habría probablemente respondido dos veces «sí».

La hegemonía del polo «necesidad» puede seducir a la mente humana. Pero lo que ofrece es un espectáculo más bien triste. Bajo su égida, los adjetivos «inesperados», «imprevisto» e «inédito», así como los sustantivos «inventiva» y «creatividad» pertenecerían al más puro folclore. Deberían ser implacablemente erradicados del vocabulario científico. Lo mismo ocurriría con los términos «libertad» y «fantasía». El azar quedaría desenmascarado. No se vería en él más que una confesión de ignorancia, una falta de diligencia para utilizar a fondo la enorme eficacia de la mente humana.

En su esplendor solemne, las órbitas planetarias, irremediable e incansablemente recorridas, son en cierto sentido imágenes de monotonía, de aburrimiento y de desesperanza. Ilustran a la perfección la pobreza del polo «necesidad pura».45 Son difíciles de reconciliar con la inventiva de la naturaleza. Cuadran mal con la riqueza y la diversidad de formas que la realidad no cesa de engendrar a lo largo de las eras.

Las horas de gloria del polo «azar»

Gracias al desarrollo de la biología a fines del siglo pasado, el polo «azar» ha tenido también sus horas de gloria. Con la teoría de la evolución, se redescubre la importancia de lo aleatorio.

Se denomina «selección artificial» al acto por el cual un criador elige y lleva a la reproducción los mejores individuos de su ganado con el propósito de mejorar la calidad. El genio de Darwin fue imaginar que un fenómeno análogo ocurre en el marco de la evolución natural.

Contrariamente al caso de la selección artificial, el motor de esta «selección natural» no es la elección inteligente de alguna instancia superior. Según la biología contemporánea, es necesario ver en ello la acción ciega de un conjunto de mutaciones genéticas aleatorias. Algunas mutaciones pueden aumentar la probabilidad de alcanzar el estado adulto y de tener descendientes. De tal manera, un individuo puede transmitir esta adquisición ventajosa a sus propios hijos y su linaje será más numeroso.

Desde este punto de vista, la evolución biológica se percibe a menudo como una inmensa lotería a mayor gloria del dios «azar». Un brillante bioquímico de nuestra época define la «vida» como «el resultado de una larga serie de accidentes». Para otro, la vida «no es más que una fluctuación fisicoquímica que dura desde hace tres mil millones de años».

El biólogo Jacques Monod divulgó ampliamente esta imagen en Francia. El título de su libro *El azar y la necesidad* pone en igualdad de condiciones los dos polos evocados por Demócrito, pero no los trata de igual manera. El «azar» gana ampliamente sobre la «necesidad». Nada, escribe, predestinaba a la vida a aparecer sobre la Tierra y al ser humano a emerger del mundo animal. Los dos fenómenos, según él, eran infinitamente improbables. El «azar», únicamente, fue quien decidió.

El desbarajuste de los paisajes aleatorios

La fría rigidez de las órbitas planetarias nos ha servido para ilustrar la monotonía de los paisajes regidos por la pura necesidad. Pero ¿qué tipo de espectáculo podría proporcionar una naturaleza entregada exclusivamente al azar?

Estrictamente hablando, la pregunta, desde luego, no tiene sentido. Las leyes de la física no toleran infracción. Sin embargo, se conocen situaciones en las cuales su intervención es mínima. Los elementos de ciertos paisajes están, a fines prácticos, abandonados al azar.

La distribución de los cráteres meteoríticos en la superficie de la Luna o de Mercurio nos proporcionan un buen ejemplo. Las dimensiones de los meteoritos cayendo sobre una superficie planetaria, así como su ángulos de caída, no obedecen a ninguna ley particular. La distribución de los cráteres es perfectamente aleatoria. Ofrece una imagen de desbarajuste.

La mente humana no encuentra nada a qué aferrarse ni con qué complacerse. Tal es el aspecto de un paisaje formado por el azar únicamente.

El mundo microscópico de las ciencias interestelares nos ofrece un segundo ejemplo. En los restos de estrellas que estallan se forman granos de polvo a partir de los átomos de oxígeno y de silicio expulsados de la hoguera estelar. Dispersos por el espacio, esos granos son bombardeados durante millones de años por los «rayos cósmicos» de nuestra galaxia.

La radiación cósmica está constituida por partículas —generalmente protones y electrones, pero también en menor cantidad por núcleos de átomos más pesados —acelerados a velocidades que se aproximan a la de la luz. Cuando una de esas partículas choca con un grano de polvo, penetra en él profundamente. Cava en la roca un minúsculo túnel.(46)

En el laboratorio, esos granos se pueden «revelar» como una emulsión fotográfica. Sobre algunos granos, la intensidad del bombardeo ha sido particularmente elevada. Los túneles se superponen y forman una red indescriptible. Como en el caso de la superficie lunar, esta maraña microscópica nos ilustra el efecto de los fenómenos aleatorios. (Véase fuera de texto, figura 2).

Como la rigidez de los hijos de la pura necesidad, el desorden de los hijos del puro azar nos muestra hasta qué punto esos dos polos, considerados por separado, son incapaces de explicar la riqueza y el esplendor del mundo real. Para comprender el desarrollo, en el universo, de estructuras cada vez más organizadas y con más cualidades hay que ir a buscar más lejos.

La reconciliación

En la actualidad, gracias al desarrollo de las teorías científicas y del cálculo numérico, hemos resuelto el problema implícitamente planteado por la afirmación de Demócrito. El «azar» y la «necesidad» son, los dos, indispensables para el crecimiento de la complejidad cósmica. Conocemos las formas de su coexistencia pacífica y de su interacción fructífera. Podemos delimitar sus respectivos papeles en esta vasta empresa de estructuración de la materia cósmica.

El reino de las leyes físicas no ha sido cuestionado. La legislación permanece, pero su poder ejecutivo está mucho menos extendido de lo que se creía en el siglo XVIII. Nuestra aptitud para conocer el futuro se ha visto profundamente afectada. El marqués de Laplace nunca hubiera podido prever la mirada curiosa que un herrero acaba de echarme por la ventana abierta de mi despacho.

Esta indeterminación parcial de los acontecimientos es el terreno de juego de la naturaleza. Es ahí donde está en condiciones de crear lo inédito. Es en ese habitat natural donde se encuentra la libertad.

Las teorías del caos

Veamos esto de más cerca. ¿Por qué el sueño de Laplace es utópico? ¿Qué es lo que ha cambiado desde el Siglo de las Luces?

Poca cosa, en realidad, pero son cosas que cuentan. Laplace nos dice que para conocer el futuro, bastaría conocer «todas las fuerzas que animan la naturaleza y la *situación respectiva de los seres que la componen*». Y ahí está la pega. Ese programa es imposible de llevar a cabo.

En el transcurso de las últimas décadas numerosos investigadores han estudiado el problema. El conjunto de sus trabajos lleva el nombre más o menos adecuado de «teoría del caos determinista». Para apreciarlos correctamente, es necesario en primer lugar familiarizarnos con cierto número de expresiones nuevas, como: «sensibilidad a los datos iniciales», «dependencia lineal», «dependencia no lineal», «horizonte predictivo».

La situación puede ser ilustrada con un sencillo ejemplo: el comportamiento de los relojes. No todos los relojes marcan el tiempo con igual precisión. Algunos son mucho más fiables que otros. Vamos a estudiar tres casos diferentes.

Imaginemos, en primer lugar, un reloj ideal que marcara el tiempo con una exactitud perfecta. Primero hay que ponerlo en hora. Telefoneamos al servicio para saber la hora. Nos la da con una precisión de segundos: «Tres horas, veintiséis minutos, treinta segundos».

La incertidumbre de nuestro conocimiento del tiempo en el momento en que se pone el reloj en marcha es «de más o menos un segundo». El dato inicial que se inscribirá en nuestro reloj es: «tres horas, veintiséis minutos, treinta segundos, más o menos un segundo».

En el caso de un reloj de precisión absoluta, esta incertidumbre no cambia. Veinticuatro horas después, marca la hora con la misma precisión (más o menos un segundo). Seguirá siendo así después de dos, tres, cuatro días, etc.

En el mundo real, ningún reloj sigue el tiempo con semejante fiabilidad. En su publicidad, los relojeros anuncian la fiabilidad de su producto. Tomemos el caso de un segundo reloj cuya precisión es de un segundo al día. Al final del primer día, el tiempo nos será conocido con una diferencia de dos segundos (uno de esos segundos proviene del dato inicial, el otro del margen de fiabilidad).

Si no volvemos a poner el reloj en hora, nuestra incertidumbre sobre el conocimiento del tiempo crece «linealmente» con el tiempo. La palabra «linealmente» quiere decir aquí que se duplica cada vez que el periodo considerado se hace dos veces Mayor. Después de dos, tres, cuatro días, la incertidumbre de nuestro segundo reloj será de tres, cuatro, cinco segundos, etc., en más o en menos.

Para nuestro tercer reloj vamos a suponer que, en vez de permanecer constante como en el caso del segundo (un segundo al día), el margen de Habilidad se duplica cada día (un segundo después del primer día, dos segundos después del segundo día, cuatro segundos después de tres días, ocho segundos al cabo de cuatro días, etc.). Se trata entonces de un crecimiento no lineal.

¿Cuántos días se requerirán antes de que la incertidumbre llegue a las doce horas? Respuesta: menos de dieciséis días. Dieciséis días después de la puesta en hora inicial nuestro reloj ficticio nos dará la hora con una inexactitud de doce horas. Será perfectamente inútil.

Este cálculo nos servirá para introducir una noción clave de esta explicación: el horizonte predictivo. Es la duración temporal más allá de la cual, en un contexto dado, no es posible prever nada ni afirmar nada. Diremos que el «horizonte predictivo» de este tercer reloj es de dieciséis días.

En el dibujo de la página siguiente he ilustrado los comportamientos de nuestros tres relojes. La incertidumbre está representada por las superficies rayadas. La hora real está situada dentro de esas zonas. Por necesidades de la ilustración he reemplazado «más o menos un segundo» por «más o menos una hora».

hora con una precisión superior a ésta.(47) Este límite nos marca el horizonte predictivo absoluto de nuestro tercer reloj: tres meses.

De leyes y relojes

Como los relojes, las leyes de la física tienen un «horizonte predictivo».

Estas leyes se expresan mediante *ecuaciones matemáticas*. Estas ecuaciones nos dicen cómo los objetos descritos por la física *cambian* con el tiempo. Si se conoce el estado de esos objetos (temperatura, campos eléctricos, etc.) en un momento dado, las leyes nos dicen cuál será su estado en el momento siguiente. Nos informan sobre la diferencia entre el instante actual y el instante siguiente. Por tal razón, se las denomina «*ecuaciones diferenciales*».

Las mismas palabras pueden ser utilizadas para describir el comportamiento de los relojes. Estos nos dicen, en unidades convencionales (horas, minutos, segundos), cómo «la hora que es» cambia con el tiempo. Nos indican la diferencia entre el instante actual y el instante siguiente. En ese sentido, los relojes y las ecuaciones diferenciales funcionan de la misma manera.

Las ecuaciones de la física nos señalan, a condición de conocer bien el presente, lo que será el futuro inmediato. Este conocimiento puede ser luego utilizado para evaluar lo que llegará a suceder en el instante siguiente. Esa era la receta de Laplace. Durante largo tiempo se pensó que esta receta iba a permitirnos prever todo el porvenir. Tanto los futuros eclipses de Sol como las grandes migraciones de los gansos salvajes por encima de la tundra ártica cuando los días comienzan a alargarse.

Volvemos a encontrar la situación de los relojes. Nuestro conocimiento del presente es forzosamente imperfecto. Nos resulta imposible saber con una precisión infinita dónde está la Luna en determinado instante. Nuestros telescopios nos dan su posición con cierta incertidumbre. Se dirá: la Luna está en tal dirección a más o menos una milésima de segundo de arco, por ejemplo. Volvemos a tropezar aquí con el problema de la sensibilidad a los datos iniciales.

Consideremos, por ejemplo, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, sin tener en cuenta por el momento la presencia de los otros cuerpos del sistema solar. En el siglo XVII, Newton formuló la ecuación que describe ese movimiento. Esta ecuación es lineal (veremos un poco más adelante el sentido exacto de este término). Como nuestro segundo reloj, esta ecuación depende poco de la precisión de los datos iniciales. Podría seguir indefinidamente la posición de la Tierra.

Pero no sólo existen el Sol y la Tierra en el sistema solar. Hay otros planetas que influyen sobre el movimiento terrestre en el espacio. Sería necesario, en principio, tenerlos en cuenta e inscribirlos en las ecuaciones del movimiento. De hecho, esos planetas tienen mucha menos masa que el Sol. En las escalas de tiempo que nos interesan, su influencia es débil. A cualquier fin práctico son ignorados.

La situación no sería la misma si Mercurio y Venus, por ejemplo, tuvieran mucha más masa. Se los inscribiría en las ecuaciones del movimiento, que pasaría a ser, en consecuencia, no lineal. Su sensibilidad a los datos iniciales sería del tipo de nuestro tercer reloj. El horizonte predictivo —más allá del cual toda previsión de los eclipses resultaría imposible— sería muy breve. Hablamos entonces de órbitas caóticas.(48)

Existen casos similares en el sistema solar. Las exploraciones de las sondas Voyager han mostrado que algunos satélites de Saturno, que gravitan en la proximidad de los anillos, tienen órbitas caprichosas, perfectamente imprevisibles.

De este análisis, retendremos que sólo las ecuaciones lineales (poco sensibles a los datos iniciales) permiten prever el porvenir a largo plazo. De una manera general, la sensibilidad a los datos iniciales aumenta rápidamente con el número de cuerpos en interacción.⁴⁹ Ahora bien, en la casi totalidad de los problemas concretos, ese número es suficientemente elevado como para asegurar a las ecuaciones una gran sensibilidad a los datos iniciales.

La suerte (o la mala suerte...) de los mecánicos del cielo es haber tropezado con las muy raras excepciones a esta regla. De ahí proviene su entusiasmo prematuro por las capacidades predictivas de las ciencias. En el mundo concreto, el número de los «estados futuros» que se prestan a una evaluación a largo plazo es ínfimo. La previsión de los eclipses es, a pesar de todo, de un interés relativamente limitado. Frente a esta toma de conciencia, los científicos son en la actualidad más realistas y más modestos...

Bucles de retroacción

«Dependencias lineales», «no lineales», «sensibilidad a las condiciones iniciales», «horizontes predictivos»; para comprender claramente nuestro problema es importante familiarizarse antes con esas nociones. Algunos ejemplos de la vida concreta nos mostrarán cómo se articulan entre sí.

El calor desprendido por un radiador aumenta la temperatura de una habitación. Tal cantidad de calor (la causa) engendra tal aumento de temperatura (el efecto). En determinadas condiciones, si se duplica el calor desprendido, se duplicará la temperatura (en grados absolutos). Se dice entonces que la temperatura depende linealmente del calor desprendido.

Esta descripción no se aplica, por ejemplo, a un incendio forestal. El calor de una simple cerilla puede abrasar una región entera y provocar la aparición de temperaturas muy elevadas. La razón es bien conocida: el débil aumento de la temperatura provocado por la llama de la cerilla basta para encender algunas ramas secas. Esos nuevos focos desprenden todavía más calor aumentando aún más la temperatura, etc.

Queda comprendido que en ese caso la intensidad del efecto influye, a su vez, sobre la intensidad de la causa. Esto lleva el nombre de «bucles de retroacción»; la causa produce el efecto y el efecto modifica la causa, modificando de esta manera el efecto, etc. En un incendio en el bosque, la temperatura depende no linealmente del calor desprendido por el fósforo.

Cuando el efecto no influye a su vez sobre la causa (dependencia lineal), las ecuaciones son poco sensibles a las condiciones iniciales. Será posible calcular la evolución de la temperatura a lo largo de un periodo muy largo.

Por el contrario, si el aumento de la temperatura tiene por efecto desprender aún más calor (dependencia no lineal; bucle de retroacción), entonces, amplificando la causa, el efecto provoca una fuerte sensibilidad a las condiciones iniciales. El horizonte predictivo de la evolución de la temperatura será muy corto. Un incendio forestal tiene un comportamiento difícil de prever.

Ahora bien, encontramos que los problemas de la física abundan en ecuaciones no lineales. El mundo concreto está poblado de «bucles de retroacción...»

El efecto «mariposa»

Para calcular las órbitas planetarias basta con considerar la influencia de un pequeño número de cuerpos celestes. Para estudiar la meteorología es necesario contar con la presencia de miles de millones de moléculas de aire. Nadie, desde luego, desea seguir la trayectoria de cada una de las moléculas de la atmósfera. Lo que interesa son los «valores medios», tales como la temperatura y la distribución de los vientos y de las lluvias en una región determinada. E incluso esto —lo sabemos por experiencia— los servicios meteorológicos sólo lo prevén con una seguridad muy relativa...

¿Bastaría con aumentar el poder de nuestras computadoras para mejorar la calidad de las predicciones meteorológicas? Así se creyó durante mucho tiempo. Equivalía a ignorar la extrema sensibilidad a los datos iniciales de las ecuaciones de la aerodinámica.

Intentemos, por ejemplo, calcular el tiempo que hará dentro de un año en la misma fecha. En primer lugar, tenemos que inscribir en el programa todo lo que sabemos del estado de la atmósfera en el momento presente: distribución de las temperaturas, de las nubes, de los vientos, etc. Ponemos luego la máquina en marcha y se calcula. Supongamos que el resultado sea: buen tiempo, despejado.

Ahora bien, ocurre que en alguna parte sobre el planeta una mariposa se ha echado a volar en el momento del comienzo del cálculo. No se ha tenido en cuenta el ligero soplo provocado por el movimiento de sus alas. Tenemos que comenzar de nuevo incluyendo ese otro dato inicial. Sorpresa... Los efectos atmosféricos del mencionado vuelo influyen profundamente en el curso del cálculo. Basta para modificar el pronóstico para el año siguiente: ¡lloverá!

¿Tenemos que renunciar entonces a las previsiones meteorológicas? No, si nos limitamos al corto plazo. Para mañana, está bastante bien. Para dentro de tres días, ya es mucho más incierto. Más allá de dos semanas, hay tantas posibilidades de acertar como tirando a cara o cruz...

De este modo es posible, en cada ámbito de la ciencia, introducir un «horizonte predictivo» más allá del cual el porvenir se desconoce. Las previsiones de los eclipses pueden extenderse a miles e incluso cientos de miles de años. Pero hay siempre una fecha después de la cual serán inservibles. El horizonte predictivo de la meteorología es de una semana, más o menos. Es inútil comprar una computadora más sofisticada. Las mariposas la harán inservible.(50)

Una sutil dosificación

Los recientes desarrollos de la física y, en particular, el nacimiento de «la teoría del caos» nos permiten comprender cómo las leyes coexisten con la dimensión lúdica de la naturaleza. Y cómo la presencia simultánea de los dos polos «azar» y «necesidad» es indispensable para la inventiva y la creatividad del mundo.

El papel de las leyes no es seleccionar un futuro inexorable. Su poder ejecutor resulta, a largo plazo, netamente insuficiente. A partir del estado actual, se contentan con elaborar un conjunto de posibles, todos compatibles con la legislación en curso. Más allá del horizonte predictivo, se extienden los espacios de libertad.

Cuando uno de esos posibles se convierte en realidad, desemboca en un nuevo conjunto. Esos conjuntos forman arborescencias que se incorporan unas sobre otras y multiplican hasta el infinito el número de acontecimientos posibles, haciéndolos prácticamente imprevisibles.

En tales secuencias de acontecimientos —donde intervienen a la vez las leyes y el azar— se inscriben la virginidad y la vivacidad del hoy. Por esta interacción sutil, los dos polos participan en la elaboración del mundo.

De tal manera, percibido en su verdadera complejidad, el universo no puede ser comparado ni con el ordenado espacio de las órbitas planetarias, tan caro a los «sabios» del Siglo de las Luces,(51) ni con la confusión estéril de las superficies planetarias acibilladas de cicatrices meteoríticas. Más bien habrá que verlo como la paleta de un pintor imaginativo que se afana continuamente en producir efectos inéditos.

VI La termodinámica y el vuelo de las mariposas

En el capítulo quinto hemos visto cómo el desarrollo de las teorías del caos nos permite dilucidar el sentido de las palabras de Demócrito. Dos entidades en apariencia excluyentes entre sí, el azar y la necesidad, llegan no sólo a coexistir, sino también a entrar en interacción para engendrar la diversidad del universo y la vivacidad del hoy.

En este sexto capítulo veremos cómo el descubrimiento de la expansión del universo nos permitirá, a su vez, echar un vistazo sobre el revolotear de las mariposas.

Los físicos del siglo pasado tenían una visión sombría sobre el porvenir del universo. En esa época, una noción nueva, «la entropía», hace su entrada en el lenguaje científico.

De esta noción, rica y difícil, no retendremos aquí más que un solo aspecto: en el seno de una sustancia dada, la entropía es una medida del desorden o, más exactamente, de la ausencia de organización. Aplicada al universo, la termodinámica afirma que *la entropía del conjunto de la materia cósmica crece sin cesar*.

De esta noción y de esta ley han nacido extrapolaciones apresuradas, que durante largo tiempo sirvieron para justificar una visión pesimista del mundo. A más o menos largo plazo, los «hoy» estarían irremediabilmente condenados. El deterioro inexorable del cosmos implicaría que, en poco tiempo, no sucedería nada más. Según la óptica de Wittgenstein, el universo ya «no existiría».

El descubrimiento de la expansión universal ha cuestionado esas sombrías predicciones. Teniendo en cuenta, en particular, el papel de la fuerza de la gravedad sobre la materia universal en enfriamiento, se capta con mayor justeza el contexto cósmico que asegura al universo una vitalidad prolongada. Comenzaré esta parte del libro con una impugnación a tres afirmaciones corrientes que pretenden apoyarse en las aportaciones de la termodinámica.

La vida no es una excepción a la «regla de la entropía»

Resulta fácil comprobar que la materia viva está más organizada (menos entrópica) que la materia inerte, de la cual nació en las primeras eras de nuestro planeta. Se ha deducido rápidamente que la vida es incompatible con las leyes de la termodinámica. Dentro de esta óptica, los seres vivos serían excepciones a la regla de la entropía creciente.

Esta interpretación confirmaría la idea de que la vida es un fenómeno extremadamente improbable. Prácticamente un «milagro». De esta improbabilidad se ha hecho un argumento contra la hipótesis de civilizaciones extraterrestres. «El hombre sabe, por fin, que está solo en la inmensidad indiferente del universo de donde ha emergido por azar», escribe Jacques Monod.

¿Qué ocurre, en realidad? La vida es perfectamente compatible con la termodinámica. La segunda ley de la termodinámica admite la creación de orden y de organización en una región dada del cosmos, siempre que esta región no esté cerrada sobre sí misma. Tiene que estar en estado de intercambio con el mundo exterior. También se requiere que esta creación de orden esté sobrecompensada *por un acrecentamiento más grande aún del desorden en el conjunto del universo*.

Los fenómenos de creación de orden no están confinados al ámbito de los seres vivos. Existen en todos los niveles de estructuración de la materia. Cuando dos átomos de hidrógeno se unen con un átomo de oxígeno para formar una molécula de agua hay producción de organización (la molécula es más «organizada» que los átomos libres). Esta reacción química va acompañada de la emisión de fotones lumínicos. Estos fotones se propagan hacia el espacio intergaláctico. Representan para el universo un suplemento de «desorden».(52) Gracias a esta emisión, la segunda ley entra en acción. En un universo estático (sin expansión), tales fotones recalentarían progresivamente la atmósfera amenazando de esa manera el porvenir de la vida. Esta amenaza queda neutralizada por la expansión. Volveremos sobre este punto un poco más adelante.

Otros fenómenos totalmente análogos, aunque mucho más complejos, se producen cuando la vida aparece y cuando, al ponerse el sol, las golondrinas revolotean sobre el estanque de Malicorne. Todos los organismos vivos desprenden calor. Esta energía térmica, en forma de rayos infrarrojos, gana el inmenso espacio intersidereal, pagando así su tributo al principio de entropía. La vida no es una excepción a las leyes de la termodinámica. Su aparición no es ni más ni menos «milagrosa» que el nacimiento del agua.

La vida no está condenada a desaparecer

Nuestro universo contemporáneo dista mucho de ser isoterma (en todas partes la misma temperatura). Entre el corazón de las estrellas —a millones, incluso miles de millones de grados—, y el espacio interestelar —a menos de tres grados absolutos— se encuentra toda la gama de temperaturas.

Cuando nació la termodinámica, se dedujo demasiado deprisa que esas desviaciones térmicas estaban inexorablemente destinadas a reducirse y a desaparecer. En un futuro más o menos lejano, la materia cósmica alcanzaría en todas partes la misma temperatura, haciendo de esta manera inutilizables todas las energías del cosmos. El universo estaría irremediabilmente condenado a la «muerte térmica».

La imagen del universo que nos transmite la astronomía contemporánea presenta una situación completamente opuesta. La materia ha pasado de un estado de isoterma casi total, hace quince mil

millones de años, al estado contemporáneo caracterizado por importantes variaciones de temperatura. ¿Qué es lo que se les escapó a los precursores de la termodinámica?

Se ha comprendido bastante tardíamente el papel fundamental de la fuerza de gravedad en la termodinámica universal. Las estrellas son el lugar donde se desempeña ese papel. (53) En el magma elemental las estrellas están ausentes. Aparecen cuando, ejercitándose en el seno de las nebulosas del espacio, la gravedad las lleva a contraerse y a recalentarse. Gracias a sus innumerables derrumbamientos, el universo abandona progresivamente su isotermita inicial. En la actualidad, miles de millones de grados separan las temperaturas de los crisoles estelares de las de los astros fríos que vagan en el espacio.

Tampoco aquí hay nada excepcional, nada milagroso. Es la aplicación misma de la ley de la entropía, en el contexto de la expansión universal, que gobierna la aparición de esas diferencias de temperaturas tan importantes para la aparición de la vida y la vitalidad del hoy.

No se puede afirmar que el universo tiende inexorablemente hacia un estado de desorden máximo

Tercera afirmación discutible: aunque el universo no tiende hacia la muerte térmica, estaría, de todas maneras, condenado por la ley del aumento del desorden global.

Esta idea proviene de la superposición de dos proposiciones: (a) todos los «acontecimientos» del universo, como el pesado vuelo de las garzas por encima de los pantanos, sólo pueden «ocurrir» si contribuyen a aumentar la entropía del universo; (b) llegará el día en que esta entropía habrá alcanzado su valor máximo y ya no podrá aumentar más. Conclusión: en ese momento ya no podrá haber más «acontecimientos».

La primera proposición es correcta. La segunda sería verdadera si (como se creía en otros tiempos) el universo fuese estático. Deja de ser verdadera en un universo en expansión.

Comparemos el universo con un recipiente en el que se vierte agua.

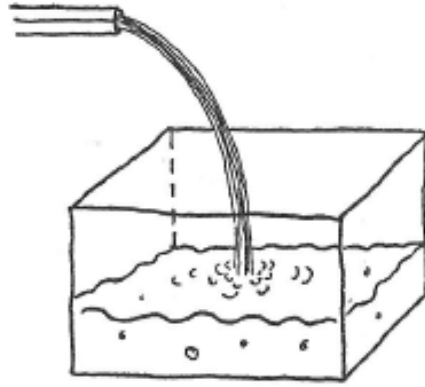
Un recipiente «común» acabará necesariamente por llenarse. La imagen de un universo que podría un día alcanzar su cantidad de entropía máxima sería análoga a la de un recipiente común.

Tal sería la situación si el universo fuera estático (cf. la página siguiente).

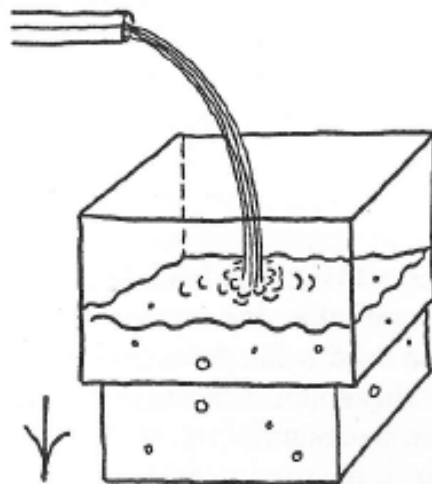
Pero también podemos imaginar un recipiente distinto que, provisto de paredes deslizables, podría aumentar continuamente su propio volumen. Semejante recipiente, lejos de desbordarse, estaría siempre en condiciones de recibir el agua que se vierte en él.

Un estudio avanzado de las propiedades de la fuerza de gravedad muestra que el universo en expansión se comporta, no como un recipiente común, sino como nuestro segundo recipiente. *Está en condiciones de aumentar indefinidamente su entropía*. Una demostración detallada de ese punto se presenta en los apéndices (Apéndice 2).

Esta aptitud para acrecentar sin límites su entropía garantiza la vitalidad del mundo. Gracias a ella, el universo puede a cada instante preservar la virginidad del «hoy» y la vivacidad del vuelo de las mariposas sobre los campos de colza.



Como un recipiente común que recoge agua acaba por llenarse, un universo estático acabaría por alcanzar su estado de entropía máxima.



Como un recipiente con un fondo corredizo puede no llenarse, un universo en expansión no alcanza nunca su entropía máxima.

Las mariposas y la expansión del universo

Vamos a estudiar ahora de una manera mucho más detallada las estrechas relaciones que se entretienen entre la expansión del universo y el crecimiento de la complejidad. Este tema ha sido tratado con bastante amplitud en *El sentido del universo*. Para proseguir nuestra explicación sobre la virginidad del hoy parece necesario volver a él brevemente.

Los antiguos griegos fueron los primeros, según nuestros conocimientos, en interrogar a la naturaleza por medio de la observación y la teoría científica. Imaginemos que Aristóteles, uno de los precursores de esta

empresa, regresa entre nosotros y nos pregunta: «¿Qué saben sobre la naturaleza que no supiéramos ya en nuestra época? ¿Qué han aprendido de nuevo desde nuestro paso por la Tierra?».

Sería fácil, pero inaceptable, presentarle los libros, almacenados por millones, en los estantes de nuestras bibliotecas científicas. Intentemos, en cambio, resumir en pocas palabras el conjunto de nuestros conocimientos actuales sobre la forma de organización de la materia.

Dos frases podrían responder a los interrogantes de Aristóteles: (1) «la naturaleza está estructurada como un lenguaje»; (2) «la pirámide de la complejidad se edifica en el transcurso de las eras».

La naturaleza está estructurada como un lenguaje

El lenguaje (escrito) utiliza las letras, las palabras, las frases, los párrafos, los capítulos, los libros, las colecciones. La receta fundamental es la combinatoria. Las palabras son combinaciones de letras, y la combinación de las palabras crea las frases.(54)

Aquí interviene una noción fundamental: «la propiedad emergente». La combinación de las letras, en un orden específico, hace aparecer algo «nuevo», ausente de cada uno de los elementos tomados por separado. La palabra «negro» evoca una imagen en la cual las letras de que se compone son por completo ajenas. Esta imagen «emerge», no de las letras mismas, sino de su asociación en ese orden dado. El sentido de cada una de las palabras del diccionario es una «propiedad emergente» de esta combinación, según reglas cuyo origen es a la vez histórico y convencional.

Esas propiedades emergentes intervendrían en todos los niveles. El sentido de la frase: «la noche es negra», nace de la asociación de las palabras según las reglas instauradas por la sintaxis y la gramática. Y la asociación de las frases es en sí misma portadora de un sentido más amplio, de un mensaje de mayor amplitud aún.

Así pues, podemos evocar, para describir el lenguaje escrito, la imagen de una pirámide de «alfabetos» superpuestos (letras, palabras, frases, párrafos, etc.). Cada elemento en un estrato dado está compuesto por elementos del estrato inferior y entra en la composición de los elementos del estrato superior. De esta manera, las palabras son las «letras» de las frases, las frases son las «letras» de los párrafos, etc. El principio fundamental de esta construcción es, repitémoslo, la combinatoria investida de propiedades emergentes.

Nuestro primer enunciado: «la naturaleza está estructurada como un lenguaje», nos dice que la naturaleza funciona de la misma manera. (Para no complicar la exposición sólo hablo aquí del lenguaje escrito.) Comprobamos que esta receta (la escritura), inventada entre los seres humanos hace cinco mil o seis mil años, es utilizada por la naturaleza desde hace quince mil millones de años.

Corresponde a los químicos el honor de haber sido los primeros en descubrir esta forma de funcionamiento de la naturaleza, al nivel de los átomos y de las moléculas. Gracias a Lavoisier, Dalton, Gay-Lussac y muchos otros, se demuestra, en el curso de los siglos XVIII y XIX, que las moléculas son como palabras cuyas letras serían los átomos.

El principal trabajo de los químicos consistió en redactar la lista de los elementos químicos que componen el conjunto de las sustancias naturales. Es decir, en identificar el alfabeto de los átomos. Esta lista abarca un poco más de cien átomos. Tradicionalmente se presentan estos elementos en una tabla denominada de «Mendeleiev». La podemos ver en las paredes de los laboratorios y las aulas de nuestros centros de enseñanza.

Para mantener reunidas las letras de una palabra, la naturaleza utiliza las diversas fuerzas con que cuenta. Los átomos están «soldados» en moléculas por *la fuerza electromagnética*. Como su nombre indica, esta fuerza es responsable de todos los fenómenos eléctricos y magnéticos. Gobierna todas las reacciones químicas y todas las manifestaciones de la luz.

A comienzos de este siglo, los físicos siguen pasos análogos a los de los químicos. Si los átomos son letras en relación con las moléculas, son igualmente palabras en relación con un nuevo alfabeto, el de los nucleones. Hay varias especies de nucleones. Dos de ellos, el protón y el neutrón, entran en la composición de los núcleos estables de la naturaleza.

El carbono, por ejemplo (más exactamente el núcleo del átomo de carbono, rodeado de un cortejo de electrones), está compuesto por 6 protones y 6 neutrones. El hierro está constituido por 26 protones y 30 neutrones; el uranio, por 92 protones y un poco más de 140 neutrones, según la variedad considerada. Conocemos hoy más de mil núcleos diferentes obtenidos por la combinación de protones y de neutrones, en proporciones determinadas. Aquí, el agente de unión de las «letras» es la fuerza nuclear, que asegura la cohesión de protones y neutrones en el interior del núcleo atómico.

Los nucleones son en sí mismos palabras con relación a unos constituyentes llamados *cuarks*.

Estas partículas existen en seis variedades diferentes, pero sólo dos son estables: el cuark u y el cuark d. El protón, para todos los efectos, está compuesto por dos cuarks u y un cuark d, mientras que el neutrón incorpora un cuark u y dos cuarks d. Es de nuevo la fuerza nuclear la que está en marcha. Es ésta la que suelda los cuarks en los nucleones, así como suelda los nucleones en el núcleo.

Las 28 letras del alfabeto español son, por definición, elementales. No son «palabras» con respecto a otro alfabeto. ¿Qué decir de los «cuarks», de los electrones? Se cree, sin tener la certeza, que estas partículas son elementales. Unos aceleradores más poderosos que los que tenemos en la actualidad podrían, en principio, aclarar algo este tema.

Al explicar el papel fundamental de las células en los organismos vivos, los biólogos contribuyeron a la exploración de la pirámide de la complejidad. Un alfabeto de unas doscientas variedades de células basta para deletrear la inmensa variedad de vegetales y animales. La bioquímica iba a revelar, a su vez, que esas células vivientes incorporan un alfabeto de moléculas gigantes (proteínas, ADN, etc). La fuerza electromagnética es el agente de cohesión y de funcionamiento de las células y de los organismos.

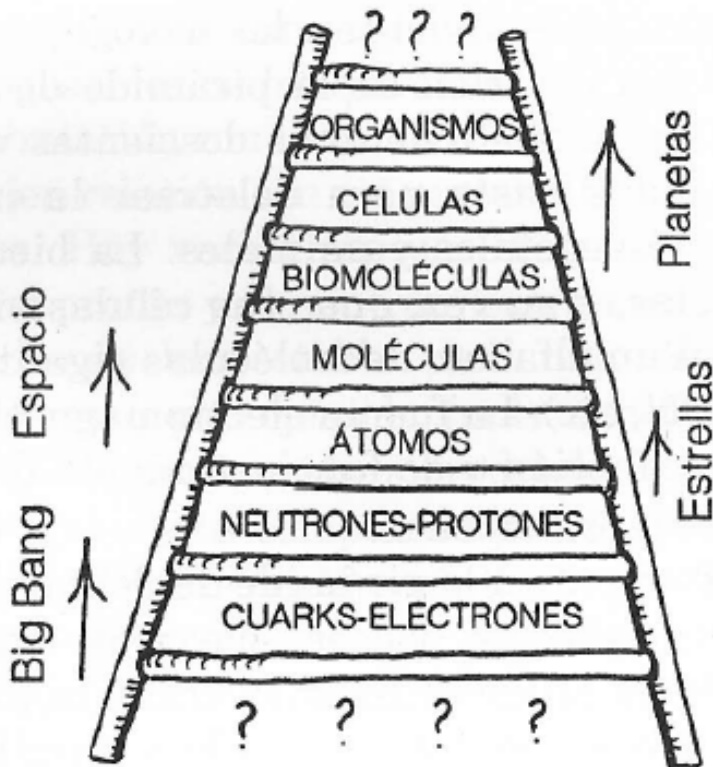
Análogamente a la pirámide del lenguaje escrito (letras, palabras, frases, párrafos, capítulos, etc.) podemos en la actualidad erigir la pirámide de los alfabetos superpuestos de la naturaleza.

En la base se encuentra el ámbito de la fuerza nuclear, responsable de la combinación de los «cuarks» en nucleones y de los nucleones en núcleos. En los escalones superiores entramos en el territorio de la fuerza electromagnética, encargada de la formación y del funcionamiento de las moléculas, células y organismos vivos.

¿Por qué una pirámide? La organización material no afecta más que a una fracción de la *materia cósmica*. Esta fracción merma a medida que se suben los escalones de la pirámide. La masa total del conjunto de los seres vivos, por ejemplo, no es más que una ínfima parte de la masa de la Tierra. La casi totalidad del universo se sitúa en los escalones inferiores de la pirámide. Puede verse ahí una manifestación de la «regla de entropía» descrita en la sección precedente. La organización local de la materia está necesariamente

compensada por una desorganización global más importante. El universo no puede transformarse por entero en cerebros humanos...

La naturaleza estructurada como un lenguaje.



La pirámide se construye en el tiempo.

Aquí tenemos aclarado el sentido de nuestra primera frase clave: «La naturaleza está estructurada como un lenguaje».

La construcción de la pirámide

La segunda frase clave de nuestro mensaje a los pioneros de la ciencia proviene de los estudios astronómicos y cosmológicos. Se enuncia de esta manera: «la pirámide de la complejidad se edifica en el curso del tiempo».

El descubrimiento del movimiento orientado de las galaxias nos puso sobre la pista. De ahí surge la imagen de un universo no estático, como se creyó que era durante mucho tiempo, sino en evolución. Las galaxias se alejan unas de otras. En el pasado estaban, por lo tanto, más próximas.

A partir de la observación del movimiento de las galaxias, y con la ayuda de nuestros conocimientos de física, podemos remontarnos en el tiempo. Se pueden reconstituir las condiciones anteriores del cosmos. Se

nos aparece entonces progresivamente más denso, más cálido y más luminoso. La detección de la «irradiación fósil», emitida hace quince mil millones de años, nos lo ha confirmado.

La imagen transmitida por esa irradiación nos describe el estado del universo en aquel pasado lejano. La materia, en conjunto, estaba concentrada en el escalón más bajo de nuestra pirámide: el de las partículas elementales. Los escalones superiores se encontraban vacíos.

En la actualidad, por el contrario, todos los niveles de la escala se hallan habitados. Las estructuras correspondientes, nucleones, átomos, moléculas, células, organismos, aparecieron progresivamente. Se puede contar la historia del universo como el ascenso de la materia hacia los escalones superiores.

Cada una de las ciencias cuenta un capítulo particular de esa historia. La física nos describe la formación de los nucleones en la nebulosa inicial. Nos habla del nacimiento de las estrellas, bajo la égida de la fuerza de gravitación, y de la fusión de los núcleos atómicos en el centro de esos astros incandescentes. La química procura informar acerca de la formación de las moléculas en el espacio interestelar, en la atmósfera y en el océano primitivo de la Tierra. La biología inscribe su contribución en los niveles más elevados de la pirámide, los que pueblan las células y los organismos multicelulares. De este modo, en el transcurso de las eras, en el cielo y sobre la Tierra, las fuerzas naturales han edificado la pirámide de la organización cósmica.

Los equilibrios son estériles

Para percibir de manera correcta el modo de organización de la materia, nos falta aún un elemento esencial. Las fuerzas naturales, lo hemos visto, tienen como papel «soldar» las estructuras del cosmos y engendrar la variedad de las formas. Sin embargo, el resultado de su actividad habría podido ser muy diferente: un mundo estéril, apagado y sin ninguna variedad. ¿En qué condiciones su contribución respectiva puede inducir a la diversidad más que a la *monotonía*?

El «sueño» de la fuerza nuclear sería transformar toda materia en hierro. Cualquier sustancia —hidrógeno, uranio o mermelada de fresa— sobre la cual esta fuerza pudiese desarrollar hasta su límite su formidable poder de cohesión, se convertiría infaliblemente en hierro.

Del mismo modo, si se diera «carta blanca» a la fuerza electromagnética, las proteínas, el ADN y la vida estarían ausentes de nuestro mundo. Se encontrarían únicamente moléculas simples (agua, dióxido de carbono, metano, amoníaco) y los átomos nobles (helio, neón, argón, etc.).

Por la acción ilimitada de la fuerza de gravedad, estrellas y galaxias se compactarían en «agujeros negros»; astros muertos, acurrucados sobre sí mismos.

El universo sería muy diferente si las fuerzas naturales hubieran podido llevar hasta sus límites sus aptitudes para unir la materia. No habría un hoy, ni acontecimientos, ni libélulas azules sobre los campos verdes.

La imagen más antigua del universo es una imagen de monotonía. Una masa homogénea de partículas elementales. Después, la fuerza nuclear entra en acción y engendra una variedad de núcleos atómicos. Más tarde aún, la fuerza electromagnética se pone en marcha e «injerta» sobre esos átomos la variedad infinitamente más rica de las moléculas naturales. En la actualidad, al cabo de quince mil millones de años, es fácil comprobar que esas fuerzas no han tenido «carta blanca». No han agotado sus aptitudes. Las amenazas que hacían pesar sobre la riqueza del universo no se han realizado. ¿Por qué?

¡Porque el universo está en expansión! Un mundo estático y sin cambios sería forzosamente monótono. Los «sueños» de las fuerzas habrían tenido tiempo de realizarse, cien veces, mil veces, un millón de veces.

Formas de cristalización

Algunas simples experiencias nos permitirán comprender este punto fundamental.

En un recipiente se pone a enfriar agua caliente sobresaturada de sal. Si el enfriamiento es rápido, se encontrará en el fondo del recipiente una maraña de finas y delicadas agujas. Un haz de luz polarizado, proyectado lateralmente, hará surgir de allí un arco iris de variados matices.(56)

Repitamos la experiencia con un índice rápido de enfriamiento. Las agujas aparecerán, pero con arabescos diferentes. La variedad de las disposiciones posibles es inagotable. Los mismos dibujos no se reiteran nunca.

Una nueva serie de experiencias. Colocamos, esta vez, el agua salada al baño María enfilándola lo más lentamente posible.

El resultado: un bloque de sal que se adhiere estrechamente a la forma del recipiente. Ninguna luz polarizada puede irizarlo. Recomendemos cien veces, mil veces: el mismo bloque, perfectamente previsible, igualmente monótono, volverá a formarse bajo nuestros ojos. ¡Se terminó la renovación continua de las formas observada en la primera serie de experimentos!

¿Por qué la velocidad de enfriamiento influye hasta tal punto en el resultado? Si es lenta (segunda serie de experimentos), los átomos tienen todo el tiempo que necesitan para ocupar los lugares disponibles sobre los cristales en formación. Las irregularidades se borran y las cavidades se llenan. Las superficies permanecen pulidas y engendran obligatoriamente el previsible bloque de sal. Se dice entonces que las reacciones están en equilibrio: todo lo que puede ocurrir tiene tiempo de ocurrir.

A la inversa, un enfriamiento rápido es un alud. Los átomos se fijan donde pueden. En su precipitación dan nacimiento a protuberancias nunca niveladas, a cavidades nunca llenas.

Comparemos la formación de los cristales con la aparición de los primeros núcleos atómicos en el universo en enfriamiento. En las muy grandes temperaturas iniciales no hay más que partículas elementales. Si el universo se hubiese enfriado lentamente, la materia cósmica habría permanecido de manera indefinida en estado de equilibrio. Las fuerzas naturales habrían ido hasta el límite de sus posibilidades. Habrían tenido tiempo de unirlo todo. El universo habría permanecido indefinidamente en la monotonía.

La temperatura de un cilindro de automóvil disminuye cuando el pistón se eleva. Asimismo, el universo se enfría a medida que se expande. La observación y la teoría muestran que esta expansión es demasiado rápida para preservar los estados de equilibrio. Las fuerzas no tienen tiempo de ir hasta el límite de sus capacidades. El hierro existe, pero es muy raro: en la actualidad, no hay más de un átomo de hierro por cada cien mil átomos de hidrógeno. Con la actividad estelar ese número aumenta más, pero cada vez con mayor lentitud. Según todos los indicios, no tendremos nunca un cosmos de hierro puro. (57)

El universo se ha salvado del equilibrio estéril por la velocidad de su enfriamiento. Los desequilibrios así engendrados dejan al cosmos la posibilidad de enriquecerse en esplendor y en diversidad. Son guardianes de lo imprevisible, de lo inédito y del hoy. Permiten a las aves migratorias partir en densas bandadas cuando nos llegan los primeros signos precursores del otoño.

VII Las mariposas y la flecha del tiempo

Los dos últimos capítulos nos han permitido describir la nueva mirada que dirige la ciencia sobre el mundo real. Hemos visto cómo el desarrollo de las «teorías del caos determinista» reconcilian dos nociones a primera vista incompatibles: el «azar» y la «necesidad». Comprendemos mejor cómo esos dos elementos se asocian y se abonan mutuamente para engendrar la creatividad de la naturaleza.

El descubrimiento de la expansión del universo ha cambiado igualmente nuestra visión del futuro y de la suerte de la complejidad cósmica. La termodinámica, revisada y corregida teniendo en cuenta la expansión, nos presenta una idea muy diferente del papel del tiempo en la historia universal. El «tiempo» está claramente en el centro de nuestras preocupaciones cuando nos planteamos la virginidad del hoy y del porvenir. Este séptimo capítulo le estará dedicado por entero.

«El tiempo», decía san Agustín, «tengo la impresión de saber lo que es cuando no me lo preguntan. Cuando me lo preguntan, ya no sé nada.»

Habitualmente se distinguen varios «tiempos». Existe, en primer lugar, el «tiempo intuitivo», aquel que sentimos en nuestro cuerpo, y que, como san Agustín, nos cuesta tanto definir. Está también el «tiempo del físico», aquel que introduce en sus ecuaciones para reproducir el comportamiento de la materia sometida a las leyes de la naturaleza. Está, finalmente, el «tiempo cosmológico», el del Big Bang y de la evolución del cosmos. Veremos cuán difícil es hacer coincidir estas nociones.

Una diferencia fundamental radica en la «reversibilidad del tiempo». Esta sutil noción será explicada un poco más adelante por medio de ejemplos apropiados.

En el Político, Platón cuenta que en la época de Cronos, el padre de Júpiter, «los tiempos del mundo eran reversibles, y funcionaban tanto en un sentido como en el otro. Lo que en un momento era origen podía convertirse en fin en otro, y a la inversa».

Como el de Cronos, el tiempo del físico es «reversible». Las ecuaciones de la física son incapaces de distinguir entre el presente y el futuro.

Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre ese tiempo de la física y el que nosotros intuimos. Para nosotros, el espacio y el tiempo no son en absoluto equivalentes. En el espacio somos libres. Podemos ir hacia delante, hacia atrás, a izquierda o a derecha, hacia arriba o abajo. Esta libertad no existe en relación con el tiempo. No podemos elegir «ir a ayer o a mañana». El tiempo nos transporta irresistiblemente como un tren en marcha. Es imposible apearnos. Vamos inexorablemente del pasado (ahí donde están nuestros recuerdos, donde ya no podemos actuar) hacia el futuro (abierto a todas las posibilidades).

Los conocimientos contemporáneos sobre la historia del cosmos y sobre su evolución no nos dan la imagen de un «tiempo cosmológico» reversible. Como nuestros cuerpos, el universo parece evolucionar en una dirección invariable. ¿Cómo reconciliar el tiempo reversible de la física con los tiempos irreversibles de la cosmología y de la intuición?

Esta discusión está en el centro de un debate muy vivo entre los físicos y los astrofísicos. Gravita alrededor de una sutil noción: la flecha del tiempo.

Voy a intentar presentar la situación mediante un sketch imaginario. Un primer análisis nos permitirá comprender por qué esta flecha del tiempo, tan profundamente anclada en nuestra intuición, ha parecido ilusoria a los ojos del físico. Se requerirá una segunda mirada para detectar los puntos débiles de la argumentación sobre la cual esta afirmación pretendía fundarse. Comprenderemos entonces cómo la presencia de horizontes predictivos, en un universo en expansión, permite reconciliar los tres «tiempos».

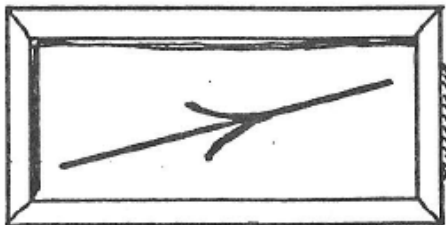
Reconocer el sentido de la flecha

Un extraterrestre (¡uno de verdad!) nos llega de un mundo donde no hay tiempo y querría comprender lo que esa palabra significa. Para darle la experiencia concreta, vamos a enseñarle a identificar correctamente la flecha del tiempo.

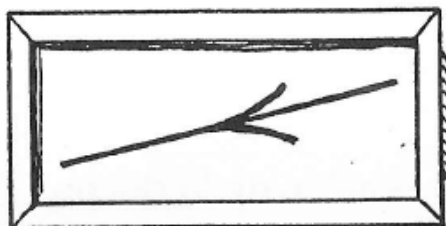
El juego consiste en presentarle algunas secuencias filmadas. Nos reservamos la posibilidad de pasarlas comenzando por el principio o por el final. Nos proponemos darle los medios para reconocer si, en la secuencia vista, el tiempo corría en el sentido normal o a la inversa.

Primera secuencia: una mesa de billar vista desde arriba. Una bola entra por la izquierda, atraviesa el paño verde y sale por la derecha.

Pasamos luego la misma secuencia en el sentido contrario. La bola entra por la derecha y sale por la izquierda. ¿Cuál es la «verdadera» y cuál va al revés del tiempo?



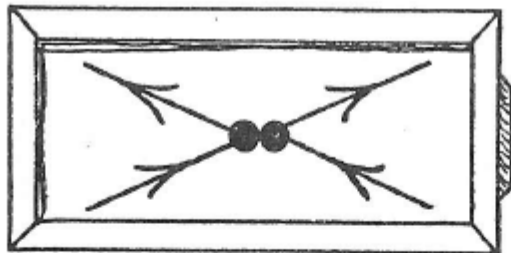
Una bola cruza la mesa de billar de izquierda a derecha.



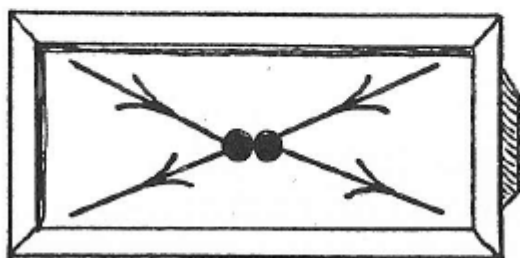
Secuencia invertida: la bola se dirige de derecha a izquierda.

De esta secuencia, nuestro visitante no puede aprender nada. Nada aquí puede permitirle identificar la secuencia verdadera y la secuencia invertida. Se le dirá que la flecha del tiempo no está inscrita ahí. *Hay reversibilidad* de ese movimiento con relación al tiempo: para la bola, el pasado y el futuro son intercambiables. Como en el mundo mítico de Platón, el origen puede ser el fin y viceversa. Si se conoce el pasado, se conoce el futuro.

Pasamos ahora a una nueva secuencia. El decorado es el mismo. Dos bolas se dirigen una hacia la otra, chocan y salen en direcciones diferentes.



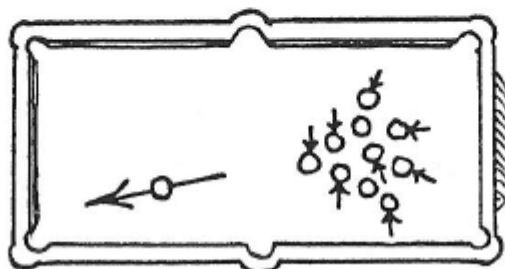
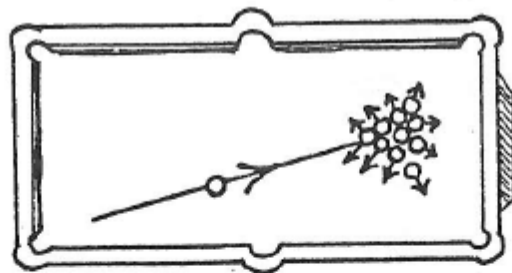
Segunda secuencia: dos bolas chocan entre sí.



Secuencia invertida.

En la secuencia en sentido contrario: el mismo escenario, excepto que las direcciones son inversas. También aquí los movimientos resultan reversibles. No llevan la flecha del tiempo.

Una tercera secuencia muestra un billar americano sobre el que hay dispuestas diez bolas multicolores en triángulo.



Llega una bola blanca, golpea el triángulo y dispersa las bolas en diversas direcciones. La secuencia en sentido contrario muestra diez bolas multicolores que convergen hacia un rincón de la mesa. Allí se inmovilizan en un triángulo. Una bola blanca se escapa para rodar hacia el rincón opuesto.

Ahora es fácil dar en el clavo. La primera secuencia parece más natural, más verosímil. La segunda, desde luego, no es imposible. Tal coordinación de movimientos podría producirse. Pero parece muy *improbable*.

Digámoslo aún de otra forma. Las bolas multicolores podrían dispersarse en el espacio de mil maneras diferentes (movimiento multiforme). Sólo hay una manera de que la bola blanca se dirija del rincón hacia el triángulo (movimiento simple). Parece más probable pasar de un movimiento simple a un movimiento multiforme. La inversa podría producirse, pero tan raramente que podríamos apostar sin miedo a perder. Los movimientos multiformes dan, por lo general, origen a otros movimientos multiformes. En consecuencia, serán los términos «probable» e «improbable» los que vamos a utilizar para explicarnos ante nuestro visitante.

Una cuarta secuencia completará esta enseñanza. Sobre la pantalla, una gota de tinta negra cae en un vaso de agua. Se diluye y se extiende de manera uniforme. El agua se vuelve uniformemente gris. Nuestro alumno, si ha comprendido bien la lección, no tendrá ninguna dificultad en reconocer la secuencia real de la secuencia invertida. Es que no se trata ya de once objetos (las bolas de billar americano), sino de unas 10.000.000.000.000.000.000.000.000 de moléculas. La probabilidad de ver cómo la gota se forma por sí misma es tan ínfima que la podemos ignorar. La secuencia «movimiento multiforme transformándose en movimiento simple» no tiene prácticamente ninguna posibilidad de producirse.

¿Nada más?

Los acontecimientos «complejos» (disolución de una gota de tinta) llevan la flecha del tiempo, mientras que los acontecimientos «simples» (colisión de dos cuerpos) no. Éstas parecen ser las conclusiones que emergen de esos análisis.

Estas conclusiones podrían permitirnos reconciliar el tiempo de la física y el tiempo de nuestra intuición. El razonamiento sería el siguiente. Cada *acontecimiento complejo* de la realidad puede ser descompuesto en gran número de *acontecimientos simples*. Una partida de billar es una serie de colisiones de bolas. «Diluir una gota de tinta» puede verse como la secuencia de movimientos desordenados de partículas de tinta en el agua de un recipiente. «Freír un huevo» se reduce a una multitud de reacciones químicas individuales que se desarrollan en una sartén.

Aislados y considerados por separado, esos acontecimientos simples se asemejan a nuestras dos primeras secuencias. No parecen marcados por la flecha del tiempo. ¿Cómo aparece esta flecha cuando se observa el acontecimiento *en su conjunto*, es decir, cuando se considera la serie de acontecimientos simples?

Las secuencias vistas antes nos sugieren una respuesta. *La flecha del tiempo estaría únicamente inscrita en el paso de lo menos probable a lo más probable*. En realidad, los acontecimientos complejos *serían tan reversibles* como los acontecimientos simples; solamente serían menos probables. Si sabemos identificar la buena secuencia es, simplemente, porque nuestra experiencia de la vida nos ha acostumbrado a distinguir los acontecimientos probables y los acontecimientos improbables. Nada más. Si ello es así, la irreversibilidad del tiempo psicológico sería evidentemente pura ilusión.

Una sombra más sobre el hoy

Se habrá comprendido que ese «nada más» pone en duda, como quien no quiere la cosa, la virginidad del hoy. Pues si admitimos que los acontecimientos complejos son reversibles —aunque la probabilidad de esta reversión sea ínfima—, entonces habrá que concluir también que el paso del tiempo no crea nada nuevo.(58) La palabra reversible indica, en efecto, que lo que está en el futuro podría muy bien haber estado en el pasado.

Desde este punto de vista, nuestra ignorancia del porvenir se referiría únicamente a la elección del estado que va a suceder al estado presente. Incluso si no estamos en condiciones de saber qué va a pasar, nos sería en principio posible conocer el conjunto de todo lo que podría pasar. (Por ejemplo, al lanzar una moneda sabemos de antemano que el resultado será cara o cruz, aunque no sepamos cuál de las dos será elegida.)

El abanico de los estados posibles estaría determinado y sería conocible. El futuro dejaría de tener misterios. La virginidad del presente sería ilusoria. Ya no habría lugar para la *creatividad* en el mundo.

SOS computadoras

Consideremos ahora la situación con ojos críticos. La argumentación de los últimos párrafos está fundada en dos afirmaciones: (1) los acontecimientos simples son reversibles; (2) los acontecimientos complejos —compuestos por acontecimientos simples— son, a pesar de las apariencias, igualmente reversibles.

¿Es realmente así? En las páginas siguientes vamos a descubrir que las dos afirmaciones son igualmente discutibles. *En el mundo real, ni los acontecimientos complejos ni los acontecimientos simples son*

exactamente reversibles. La primera cuestión nos remitirá a los «horizontes predictivos» y a las teorías del caos; la segunda, a la expansión del universo. Estos dos elementos claves van a mostrarnos que esas afirmaciones no son exactas, sino solamente aproximativas. A través de este carácter aproximativo se producirá la reconciliación.

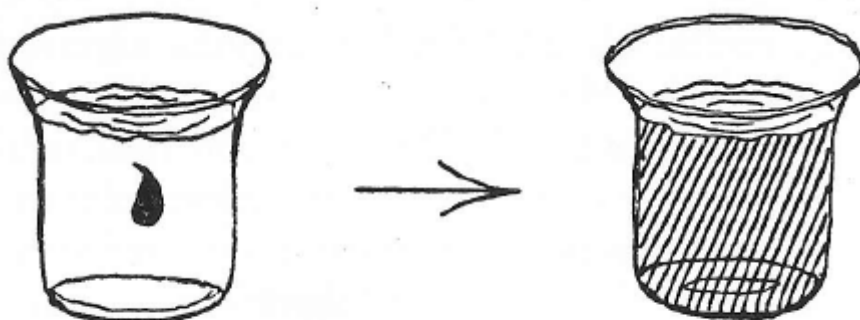
Aquí recurriremos a nuestras poderosas computadoras. ¿Quién hubiera imaginado que esas fieles servidoras, estúpidas pero rápidas, servirían un día para una discusión filosófica, y que arrojarían luz sobre el problema de la libertad?

Retomemos la secuencia de la gota de tinta. Escribamos, en primer lugar, las ecuaciones del movimiento de las partículas de tinta entre las moléculas de agua. El ordenador nos permite entonces reconstruir la disolución progresiva de la tinta en el agua. Se proyecta el resultado sobre la pantalla.

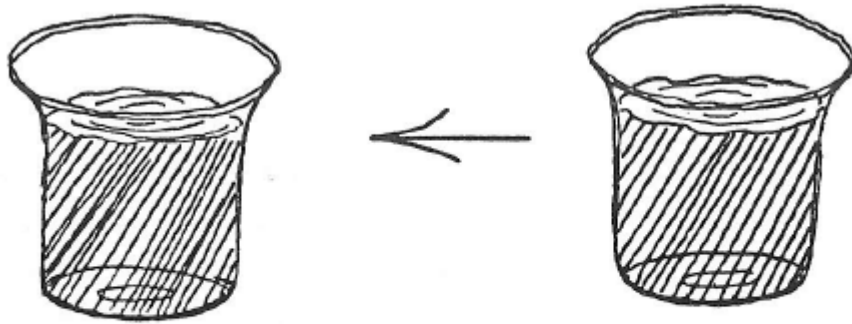
Como en el experimento real, se ve cómo las partículas coloreadas, al principio confinadas en una gota minúscula, se propagan por difusión en todo el líquido. La pantalla se vuelve gris.

Para la secuencia en sentido contrario, invertimos ahora el movimiento de cada una de las partículas. «Marcha atrás todas.»

Podría imaginarse que, describiendo en sentido contrario su recorrido anterior, las partículas de tinta acabarían por reconstruir la gota inicial sobre la pantalla. En realidad, no ocurre nada de eso.⁽⁵⁹⁾ *¡La gota no vuelve a aparecer!* La pantalla permanece gris.



La gota de tinta se diluye; el mezclador se uniformiza.



La gota de tinta no se vuelve a formar.

Contrariamente a lo que habíamos sugerido, la secuencia de la gota de agua no es reversible. ¿Qué es lo que ha pasado?

Volvemos a encontrarnos aquí con el problema de la «sensibilidad a los datos iniciales». Nuestro ordenador *podría* hacer correctamente el camino inverso —y reconstruir la gota de agua— a condición de introducirle la posición y la velocidad exactas de cada una de esas partículas. Ahora bien, debido al inmenso número de cuerpos en interacción, las ecuaciones de las partículas de tinta *son muy sensibles* a los datos iniciales. Su horizonte predictivo es extremadamente corto. Está muy por debajo del tiempo requerido para volver a formar la gota de agua. La pantalla permanece indefinidamente gris.(60)

El ordenador nos aporta la prueba: más allá del horizonte predictivo, los acontecimientos complejos de la realidad no son reversibles. Por «deterministas» que sean, las ecuaciones de sus movimientos son incapaces de prever el porvenir a largo plazo. Su futuro no está más que parcialmente inscrito en su presente.

Se resume a menudo la situación diciendo: *las ecuaciones son deterministas, pero las soluciones a esas ecuaciones sólo lo son de manera aproximativa. Superado el horizonte predictivo, no lo son en absoluto.*(61)

La pregunta, de pronto, recae sobre los acontecimientos simples. ¿Son verdaderamente reversibles? La respuesta vuelve a ser negativa. La dificultad esta vez no proviene de los horizontes predictivos, sino de la expansión del universo.

Va a permitirnos unir el tiempo de la física con el tiempo de la cosmología.

Volvamos a analizar más atentamente la secuencia de las dos bolas que se aproximan, chocan y se alejan.

Para describir completamente este hecho hay que tener en cuenta que las bolas no son simples objetos mecánicos. Están constituidas por átomos que interactúan con el resto del universo. Hay que considerar todas esas interacciones. Es ahí donde va a inscribirse la flecha del tiempo.

Como todos los objetos, esas bolas emiten una radiación proporcional a su temperatura. Esta radiación, compuesta por fotones infrarrojos, abandona la bola y se dirige al espacio.

Además, hay que recordar la existencia de la radiación fósil compuesta por fotones milimétricos (de energía mucho más débil que los fotones infrarrojos).⁶² A lo largo de su trayecto, las bolas absorben esos fotones. En relación con la expansión, la temperatura del universo disminuye (muy) levemente durante el

movimiento. Los fotones milimétricos absorbidos son un poco menos numerosos y poco menos energéticos que al final.

La secuencia invertida difiere de la secuencia real. Se ven fotones infrarrojos viniendo del espacio mientras que algunos fotones milimétricos cada vez más numerosos y energéticos abandonan las bolas. Las dos secuencias son fácilmente reconocibles.

Señalemos que en un universo isotérmico esas diferencias no existirían. Las bolas (termalizadas) recibirían y emitirían la misma radiación en ambos sentidos. Como el espacio es mucho más frío que las bolas, las secuencias no son idénticas. Ahora bien, esta diferencia de temperatura está vinculada al fenómeno de expansión y en particular a la instauración del desequilibrio. En un universo en equilibrio, nada hay que marque la flecha del tiempo.

Podemos ahora comprender mejor los roles respectivos de la expansión del universo y de los horizontes predictivos en el desarrollo de la complejidad. Las esperanzas de libertad engendradas por el efecto de los horizontes predictivos serían destruidas despiadadamente por los equilibrios que reinarían en un mundo estático.⁽⁶³⁾ Sólo en las situaciones de desequilibrio la existencia de los horizontes predictivos puede conducir a algo nuevo. Ahora bien, esas situaciones son engendradas por el enfriamiento cósmico.

La secuencia del mundo

En resumen, hemos aprendido que la flecha del tiempo no está simplemente ligada al paso de lo menos probable a lo más probable. Hemos comprendido que ni los acontecimientos complejos ni los acontecimientos simples en realidad son exactamente reversibles. (Más exactamente habría que decir que, de hecho, no hay más que acontecimientos complejos. Los «simples» son falsamente simples. Desarrollaremos este punto más ampliamente en el apéndice.) La reversibilidad del tiempo de la física es una *aproximación*, válida en la práctica para periodos muy cortos.

Una nueva secuencia filmada nos proporcionará una demostración espectacular. En primer lugar se ven, esparcidos por la imagen, átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno, etc., representados, según la tradición de los químicos, por bolas de variados colores.

En la segunda imagen, los átomos se hallan reagrupados en pequeñas moléculas. Se puede distinguir el dióxido de carbono, el agua, el alcohol, el formol, parecidos a lo que los astrónomos identifican en las nubes interestelares.

La imagen siguiente nos muestra moléculas más complejas, azúcares, grasas, aminoácidos, incorporando varias decenas de átomos.

Luego se ve la doble hélice del ADN: una gigantesca estructura formada por varios centenares de miles de átomos de hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno, con un poco de fósforo.

Ahora, la pantalla está llena de pequeñas células vivientes flotando en una gota de agua. Cada célula, limitada por una membrana transparente, contiene un núcleo que alberga las moléculas del ADN. Alrededor de este núcleo se activan miríadas de moléculas gigantes: proteínas, etc.

Luego tenemos pequeños organismos simples: esponjas, medusas, gusanos marinos. En las imágenes siguientes se distinguen, unos tras otros, peces, anfibios, reptiles, mamíferos, homínidos y seres humanos.

¿Esta secuencia ha sido pasada en el sentido real o en el sentido inverso? Si la flecha del tiempo estaba señalada únicamente por el paso de lo menos probable a lo más probable, ¿qué respuesta deberíamos dar? El criterio de plausibilidad, que nos ha permitido identificar correctamente el sentido de los filmes precedentes, podría muy bien inducirnos aquí a un error.

Una mariposa hace primavera

La diferencia esencial está en la duración. La secuencia del billar americano describe un acontecimiento que dura algunos segundos. Esta duración está por debajo del horizonte predictivo del movimiento de las bolas. La que acabamos de ver resume la evolución del universo a lo largo de quince mil millones de años (mucho más allá de todos los horizontes predictivos). Es la prueba evidente de que en la escala cósmica el desarrollo del tiempo no es simplemente el paso previsible de una cosa menos probable a otra más probable.

En la escala de miles de millones de años, las leyes de la física permiten que el universo se organice, pero no dejan prever la forma precisa que esta organización tomará. Sin desobedecerlas nunca, el futuro no está implícitamente contenido en ellas.

Conocer las leyes no es, como pensaba Laplace, saber deletrear un futuro previsible, sino saber cómo se administrará un porvenir «preñado» de novedades. La suerte del mundo no está contenida por completo en el presente. Sin contrariar a las leyes de la física, la naturaleza puede entregarse a su actividad favorita: innovar sin límites.

Cada «hoy virginal» está hecho de acontecimientos nuevos, marcados por el pasado, pero no determinados por éste. Su desarrollo influye en el futuro y causa en su estela la posibilidad de otros acontecimientos inéditos. El hoy prepara otro hoy.

Volvamos, para resumir los tres últimos capítulos, al espectáculo de nuestras mariposas sobre un campo de colza. Bajo la nueva mirada de la ciencia, ¿qué podemos decir de este «acontecimiento»? ¿En qué era previsible? ¿En qué escapaba a la previsión?

Cualquier previsión de futuro impone en primer lugar una distinción. ¿Se refiere a un acontecimiento específico o a un conjunto de acontecimientos? Por ejemplo, decir: «aquí hará frío dentro de un año, día por día», es mucho más específico que decir: «la temperatura media del hemisferio norte va a disminuir durante el invierno próximo». Podemos, sin demasiado riesgo, apostar por la segunda afirmación. No recae sobre un día y un lugar dados, sino sobre un conjunto de lugares y de días. Los efectos individuales, independientemente imprevisibles, forman un promedio que da un resultado previsible.

¿Qué podemos decir de la aparición de la complejidad en el universo? Remontémonos con la mente a los primeros tiempos del cosmos. ¿Qué se hubiera podido prever, a partir de nuestros conocimientos actuales de las leyes de la física?

Los comportamientos medios del cosmos se prestan más fácilmente a la previsión que los acontecimientos particulares. La formación de las estrellas, cuando la temperatura del universo disminuyó lo suficiente, era ya previsible, pero no la aparición del Sol en tal lugar y en tal momento de la existencia de la Vía Láctea. Asimismo, se podía prever la generación de los átomos y de las moléculas por la actividad nuclear y química, pero no la forma precisa de los dibujos que forma la escarcha sobre mi ventana en esta mañana de invierno.

Sabemos demasiado poco sobre cómo apareció la vida para decir si su desarrollo habría sido previsible o no. Sin embargo, varios descubrimientos recientes de la astrofísica —la presencia de moléculas que contienen

hasta varias decenas de átomos en el medio interestelar; la detección de aminoácidos en ciertos meteoritos; los experimentos de simulación del océano primitivo de Urey y Miller— nos envían todos el mismo mensaje: la naturaleza guarda muchos trucos en la manga. Su aptitud para organizar las estructuras materiales no deja de sorprendernos. En este contexto, no parece ya absurdo pensar que la vida era previsible, aunque nuestra existencia personal no lo fuese en absoluto.

En cuanto a nuestras mariposas, *se puede prever* que al llegar la primavera procurarán acoplarse. *No se puede prever* la trayectoria de sus jugueteos amorosos sobre los campos de colza. Pero se puede predecir que de esos jugueteos nacerán otras mariposas que tejerán el hoy de las futuras primaveras...

TERCERA PARTE

Desde el punto de vista de la radiación fósil

VIII El artesano del octavo día

*Escribo porque tengo la impresión o la sensación
de que el mundo está inacabado, como si Dios,
que creó el mundo en seis días y que descansó el séptimo,
no hubiera tenido tiempo de hacerlo.
Encuentro el mundo demasiado pequeño,
la vida demasiado breve, la felicidad no del todo suficiente.
Escribo para acabar el mundo, para añadir a la creación el octavo día.*

ANTONINE MAILLET

Guardo el recuerdo de un delicioso sueño que a veces vuelve a mí cuando recorro los floridos senderos de Malicorne. A lo lejos una voz canta a Mozart. Es el «*voi che sapete*» de Las bodas de Fígaro. Gozosamente me arrastra por los meandros de la melodía, mientras vibro al unísono con la música. Se me estremece todo el cuerpo y mi felicidad es inefable. En pleno éxtasis de ese sueño, un inmenso sentimiento de reconocimiento se apodera de mí. Repito incansablemente: «Gracias Mozart. Gracias por haber existido y por haber compuesto esa aria sublime».

Ahí, en medio de una neblina onírica, aboliendo la distancia y el tiempo, siento al compositor genial, invisible, pero tan presente... «La tierra se lleva esta carne mortal, pero no la poesía», escribía Aragón a la muerte de Apollinaire. En ese sentido, al menos, *la muerte no es el final de la existencia*.

¿Por qué la música me es tan preciosa? Entre mis más antiguos recuerdos veo a mi madre sentada al piano. Está tocando la sonata Apassionata de Beethoven. Con mis ojos a la altura del teclado, miro sus dedos que se estiran para alcanzar las notas alejadas. Los sonidos surgen hermosos cuando, levantando ligeramente los codos, hunde las manos en el marfil blanco. Yo espero los pasajes en que el brazo izquierdo pasa por encima del brazo derecho y prosigue el acompañamiento en las sonoridades elevadas.

A menudo interrumpida por la llegada de mi padre, la semiclandestinidad en que vivíamos la música familiar en aquella época le da a mis ojos un atractivo inmenso. «Me gustaría tanto tener un fonógrafo», dijo un día mi madre. Me oigo a mí mismo responderle: «Cuando sea mayor te compraré uno».

No fue necesario esperar tanto. El primer tocadiscos, un aparato mecánico con bocina, del tipo «La Voz de su Amo», entró en casa hacia mi octavo año de vida. ¡Qué belleza! Con mis hermanos y mi hermana descubro al divino Mozart, que a duras penas emergía de los ruidos de la superficie de un viejo disco de 78 revoluciones. Con qué energía girábamos la plateada manivela del gramófono...

Nos gastábamos los ahorros en discos. En la planta baja de los almacenes Archambault, en la calle Sainte Catherine de Montreal, las paredes tapizadas de álbumes multicolores dispuestos en orden alfabético nos presentaban a Bach, Beethoven, Berlioz, Brahms y muchos otros. ¡El Palacio de las Maravillas!

Teníamos miles de horas de música por descubrir. Una fuente de felicidad inagotable. Los vendedores, tolerantes, nos dejaban estar en las minúsculas cabinas, sofocantes, en medio de todas aquellas obras de poéticos nombres: *El viaje de invierno*, *Preludio a la siesta de un fauno*, *Muerte y transfiguración*. ¿Cómo elegir? Cuando uno de nosotros volvía a casa con sus compras, nuevos amigos entraban en el hogar.

El verano nos encontraba en la casa de campo familiar, en Bellevue, a orillas del lago Saint-Louis. Allí intercambiábamos con nuestras primas los descubrimientos musicales del año. Las cantatas de Bach se instalaban en la noche tibia, con el ruido de las hojas de los álamos agitadas por el viento del lago.

Durante aquellos años de adolescencia me embriagó la música, pero me interesé poco por los músicos. En aquella época, Schubert era el autor de *La bella molinera o del Octuor*. Nada más. Posteriormente tomé conciencia del hecho de que, como usted y como yo, Bach y Wagner vivieron una vida humana. Así entré en la realidad histórica de los autores de «mis» músicas.

Es el momento de la creación lo que me obsesiona y me fascina particularmente. Me invade una intensa emoción cuando imagino a Mozart sentándose a su mesa para escribir el Concierto para piano n.º 20. O a Bach preparando una nueva cantata para los feligreses de Leipzig.

Un impulso irresistible

Movido por la curiosidad de saber más sobre esos elevados momentos de la creatividad humana, me sumerjo en la lectura de las biografías de mis artistas favoritos, músicos, pintores o poetas. A pesar de la variedad de las historias personales, hay un elemento común que no falta nunca: un impulso casi obsesivo de crear. En el sufrimiento, como en Beethoven o Van Gogh, o en la turbulencia del joven Mozart; en la pobreza material de Rembrandt o en la vida lujosa de Rubens.

Poseídos todos por esta pasión, las respuestas de los creadores se parecen: «No puedo vivir de otro modo. Es lo que me mantiene en la existencia, lo que da sentido a mi vida. Es algo que me posee desde mi más tierna infancia...».

Tras la lectura de Winnicott (Capítulo IV), esas palabras adquieren para nosotros unas resonancias familiares. Volvemos a encontrar aquí la expresión de la voluntad *de reconstruir el mundo*. «Lo que tengo en el corazón», dice Beethoven, «tiene que salir, y por eso escribo.» «La música debe hacer brotar el fuego del espíritu de los hombres. Quien penetra en el sentido de mi música, estará libre de toda la miseria en que se arrastran los demás hombres.» «No hay nada más bello que aproximarse a la divinidad y difundir sus rayos sobre la raza humana.»

Este impulso creador se manifiesta de una manera particularmente poderosa en el «arte popular». En un museo de Yonne, denominado la Fabuloserie, se han reunido obras de creadores marginales. De ellas se desprende una emotividad conmovedora. Los autores, por lo general incultos y desprovistos de preocupaciones estéticas, a menudo han encontrado en esta ocupación lúdica una tabla de salvación contra la locura que los amenazaba. Yo desafío a cualquiera a mirar sin que se le encoja el corazón *las Tribulaciones de la pequeña Mauricette*.

Las raíces cósmicas de la creatividad

¿Qué más se puede decir sobre este impulso creador al cual debemos el esplendor de las obras maestras artísticas de todas las épocas y de todos los orígenes?

Mi objetivo, a lo largo de estos paseos campestres, es mostrar cómo los conocimientos científicos de nuestra época pueden proyectar una luz nueva sobre el conjunto de la cultura humana. Yo desearía ahora, siguiendo esta perspectiva, abordar el vasto tema de la creación artística.

No se trata de explicar el arte. La obra de arte existe por pleno derecho y no depende de ningún sistema explicativo. Es fútil y estéril pensar que se la puede reducir a algunos elementos lógicos o psicológicos.

Mi objetivo es otro. Voy a intentar describir cómo se inserta la creación artística en la trama de la evolución cósmica, tal como lo entendemos en la actualidad gracias a los mensajes de las diferentes ciencias: física, química, biología, astronomía.

Hemos comprendido gracias a los psicoanalistas, en particular Winnicott, la importancia fundamental para el ser humano de reconstruir una realidad enriquecida y embellecida. Descubriremos ahora las sorprendentes analogías que existen entre la actividad de la naturaleza y la del artista. *No sólo los dos juegan a los mismos juegos, sino que juegan prácticamente en las mismas condiciones*. Los juegos de la naturaleza han engendrado una variedad casi ilimitada de estructuras complejas. El ser humano es una de las más ricas. El creador artístico, por su parte, se consagra al juego del que es fruto, llevando aún más lejos la perpetua búsqueda de nuevos esplendores.

El arte como terreno de juego

Para ilustrar la sutil relación entre la naturaleza y el artista voy a evocar dos imágenes.

Un recuerdo familiar me permitirá explicar, por contraste, la relación entre el juego, la indeterminación y la creación artística. Mi madre, cuando era ya mayor, ocupaba sus horas de ocio en la «pintura con números».

Las paredes de nuestra casa estaban decoradas con sus obras. Sobre una tela blanca, están dibujados los contornos de un paisaje o de una naturaleza muerta. Cada zona del dibujo lleva un número. Este número corresponde a un tubo de colores. Extendiendo los colores indicados en el lugar adecuado, se reproduce fielmente el cuadro del catálogo ilustrado.

Esta actividad no es portadora de ningún «valor añadido». La especificación del camino a seguir niega cualquier dimensión lúdica. Queda excluido introducir elementos diferentes.

A la inversa, asociando colores sobre su tela, el pintor procura producir algo nuevo. A partir de elementos simples quiere crear una emoción inédita. «Juega» y ese juego engendra la «plusvalía» (en el lenguaje de los economistas). Veinte gramos de rosa coral, diecisiete gramos de rojo Saturno... No decimos nada de la belleza de las *Señoritas de Aviñón* si sólo enumeramos la cantidad de colores utilizados por Picasso.

Para la segunda imagen, evocaremos a Juan Sebastián Bach sentado a su mesa de trabajo y preparando su cantata del domingo siguiente. Su música se inscribe en la tradición musical de la época. Se reconocen en ella las reglas y las imposiciones a las cuales los artistas de entonces aceptan someterse. Aun sin estar determinada por éstas, la obra encuentra en ellas su forma. Para los domingos de Leipzig, Bach escribió más de trescientas cuarenta cantatas, todas diferentes, todas sublimes. Unas reglas determinantes le habrían forzado a repetir indefinidamente la misma cantata, y los feligreses se habrían cansado enseguida.

Las reglas cambian. No se compone en la época de Schubert como en la de Monteverdi. Pero el papel de las convenciones musicales es siempre el mismo: dar un marco en el cual y por el cual la obra de arte puede constituirse y tomar forma. A condición, una vez más, de que ese marco sea lo suficientemente flexible como para albergar la diversidad y la variedad. Para que una realidad nueva, una nueva gama de emociones, aparezca con toda claridad y sea ofrecida como regalo a la humanidad.

El juego de las «propiedades emergentes»

Gracias a los progresos de la investigación científica, comenzamos a comprender cómo funciona la naturaleza. Tiene sus trucos, sus recetas favoritas, su modo de proceder. Los utiliza en todos los niveles de la complejidad. En el Capítulo VI recordamos sus elementos principales. Conviene repetirlos brevemente ahora.

Del mismo modo que Van Gogh yuxtapone sobre su tela colores elementales para dar al mundo sus célebres girasoles, la naturaleza también asocia elementos simples para convertirlos en elementos nuevos, más complejos. Estas asociaciones, en un orden bien definido, hacen aparecer unas «propiedades emergentes». Igual que la palabra «azul» evoca un color que no evocan, ni siquiera parcialmente, cada una de sus cuatro letras, también el agua es solvente, pero el hidrógeno y el oxígeno, que constituyen sus moléculas, no lo son. Asimismo, los miles de millones de neuronas de nuestro cerebro no tienen individualmente capacidad para estudiar la astronomía.

Sin embargo, la asociación de elementos simples no es necesariamente creadora. De aquellos cuadros con números que pintaba mi madre no surgía nada nuevo. Se requiere otro elemento crucial: un espacio de libertad en donde «azar» y «necesidad» se encuentren y se fertilicen. En el Capítulo V hemos visto cómo este espacio de libertad se crea gracias a la expansión y el enfriamiento del universo.

Una retrospectiva histórica

La extraordinaria diversidad de formas, disposiciones y comportamientos de nuestro universo contemporáneo no existía hace quince mil millones de años. Esa es, sin duda, la aportación más significativa de la astronomía a nuestra reflexión sobre la naturaleza del mundo.

Los fotones de la radiación fósil nos permiten reconstruir la imagen del universo en aquella época.⁶⁴ Esta imagen es uniformemente blanca. Cualquiera que sea la dirección de la observación o la resolución del instrumento, no se detecta ninguna «granularidad», ninguna huella de las estructuras por venir. La «mirada» de la física teórica nos permite interpretar esta blanca homogeneidad. El universo de entonces se presenta con el aspecto de una inmensa masa indiferenciada de partículas elementales.

El extraordinario contraste entre este universo antiguo y nuestro mundo actual pone de manifiesto el guión de la historia del universo: la mutación progresiva de la antigua monotonía hacia la riqueza del estado actual.

La física, la química y la biología nos aclaran los mecanismos de esta mutación. Explican la naturaleza de las fuerzas en acción y de las leyes que las rigen. Describen los innumerables acontecimientos que han modificado de manera irreversible el rostro del cosmos.

La astronomía nos permite reconstruir el contexto de esta mutación. Gracias a los regímenes de desequilibrio instaurados por la expansión universal, las leyes no determinan más que parcialmente el curso de los acontecimientos. En cada etapa aparece un amplio abanico de «posibles». Entre éstos, uno solo se hará realidad, sin que esa elección haya sido en absoluto previsible (este tema está tratado en detalle en los Capítulos VI y VII).

Es en esos espacios donde las asociaciones de partículas elementales, en sistemas cada vez más complejos, pueden producirse y engendrar continuamente lo nuevo y lo imprevisible, lo no programado.

En este contexto cósmico, la actividad de las fuerzas naturales puede llegar a ser creadora. Se puede ver en ello la fuente del carácter inventivo de la naturaleza. Es la clave de la formidable variedad de los seres y de las formas de nuestro universo.

Se manifiesta en el cielo en la gran diversidad de los astros. Existen galaxias multiformes, espirales, cruzadas, elípticas o francamente irregulares. Se observan también estrellas de todos los colores, con comportamientos moderados o extravagantes. Se ven planetas, satélites, asteroides y cometas con químicas inesperadas.

Esta diversidad se encuentra también en la Tierra, en el reino vegetal y en el animal, tal como la podemos ver en las páginas de hermosos libros ilustrados. La admiramos en las innumerables especies de flores salvajes o de mariposas tropicales.

La variedad de seres humanos es aún más asombrosa. Somos cinco mil millones sobre la Tierra, todos profundamente diferentes. Cada uno de nosotros tiene su personalidad única, sus sentimientos, sus emociones, su historia individual.

El intercambio de los genes en el momento de la fecundación es uno de los «trucos» de la naturaleza para seguir abriendo cada vez más ampliamente el abanico de posibilidades. Esta fórmula puede engendrar una

gama ilimitada de individualidades diferentes. No agotaremos nunca el conjunto casi infinito de identidades que la naturaleza humana puede asumir.

Proseguir la innovación

Descendiente de quince mil millones de años de juegos siempre renovados, el ser humano es, según nuestros conocimientos, el producto más complejo y más «performante» de la naturaleza. (Doy aquí al término «performante» el sentido de: capaz de producir una acción importante, beneficiosa o perjudicial sobre su entorno.) Sin embargo, nada nos autoriza a ver en él el punto final y la culminación de este formidable ascenso. Nada nos asegura que ese hermoso niño, objeto de todos nuestros narcisismos, «agote los recursos de esas operaciones lúdicas. Hoy, en nuestro planeta, el ser humano es simplemente un producto «de la gama alta». Nada menos y nada más...

Las proezas del ser humano están a la altura de sus aptitudes. La creación artística lo sitúa directamente en la continuación de ese juego de la naturaleza del que él es sólo una de las realizaciones.

Con el pintor de Lascaux o el de la Capilla Sixtina, la naturaleza se ha dado los medios de continuar y prolongar su actividad favorita. Ha colocado en el mundo a un obrero capaz de utilizar sus propios «métodos». Pero en una nueva dimensión de libertad y de resultados gracias a la cual puede llevar más lejos que nunca ese juego que tanto le gusta.(65)

El artista se encarga de llevar a cabo la innovación. Se inscribe en esa tradición universal de embellecer la realidad. «Escribo para acabar el mundo, para añadir a la creación el octavo día», escribe la poetisa canadiense Antonine Maillet.

Abrir el abanico

Las mariposas no son hermosas «porque sí». El esplendor de sus colores está, al menos parcialmente, vinculado a las necesidades de la supervivencia y dictado por ellas. La diversidad de las formas naturales no deja de guardar relación con los principales imperativos de la vida. Hay que comer y no ser comido. Hay que tener hijos para transmitir los genes. De esos imperativos nacen obligaciones que limitan seriamente la dimensión lúdica de los fenómenos biológicos.

Las limitaciones del artista son de otra naturaleza. Su libertad es mayor. Él abre el abanico de la naturaleza. Puede crear nuevos instrumentos y diversificar las técnicas de la creación artística. El empleo de la informática es un ejemplo contemporáneo de ello. El ordenador aumenta la gama de sonidos de los instrumentos tradicionales. Crea nuevas sonoridades que fueron desconocidas para Bach, Mozart y Wagner.(66)

Desde hace quince mil millones de años la naturaleza prosigue su tarea creadora. Mozart escribe su música y el cosmos es más bello que antes⁶⁷. Mozart está muerto desde hace dos siglos, pero sigue con nosotros. Su música nos hace vibrar al unísono con su espíritu.

Mensaje para el artista

Ahora debemos decir algo sobre el origen de este impulso creador. En primer lugar, al artista que se pregunta sobre sí mismo, le diremos que su modo de acción se asemeja singularmente al de la naturaleza. Como ella, asocia elementos simples para obtener elementos nuevos, provistos de propiedades emergentes. Como ella, trabaja de forma lúdica en los espacios de libertad propicios para la eclosión de lo imprevisible.

Le diremos también que su actividad lo sitúa en una tradición de creatividad tan antigua como el mundo. Se distingue ya en la deslumbrante luz de la masa primordial. Pueden seguirse sus huellas en los inmensos espacios interestelares, en los restos de estrellas que estallarán y en la superficie de los basamentos planetarios.

Es la fuente viva de la diversidad cósmica. A ella se debe la aparición ininterrumpida de estructuras nuevas, aptas para engendrar otras estructuras más complejas aún... Paso a paso, la naturaleza elabora la complejidad cósmica al dar a luz, en su hora, a nucleones, núcleos atómicos, átomos, moléculas, células y todos los organismos, incluido el del artista que se interroga sobre sus propios estados de ánimo.

El nacimiento del arte abstracto, a comienzos de este siglo, volvió a plantear la cuestión de la estética. La identificación del elemento clave de esta epopeya natural —el juego dentro de la mayor libertad— puede aquí servirnos de guía. ¿Qué es el arte? ¿Cuáles son los criterios de la belleza?

La naturaleza lo prueba todo, no se priva de nada, no se censura nunca. Es bulímica en cuanto a experiencias nuevas. Si fracasa, no llora nunca sobre los platos rotos. Vuelve a la carga.

Los resultados se juzgan por la medida de su vitalidad. No «¿de dónde viene esto?», sino «¿qué es lo que da esto?». «No se juzga el árbol por sus raíces sino por sus frutos», dice con razón el evangelista.

Si en su actividad favorita, la naturaleza no se impone límites, no vemos por qué el artista se limitaría. Tal podría ser el consejo estético que se desprende de la reinserción de la actividad artística en el marco de la evolución cósmica.

Sobre el mismo tema, nuestro recorrido nos permite plantearnos una pregunta que ha hecho correr mucha tinta. ¿Existe lo «bello» en la naturaleza, o bien es patrimonio exclusivo de las producciones humanas?

Siguiendo la óptica de las páginas precedentes, la distinción entre las obras de la naturaleza y las de los hombres se esfuma. Pertenecen a la misma tradición creadora. La belleza es, en primer lugar, una experiencia íntima entre el yo y el universo. Al universo le debo la posibilidad interior de admirar la belleza y, a la vez, los elementos exteriores de belleza que admirar, cualquiera que sea su origen.

Los seis primeros días, el universo engendró la puesta de sol que ilumina el cielo en el momento en que dejo el bosque. En el octavo día nació la melodía de Mozart, que sigue sonando en mi cabeza.

IX Una chimenea en el campo

a mi hija Evelyne

Pido que se acepte una paradoja, que se tolere y se admita que no sea resuelta. Se puede resolver a paradoja si se huye a un funcionamiento intelectual que separe las cosas, pero el precio que se paga entonces es la pérdida del valor de la paradoja. Realidad y juego, WINNICOTT

Este paseo nos lleva a los cantones del este, en Quebec, cerca de la frontera estadounidense.

Tras un recodo del sendero se divisan las primeras edificaciones de un pueblo. Las avenidas están bordeadas por casas con jardines floridos. Este año, el ayuntamiento ha merecido el premio de arreglo floral de la región. Un poco más lejos, rígida, se levanta la chimenea de una fábrica que escupe chorros de humo negruzco. Los árboles, en un radio bastante grande, carecen de hojas. Pero la fábrica da de comer al pueblo.

Esta imagen me volvió a la memoria recientemente al preparar una conferencia para un congreso de derecho constitucional en Quebec. El tema del congreso —la defensa del medio ambiente— me brindaba la ocasión de situar la actividad jurídica en el contexto de nuestra nueva visión del mundo.

Malicorne Las leyes del cielo y de los átomos

De niño, en mi entorno inmediato, se hablaba mucho de derecho. Había varios juristas en mi familia. Aquellas discusiones me interesaban poco. Me parecían fútiles e insignificantes. Había otras cosas que hacer en la vida mejores que ocuparse de problemas por muros medianeros o herencias.

La serenidad del mundo de las estrellas, los misterios de los átomos y las moléculas me atraían mucho más que los meandros y los intrínquilis del procedimiento administrativo. Las leyes eternas, universales e inviolables que rigen los movimientos de los planetas y de los electrones me parecían infinitamente más dignas de atención que las leyes humanas, cambiantes, regionales y, en la práctica, siempre quebrantadas.

Una reflexión iniciada en el marco de la astrofísica contemporánea me ha llevado a revisar mi postura. Para apreciar el papel de la legislación humana en la economía del cosmos, me ha sido necesario, en primer lugar, tomar conciencia de una dimensión fundamental de la naturaleza: la complejidad. Paralelamente con «lo infinitamente pequeño» de los átomos y «lo infinitamente grande» de las galaxias, hay que considerar

también «lo infinitamente complejo» de la vida. En esta dimensión, a pesar de sus fallos y sus vicisitudes, la jurisprudencia humana encuentra su justificación y su validez.

El furor de crear

Como en todos los capítulos anteriores, la historia del universo, tal como surge de los conocimientos científicos contemporáneos, es el punto de partida de este nuevo recorrido. En una primera sección analizaremos el estado de la legislación en el mundo de la materia llamada «inerte». Iremos luego al reino de los seres vivos.

La más antigua imagen del mundo fue emitida hace quince mil millones de años. Hemos tenido varias veces la ocasión de describir la importancia de esta imagen para nuestra reflexión. Nos muestra un estado pasado del universo muy diferente del estado actual. En aquella época, el cosmos era extraordinariamente caliente, extraordinariamente denso, pero sobre todo totalmente desorganizado. Es el «caos», tal como lo adivinaba el poeta griego Hesíodo, contemporáneo de Homero.

Por «caos» conviene entender aquí ausencia de estructuras organizadas. Sin animales ni plantas, desde luego, pero también sin galaxias ni estrellas, ni siquiera moléculas o átomos tal como la física nos los presenta hoy. El universo de entonces está constituido por una inmensa masa de «partículas elementales». Libres e independientes, vagan al azar por ese tórrido espacio.

Como contraste, miremos el universo de la actualidad. Tomemos como ejemplo nuestro cuerpo humano, con su cerebro pensante. Encontramos en él las mismas partículas elementales, pero en un estado completamente diferente. Los millones de partículas de las que estamos compuestos se hallan asociadas, distribuidas, combinadas en un organismo de una complejidad fantástica, cuyo comportamiento aún no entendemos bien. Gracias a esta organización somos capaces de percibir y tomar conciencia del mundo que nos rodea.

La historia del universo puede ser contada como el relato de esta extraordinaria metamorfosis. En *Patience dans l'azur*, describo cómo las diferentes ciencias naturales: física, química, bioquímica, biología, con el concurso de la astronomía, nos cuentan, una tras otra, sus diferentes capítulos.

En pocas palabras, la aparición de la diversidad de los átomos y de las moléculas se debe a la actividad de las fuerzas nucleares y electromagnéticas que procuran engendrar estructuras cada vez más estables. Esta actividad está regida por un conjunto de «leyes físicas» que determinan el curso de esos acontecimientos.

Las numerosas especies atómicas, engendradas por el efecto de la fuerza nuclear en el centro de las estrellas, se dispersan en el espacio cuando muere el astro. Estos átomos se reúnen entonces, gracias esta vez a la fuerza electromagnética, para formar la inmensa variedad de especies moleculares. La diversidad molecular se «injerta» en la diversidad atómica. De injerto en injerto, la naturaleza inventa continuamente soluciones nuevas al problema de existir. Edifica una tercera escala: la de la complejidad.

En este capítulo me propongo analizar la naturaleza de la «legislación» necesaria para promover esta ascensión. El vuelo de nuestras mariposas, en el quinto capítulo, puso en evidencia una característica fundamental. Las fuerzas, al soldar las estructuras materiales, engendran la diversidad de la naturaleza. Sin embargo, la existencia de esas fuerzas de cohesión no bastan para asegurar el desarrollo de la variedad y de la complejidad. Ellas podrían muy bien neutralizar la complejidad y llevar directamente a la monotonía. Para

evitar esa catástrofe, una condición se impone: que las leyes no sean enteramente determinantes. Nada nuevo podría suceder nunca si la hegemonía de los diktats legislativos fuese total.

Como hemos visto anteriormente, la expansión y el enfriamiento del universo han dado lugar a unos «espacios de libertad» que enmarcan y limitan la omnipotencia de las leyes naturales. Las fuerzas pueden elaborar ahí la complejidad cósmica sin correr el riesgo de aniquilarla de inmediato. Esta exigencia de flexibilidad de las leyes del mundo inerte la encontraremos de nuevo, singularmente amplificadas, en el mundo de los seres vivos.

La ley de la selva

Hemos estudiado la legislación del mundo atómico y molecular. Pasamos ahora a los escalones superiores de la pirámide de la complejidad, ahí donde anidan los seres vivos, plantas y animales.

La majestuosa indiferencia de los átomos y de los cuerpos celestes no se da demasiado en los escalones superiores de la complejidad. Más bien es, según la expresión popular, la «ley de la selva». Todos los golpes están permitidos, cada cual a lo suyo y que gane el más fuerte.(68)

Los estudios etológicos contemporáneos confirman plenamente el aspecto inmoral —o más bien amoral— de los comportamientos animales. El hambre justifica siempre los medios. La naturaleza es eficaz e inteligente, pero la ética no es su fuerte. Para asegurar la supervivencia de la especie, todas las estrategias están permitidas: mentiras, golpes bajos y falsas representaciones.

Un abejorro encuentra en una orquídea el dibujo, los colores, la textura e incluso el perfume de su hembra. Engañado y decepcionado, parte con el polen fertilizador y garantiza así la reproducción de la flor.

Otra flor desprende un olor de carroña. Su color y su textura son las de la carne podrida. Lleva el arte del mimetismo hasta el punto de cubrirse de una fina pelusa que sugiere una piel de animal. Una mosca se presenta a la búsqueda de cadáveres en descomposición. Quiere depositar ahí sus huevos para que cuando nazcan las larvas encuentren alimento. Engañado por el disfraz, el insecto deja ahí sus huevos, pero se va cargado de polen hacia otra flor. Las larvas mueren de hambre pero se ha producido la fecundación...

El cuclillo no se toma la molestia de hacer un nido. Deposita sus huevos en los nidos de otros pájaros. Para asegurarse de que los padres engañados alimentarán convenientemente a sus propios retoños, arroja los huevos de sus involuntarios anfitriones.

Una legislación a corto plazo

El egoísmo anárquico no es, sin embargo, la única regla de comportamiento de la naturaleza viviente. Las colmenas y los termiteros nos dan un ejemplo de sociedades animales perfectamente civilizadas.

En estas sociedades, cada uno está sometido a una legislación estricta e inmutable. A la llegada del enemigo, los guerreros se ponen en marcha mientras que los obreros, impasibles, prosiguen su trabajo. Característica importante: el individuo está aquí enteramente subordinado al grupo. En caso de necesidad, será sacrificado de manera inexorable.

¿Dónde está el código civil? ¿Cómo conoce cada uno su deber y sus responsabilidades? Se trata, muy probablemente, de una programación genética cuya eficacia nos sumerge en la admiración. Sin embargo, a pesar de la aparente perfección del funcionamiento de esas sociedades animales, la legislación en vigor no

carece de problemas. Una mirada más profunda revelará varias características potencialmente conflictivas, cuando volvamos a ver la situación desde más arriba, desde el «punto de vista de la radiación fósil».

El poder coactivo de esta legislación parece, en este caso, absoluto. El espíritu revolucionario, la desobediencia y la rebelión no tienen lugar. Resultado: una sociedad perfectamente conservadora que repite siempre los mismos actos. Una entidad intemporal donde toda posibilidad de mejoría parece excluida...⁶⁹ Las duras e intangibles leyes que aseguran la armonía de la vida de la colmena neutralizan al mismo tiempo cualquier posibilidad de progreso y de evolución.⁽⁷⁰⁾

Segunda característica: esta legislación está completamente centrada en el bien de una sociedad determinada, una colmena, una termitero, un hormiguero. El resto del mundo no existe más que para ser utilizado. Las hormigas capturan colonias de insectos y los esclavizan para sus necesidades. Les cortan las alas y los encierran en la oscuridad para ordeñarlos. Todo para las hormigas, nada para los insectos esclavizados.

Estas características ponen de manifiesto otra, mucho más grave: la ausencia de conciencia planetaria. Las langostas que asolan hoy el Sahel tienen una única ley: devorar todas las hojas posibles. «Ignoran» que el empobrecimiento del suelo y de la vegetación que ellas aceleran podría volverse contra sí mismas y resultarles fatal. La naturaleza no ha inscrito esta información en sus genes.

Para ese tipo de problemas, la naturaleza ha «previsto» otras soluciones. Cuando ya no queda vegetación, las langostas son diezmadas por el hambre. Los árboles vuelven a brotar y las langostas proliferan nuevamente. Como en el capitalismo más salvaje, la naturaleza parece contar únicamente con el equilibrio de las fuerzas presentes para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra.

A largo plazo, este equilibrio es inestable. La naturaleza se comporta como si los recursos terrestres fueran inagotables. Las catástrofes irreversibles que podría acarrear el deterioro progresivo del medio no parecen entrar en su campo de preocupaciones. Como no lo es la vida de los individuos, tampoco la supervivencia de la biosfera parece ser su problema. ¿Habrán olvidado hasta qué punto nuestro planeta, construido por sus cuidados hace 4.500 millones de años, es limitado y frágil? El desarrollo de la especie humana va a encargarse de recordárselo.⁽⁷¹⁾

Una paradoja insoslayable

Esta discusión nos ha llevado a una situación paradójica. En tanto que producto de la evolución biológica, el ser humano forma indudablemente parte de la naturaleza. Sin embargo, a la vista del conjunto de los seres vivos, su extraordinario nivel de actuación nos invita a otorgarle un status especial. Es posible, en cierto modo, considerarlo como fuera de la naturaleza.

Esta doble situación constituye una fuente de ambigüedad. El biólogo Jean Dausset escribe: «La naturaleza no habla; es el ser humano el que habla». Sería perfectamente defendible afirmar que el ser humano otorga una voz a la naturaleza.

La naturaleza, dicen algunos, no tiene «corazón». Es indiferente al dolor de los seres vivos. Sin embargo, a lo largo de la historia, algunos hombres se han rebelado contra la injusticia. Otros han consagrado su existencia a la compasión y a la ayuda humanitaria. ¿De dónde les vienen esos loables sentimientos y la capacidad de ponerlos en práctica sino de la madre naturaleza?

Esta dificultad puede llegar a ser la fuente de una nueva explicación, si en lugar de elegir uno u otro punto de vista, decidimos tomar los dos.

A tal fin, dividiremos en tres partes la historia de las agitadas relaciones entre el hombre y la naturaleza. Las dos primeras partes, que se superponen parcialmente, serán luego observadas sucesivamente desde estos dos ángulos: «el hombre está en la naturaleza» y «el hombre está fuera de la naturaleza».

La naturaleza antes que el hombre

Nuestra primera parte corresponde al periodo comprendido entre los tiempos iniciales del universo, hace quince mil millones de años, y la aparición del hombre, hace dos millones de años.

Con el transcurso de las eras, el cosmos va emergiendo del caos inicial. Gracias a la acción de las leyes de la física, la materia se hace compleja. Aparece la vida sobre nuestro planeta y se desarrolla en su extraordinaria diversidad. La Tierra se enriquece con millones de especies vivientes.

La situación conflictiva ya está iniciada. La dura competencia provoca innumerables litigios. Gracias a los instintos reguladores que el proceso evolutivo pone en marcha, los estragos resultan limitados. No amenazan la armonía del planeta. Sin embargo, en germen, están ya todos los elementos que más adelante ensombrecerán el paisaje.

Los primeros seres vivos se nutren de sustancias minerales. Después nacen los herbívoros que matan las plantas para alimentarse. Luego aparecen los carnívoros, cuya existencia depende de la muerte de otros animales. Esta «escala alimentaria» responde a las exigencias de una logística de «actuaciones». Se reconoce en ella la perpetua obsesión de la naturaleza por poner en el mundo estructuras cada vez más complejas y con comportamientos más elaborados.

Cabría preguntarse, usando términos antropomórficos, si a la naturaleza no se le encogió el corazón cuando el primer carnívoro mató a otro para alimentarse. ¿Alguna duda? ¿Algún lamento? ¿De verdad quiso hacer eso? ¿Deseaba de verdad internarse por ese camino? (Nota para el lector a quien esta personificación de la naturaleza moleste: ¡utilice su provisión de comillas!)

La naturaleza amenazada

La segunda parte comienza con la aparición del ser humano en la sabana africana. Mediante migraciones sucesivas, pronto ocupa todo el espacio disponible sobre el planeta.

Llevado por su frenesí de inventiva, después de una gestación de quince mil millones de años, el universo da a luz un prodigioso «mutante». La capacidad de adaptación y el espíritu competitivo son los fermentos y los motores de la evolución biológica. El ser humano es el fruto de la espléndida inmoralidad con que la naturaleza ejerce su furor creativo. En ese juego, él juega mejor que nadie. Es el campeón de todas las categorías juntas. Sale victorioso de las más graves dificultades. Se adapta a todas las latitudes y a todos los climas. Ahora se está preparando para vivir en el espacio.

Con el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, el hombre modifica considerablemente el planeta en que habita. Acondiciona la naturaleza y transforma el campo. Excepto los paisajes árticos, todas las demás regiones han sido más o menos alteradas por su presencia.

Nada se le resiste. Su influencia se ve fuertemente acelerada por la aparición de la civilización occidental, que ya no siente, al contrario de las culturas tradicionales, respeto por la naturaleza. Gran número de biotopos y de especies vivas están desapareciendo. Los bosques son cada vez más pequeños y las zonas verdes se convierten en aparcamientos. El asfalto y el hormigón son las manifestaciones de esta nueva y amenazadora monotonía.

Monet en Argenteuil, Seurat en Louveciennes; conozco desde hace mucho tiempo los nombres de estos lugares mágicos que inspiraron a los pintores impresionistas. ¡Qué decepción y qué tristeza cuando vi por primera vez las orillas del Sena! Al placer de contemplar esos cuadros se mezcla hoy una nota de pesar y de angustia; pesar por el montón de cosas estropeadas, angustia por el porvenir de los lugares que aún conservan su vegetación. ¿En qué se convertirán, en los próximas décadas, los umbríos senderos de Malicorne? La amenaza que pesa sobre ellos los hace, a mis ojos, más preciosos aún.

Antes del hombre, unos diques naturales servían para mantener los equilibrios inestables engendrados por la competencia y la lucha por la supervivencia. Al inventar la estrategia de la inteligencia, la naturaleza los ha puesto fuera de servicio. El ser humano puede desobedecer las órdenes genéticas. Puede eliminarse a sí mismo, exterminar a sus congéneres, incluso a la especie entera. Hoy cuenta con los medios para hacerlo.

En el mundo del pequeño Homo sapiens todo es desmesurado. Existe, íntimamente mezclado, lo sublime y lo horrible. Existen, en potencia, Wolfgang Amadeus Mozart y Adolf Hitler.

En la naturaleza, el impulso reproductor manifiesta una imaginación ilimitada. Ha dado nacimiento a una extraordinaria gama de estrategias sexuales.⁷² Esta fantástica vitalidad, que ha propagado las especies vivientes por todos los rincones del planeta, acarrea hoy el riesgo de una superpoblación explosiva. Surge el espectro de la expansión, a escala planetaria, de los barrios de chabolas de El Cairo y Calcuta. La superficie de la Tierra es limitada. Su capacidad de alojamiento no es infinita. Pero la naturaleza no parece saberlo.

Conforme a lo que hemos decidido anteriormente, volvamos a ver ahora esa segunda parte a partir de los dos puntos de vista paradójicos.

Vista desde el ángulo del «hombre fuera de la naturaleza», la llegada del ser humano parece una catástrofe cósmica. Nuestro planeta está «infestado» de hombres que parecen decididos a sabotear la admirable armonía de la naturaleza. Muy bien podrían conducirla a su esterilidad inicial, cuya imagen nos ofrece la Luna cuando, por la noche, la observamos con prismáticos.

Desde el ángulo del «hombre en la naturaleza», el ser humano se muestra, en esta segunda parte, como el revelador de las fases sombrías de la naturaleza. Es la prueba irrefutable de su comportamiento irreflexivo, similar al del aprendiz de brujo de los cuentos de nuestra infancia. Pone de manifiesto su irresponsabilidad y su falta de conciencia planetaria. Muestra su ceguera con respecto al letal callejón sin salida en el que se encuentra.

Llevado por su propia política de invenciones y su obsesión por crear siempre lo más complejo y lo más eficaz, la naturaleza parece haberse metido en una situación que muy bien podría volverse en su contra. Ha puesto en el mundo una especie nefasta capaz de neutralizar los instintos reguladores que asegurarían la

perennidad de la vida terrestre. Una especie que ya está en condiciones de exterminar la vida sobre la Tierra. Tal es el sombrío informe que se desprende de esa segunda parte.

El responsable de la naturaleza

La tercera parte comienza hace uno o dos siglos. Los seres humanos adquieren finalmente conciencia de la amenaza que, por su culpa, pesa sobre la vida planetaria. Es el nacimiento de la preocupación ecológica. Mientras el deterioro del paisaje prosigue y se acelera, el ser humano se siente responsable del porvenir de la naturaleza.

Después de un largo pasado de agresión y de brutalidad, después de la extinción de numerosas variedades vegetales y animales, la humanidad manifiesta el deseo de proteger la vida. Algunas especies, que parecían condenadas a la extinción, han sido salvadas in extremis... En Kenia, inmensas poblaciones de flamencos rosas nos hacen olvidar que apenas algunas décadas atrás se los creía desaparecidos para siempre.

Tales acontecimientos merecen ser destacados. En el marco de la evolución cósmica, su alcance se extiende mucho más allá de la vida de las especies en peligro. En relación con la conducta anterior de los humanos, representan una esperanza para el futuro de la inteligencia sobre la Tierra. Es en la escala del universo entero donde esos acontecimientos adquieren su valor simbólico.

Desde el ángulo del «hombre fuera de la naturaleza», el ser humano es considerado, en esta tercera parte, como aquel que puede salvar a la naturaleza. Le es necesario, como al maestro brujo del cuento de hadas, ir en ayuda del aprendiz de brujo. Debe recuperar el control de una situación explosiva. La humanidad está obligada hoy a hacerse cargo del porvenir de la complejidad. Es su misión dirigir los formidables, pero irresponsables, impulsos creadores de la naturaleza.

Desde el ángulo del «hombre en la naturaleza», vemos, en esta tercera parte, cómo la naturaleza toma conciencia del callejón sin salida en el que se ha adentrado. Se siente forzada a superarse a sí misma y abandonar esa obsesión por los resultados a los cuales hasta ahora estaba subordinada. Se sitúa en el campo de los valores. Gracias al desarrollo del sentido moral entre los seres humanos, la naturaleza abre los ojos y se hace responsable. El hombre es la conciencia de la naturaleza.

Una jurisdicción de la complejidad

Encontramos aquí el tema de este capítulo: *el desarrollo de la organización requiere una legislación a su medida*. Contrariamente a «lo infinitamente grande de las estrellas» y a «lo infinitamente pequeño de los átomos», «lo infinitamente complejo de la vida» no viene dado de una vez y para siempre. Es frágil y se halla permanentemente amenazado. Su jurisdicción debe adaptarse a la inextricable madeja de la psique humana. De ningún modo encontraremos ahí la simplicidad y la elegancia olímpica de las leyes de la naturaleza. Es importante asociarle una sutil y tolerante dependencia, más próxima a la realidad humana.

En oposición a las órdenes genéticas de las hormigas, ineluctables e insoslayables, la legislación de lo infinitamente complejo debe permitir el desarrollo de los impulsos fértiles que han conducido al crecimiento de la complejidad y a la aparición de la inteligencia humana. Debe ser lo suficientemente flexible como para encuadrar y promover la creatividad, e integrar, a la vez que respetar, las paradojas y las facetas contradictorias de la realidad.

Consciente de las sombras maléficas que la naturaleza ha acumulado por encima de sí misma, esta legislación debe canalizar, sin neutralizarlos, los ciegos «fermentos de la vitalidad cósmica». Conviene, a la vez, nadar y guardar la ropa. Hay que garantizar la coexistencia y la expansión simultánea del *yo*, *del grupo* y *del planeta*.

Ecología y chimeneas

Cuando puedo, me uno a las manifestaciones y a las actividades de los Verdes y de los ecologistas. En la arena política son los únicos que miran lejos. Se preocupan por conservar la habitabilidad y la belleza de nuestro planeta.

Frente a la chimenea de la fábrica, que arroja continuamente columnas de humo al campo, tuvimos un día una larga y fructuosa discusión. Ante ese espectáculo, sentí, como ellos, indignación y cólera. Sin embargo, desde lo alto de nuestra comodidad y de nuestra sensibilidad ecológica, olvidamos con facilidad la otra cara de la moneda. La fábrica da de comer al pueblo al que inunda con su hollín. Durante las grandes hambrunas medievales, el cielo estaba limpio y el campo sin polución.

Debemos preservar el medio ambiente y la industria. Conservar el esplendor del campo y asegurar nuestra existencia. Como siempre, nada será fácil.

Un caso concreto: el aborto

Podemos ilustrar esta dificultad mediante un ejemplo concreto: el problema del aborto. Quisiera presentar el resultado de unas reflexiones muy personales sobre este tema.⁷³

A la pregunta: «¿A partir de qué momento se aplica la palabra matar?», hay que responder, en mi opinión: desde la unión del gameto masculino y el gameto femenino. Después de la concepción, comienza una historia de desarrollo continuo que no permite ningún recorte. El aborto es un asesinato.

La madre, para justificarse, puede invocar la «legítima defensa». Pero el niño, si se pudiera expresar, haría valer su derecho a la existencia. Encontramos aquí una situación esencialmente contradictoria, donde cualquier razonamiento que pretendiera ser lógico y riguroso sería inaplicable.

La experiencia del pasado muestra que la mayoría de las mujeres implicadas abortarán sea cual sea la legislación del lugar. El modo de hacerlo puede ser, sin embargo, muy diferente. Sobre una mesa de cocina, con instrumentos improvisados, si el acto está prohibido; en una clínica aséptica y con todos los administrículos de la medicina moderna, si está autorizado. Esta observación basta, en mi opinión, para justificar una actitud tolerante frente al aborto.

Lejos de la serenidad de los átomos, de las moléculas y de los planetas, la ley más sabia irá más allá de las exhortaciones de una utópica lógica, para insertarse, lo mejor posible, en los meandros de una realidad contradictoria.

Garantizar y promover el desarrollo de la complejidad

Algunos regímenes totalitarios han dicho que todo lo que no está prohibido es obligatorio. En condiciones sociales en que una legislación todopoderosa no deja lugar a la libertad, no es posible ninguna novedad, ninguna creatividad. Cuando la ideología oficial pretende imponer sus directrices a los artistas, los resultados son lamentables.

A la inversa, la organización de la vida personal sería casi imposible en una sociedad perfectamente anárquica. Imaginemos tan sólo el embotellamiento que reinaría si, en un supremo impulso libertario, se derogaran las leyes de tráfico.

La realidad concreta plantea problemas precisos. Toda jurisprudencia refleja cierta visión del mundo. Aquí destacaremos que sólo una sociedad regida por leyes flexibles y poco restrictivas puede asegurar a la vez la organización de la vida y el desarrollo de la creatividad. Es la fórmula que la naturaleza utiliza desde hace quince mil millones de años. A ella debemos la riqueza y el esplendor de nuestro cosmos.

Contrariamente a las leyes de los átomos y de las estrellas, las leyes humanas no son universales ni inviolables. Prolongan las leyes físicas en la gestación y la dirección de nuestro universo. Se inscriben en el paisaje cósmico como garantes de la complejidad, resultado de miles de millones de años de evolución universal.

X Un campanario por encima de las hayas púrpuras

*La Naturaleza es un templo cuyos vivientes pilares!
dejan salir a veces confusas palabras;
el hombre pasa a través de bosques de símbolos
que lo observan con miradas familiares.
CHARLES BAUDELAIRE*

El campanario de Malicorne se puede ver desde muy lejos en cualquier parte de la región. Su silueta gris se recorta nítida en el paisaje, por encima de los campos de trigo. Las campanas tocan a cada hora del día y de la noche. Sus llamadas a la oración nos devuelven a la memoria el fervor religioso de tiempos pasados. En la actualidad, la puerta de la iglesia, casi siempre cerrada a cal y canto, nos envía otro mensaje: el campanario ha sobrevivido a la tradición.

La imagen de ese campanario anticuado nos trae a la mente numerosos interrogantes sobre las tumultuosas relaciones que han mantenido siempre la ciencia y la religión. Siguiendo el hilo de nuestros paseos campestres, procuraremos situar la función religiosa en el marco de la evolución cósmica. ¿Qué sentido adquirirá ahora ese carillón de alegres notas que se alza en pleno campo?

¿Dios ha muerto?

El historiador Plutarco cuenta la siguiente historia. Durante una tempestad, el capitán de una nave oyó una voz que gritaba: «El gran Pan ha muerto...». A su llegada al puerto llevó ese mensaje a los sumos Sacerdotes romanos, que le ordenaron que lo guardara para sí. Aquel mensaje debía ser confidencial. Sólo para los iniciados. Lo fue durante mucho tiempo.

La crítica antirreligiosa reaparece en Occidente con el desarrollo de la ciencia. Apoyándose en su «infallibilidad», la Iglesia endurece entonces su imperio intelectual. Pero pierde un sector de la población «instruida», que será cada vez más importante.

La cotización de la divinidad cae en picado. Cuando Napoleón pregunta a Laplace sobre el lugar de Dios en su teoría del origen de los mundos, éste responde: «Sire, no he necesitado esa hipótesis». A fines del siglo XIX, Nietzsche proclamará la muerte de Dios.⁷⁴ (En este capítulo nos cruzaremos varias veces con los planteamientos de Nietzsche.) La religión no es más que un frágil escudo contra la angustia de la muerte. Su persistencia se debe únicamente a la ignorancia de lo verdaderamente importante de la realidad. Una mera honestidad intelectual impone a todas las personas expuestas al discurso científico la obligación de abandonar cualquier forma de creencia religiosa. Con una buena educación, cualquiera dejará de creer en Papá Noel.

El vídeo es un instrumento instructivo, a veces cruelmente revelador. En el transcurso de un debate televisado sobre el origen de la vida, una novelista preguntó: «¿Y dónde está Dios en todo esto?». Malestar general. «¡Ah, qué horror!», responde un eminente académico. Coge su propia obra y lee un pasaje muy apropiado para hundir la nariz de esa indigna mujer en su inmundicia pregunta. El cámara pasea su objetivo sobre la sabia comunidad, parapetada ahora en su silencio. Cuando el moderador aborda otro tema, se produce un respiro. La prueba ha terminado. Volvemos a estar entre personas bien educadas. Más recientemente, un astrofísico que había osado confesar sus creencias religiosas por la televisión obtuvo esta respuesta por parte de un colega condescendiente: «Su caso "compete" a las ciencias humanas...».

¿Ciencia o religión?

Mi actividad como divulgador de los conocimientos científicos me sitúa regularmente en el núcleo de esta problemática. Los turnos de preguntas que siguen a mis conferencias suelen adquirir dimensiones de auténticos debates. Muchas personas expresan ahí sus dudas y sus posiciones filosóficas.

La preocupación de Napoleón, expresada más o menos abiertamente, acostumbra a salir a la superficie. ¿La síntesis de las ciencias que yo presento en la conferencia deja un lugar para la divinidad? Cuando alguien plantea por fin la pregunta, se puede oír un rumor de alivio y de aprobación. Alguien ha dicho las palabras que nadie osaba pronunciar.

Disipemos en primer lugar el malentendido que nos revela una pregunta muy habitual: «¿Hay que creer en la ciencia o en la religión?». Esta pregunta significa que, para muchos de nuestros contemporáneos, la ciencia se presenta como una creencia. Se trataría de escoger entre dos creencias opuestas e incompatibles.

La ciencia no es una «creencia». Contrariamente a las enseñanzas reveladas de las religiones tradicionales, no esperamos de nuestros estudiantes que acepten sin pruebas nuestras afirmaciones. Tanto como enseñar las teorías, nuestra tarea es desarrollar en ellos ese espíritu crítico, marcado de escepticismo y de rigor, sin el cual las ciencias no tendrían progreso alguno. Son muchos los estudiantes que nunca llegan a asimilarlo... Porque muchos son los educadores que tampoco lo han logrado...

Roles diferentes

La ciencia no es una creencia religiosa, y Dios no es una hipótesis científica. ¿Qué ocurre, pues, con las enseñanzas religiosas frente a las enseñanzas científicas? Nos plantearemos primero cuáles son los roles respectivos de la ciencia y de la religión en el campo de la actividad humana.

Tradicionalmente, la ciencia ha tenido como papel informar a los seres humanos sobre la naturaleza del mundo en el que viven. La astronomía, la física, la química y la biología exploran, cada una a su manera, un ámbito de la realidad. Desmontan los mecanismos naturales para luego hacer con ellos una síntesis coherente.

La ciencia, en tanto que ciencia, no se interesa por el problema de los «valores». Es indiferente a las cuestiones del «bien» y del «mal». Carece de juicios morales.

Puede enseñarnos cómo hacer bombas atómicas o manipulaciones genéticas, pero no puede responder a la pregunta moral: ¿debemos o no fabricar artefactos nucleares o emprender un programa de ingeniería genética? Ni siquiera la decisión de «hacer o no hacer ciencia» pertenece al ámbito de la ciencia.

Paralelamente con el mundo por descubrir, cada uno de nosotros se enfrenta con la cuestión fundamental que es la de la vida por vivir. Debemos afrontar los problemas permanentes de la existencia humana: la enfermedad, el sufrimiento, la guerra, la muerte. Con la evolución de las sociedades van surgiendo nuevos conflictos a los que hay que hacer frente. Se deben crear nuevas relaciones a todos los niveles: familiar, profesional, nacional, internacional. Hay que adoptar normas e inventar legislaciones para que la vida sea vivible y permanezca como tal.

¿En qué tipo de sociedad queremos vivir? ¿Qué forma de existencia deseamos crear para nosotros y nuestro hijos? Tal es el marco en el que deben insertarse y resolverse los problemas planteados por el desarrollo de las ciencias y las técnicas. Esas cuestiones van desde la elaboración de los arsenales militares hasta la construcción de pantanos en el Loira o líneas eléctricas en el San Lorenzo. ¿Debemos, por fuerza, realizar todo lo que, gracias a la técnica moderna, sabemos y podemos hacer? Tales son los interrogantes que se nos plantean y para los cuales la ciencia es incapaz de darnos respuestas.

Ese terreno de los valores y las normas está tradicionalmente asociado con la moral y la ética. Desde el punto de vista histórico, fue un conjunto de religiones variadas y distribuidas en la superficie del globo quien se hizo cargo de él. Y siempre ha mantenido estrechas relaciones con los sistemas filosóficos y metafísicos.

En pocas palabras, la ciencia es el terreno de la adquisición de los conocimientos como tales, independientemente de lo que signifiquen para nosotros. La religión, en tanto que generadora de una moral, es el terreno de la interpretación de la realidad en relación con nosotros, nuestra situación y nuestro comportamiento.

Encontramos así la idea de *evaluación*, tan cara a Nietzsche. «Lo que importa», escribe este autor, «no es tanto lo verdadero sino lo que ayuda a vivir.» Las teorías deben ser calibradas en relación con su aptitud para ser fermentos de vitalidad.

Las intrusiones territoriales: (a) la religión invade la ciencia

Estas consideraciones parecen delimitar, por lo menos en sus grandes ejes, los ámbitos respectivos de la función científica y de la función religiosa. Podemos entonces preguntarnos cuál es el origen de los conflictos históricos entre científicos y religiosos.

En el origen de numerosas disputas se hallan las intrusiones territoriales. Repetidas veces, los religiosos han invadido el territorio de la ciencia. A partir de unas enseñanzas reveladas pretendieron saber «cómo está hecho el mundo».

Esas disputas se han avivado, en general, al producirse nuevos descubrimientos científicos. Los representantes de las religiones oficiales ponen entonces obstáculos a las ideas nuevas. Se comportan como si una modificación de la enseñanza tradicional equivaliera a un cuestionamiento del conjunto de los valores cristianos. Como si el hecho de renunciar a un elemento de la cosmogonía bíblica fuera a provocar el desmoronamiento del cristianismo.

A comienzos del siglo XVII, el Vaticano juzga a Galileo en sus tribunales. El nuevo sistema solar de Copérnico amenaza las enseñanzas de la Iglesia. Es impensable que la Tierra, el lugar donde Cristo se encarnó, no sea el centro del universo. Al precio de una retractación poco elegante, Galileo evitará los malos tratos pontificales. No podrá evitar, sin embargo, quedar en arresto domiciliario en Arcetri, cerca de Florencia. Hace algunos años el Vaticano reabrió el proceso. Más vale tarde que nunca...

Pocos años antes, Giordano Bruno había tenido menos suerte. El pleito estribaba sobre una cuestión que aún está a la orden del día en astronomía: la dimensión del universo. «Sólo Dios es infinito», decían los teólogos de la época. «El Dios en el que creo es más poderoso que el vuestro», respondía Bruno, «ha creado un universo infinito.» Tanto por su herejía como por sus sarcasmos, Bruno fue quemado en Roma en el año 1600.

La teoría de la evolución provoca una nueva confrontación a fines del siglo pasado. Las Iglesias rechazan el origen animal del linaje humano. Solamente los hombres tienen alma. Si el hombre descendiera del mono, habría que extender la redención a todo el reino animal, etc.

Tales debates prosiguen todavía en Estados Unidos, donde los «fundamentalistas» se oponen a la enseñanza de la evolución darwiniana en las escuelas públicas. Pretenden sustituirla por una «teoría creacionista», nacida de una interpretación literal del Génesis. Dios creó el mundo en siete días. Eva fue extraída de la costilla de Adán, etc. En varios estados de Estados Unidos se han entablado procesos judiciales para obligar a los educadores a presentar, en pie de igualdad, la teoría de Darwin y la «teoría creacionista».

Las intrusiones territoriales: (b) la ciencia invade la religión

Paralelamente con las intrusiones de los religiosos en el territorio de la ciencia, también están históricamente registradas varias intrusiones de los científicos en el ámbito tradicional de la moral y de la

religión. Los conflictos aparecen cuando, en nombre de una «ciencia», se quieren establecer criterios de valores e imponer códigos morales.

Nacidas de la teoría darwiniana, las nociones de «lucha por la vida» y de «supervivencia del mejor adaptado» a menudo se han utilizado para legitimar comportamientos inhumanos. Se ha querido ver en ellas la justificación de la competición desmedida y la apología del guerrero.

Entremezclada en todo esto se encuentra la idea de una moral «natural» según la cual *sería conveniente actuar como la naturaleza*. Lo que se observa (o se cree observar) en la naturaleza debe ser aceptado sin discernimiento como la norma de lo que conviene hacer. Idea contra la cual Nietzsche no regateaba sus sarcasmos: «¿Queréis vivir en armonía con la naturaleza? ¡Oh, nobles estoicos, cómo os contentáis con las palabras! Imaginad un ser similar a la naturaleza, pródigo sin medida, indiferente sin medida, sin propósitos ni consideraciones, sin piedad ni justicia, fecundo, estéril e incierto a la vez; concebid la indiferencia misma como un poder, ¿cómo podréis vivir en armonía con esta indiferencia?».(75)

Esta moral natural toma, en ocasiones, las formas más extremas: eliminación de los más débiles por parte de los eugenistas nazis, prohibición de vacunar o de cocer los alimentos por parte de algunas sectas.

Un nuevo ejemplo de intrusión territorial nos viene de los recientes progresos de la etología. Esta ciencia se interesa por el comportamiento de los animales, sus interacciones con sus congéneres y su vida familiar y social. Los etólogos se preguntan, por ejemplo, por qué algunos individuos «aceptan» no tener hijos. ¿Por qué las «hormigas kamikazes» se lanzan a situaciones peligrosas en que corren el riesgo de morir? ¿En qué medida tal comportamiento individual o social es beneficioso para el grupo? ¿En qué favorece a la posibilidad de tener hijos? ¿Cómo les permite alcanzar, indemnes, la edad de tenerlos ellos mismos?

Un grupo de científicos, dirigido por E. O. Wilson, ha propuesto explicar esos hechos en el marco de la «sociobiología». Los tíos o tías solteros aseguran el bienestar de la célula familiar de los «sobrinos». Un pequeño número de guerreros «kamikazes» basta para proteger el hormiguero contra las agresiones exteriores. Pero ¿cómo los interesados llegan a aprender cuál es el comportamiento que deben seguir?

Según esta teoría, estos comportamientos estarían directamente inscritos en los genes de los individuos de una especie dada. Existiría, por ejemplo, el «gen de la agresión», el «gen de la ayuda mutua», e incluso el «gen de la homosexualidad». Esta teoría está lejos de contar con la unanimidad de los investidores.⁷⁶

Wilson, en un polémico libro, ha generalizado esta tesis al conjunto del comportamiento humano.⁷⁷ Una escuela de pensamiento, representada en Francia por la «Nueva Derecha», ha querido ver en esta tesis los elementos de una nueva ética. Muchos comportamientos humanos estarían justificados y legitimados por la afirmación sociobiológica de su origen genético.

Se trata, como ya se habrá comprendido, de una nueva versión de la «moral neutral» que se presenta como una «moral científica». Una vez más, el hecho de decidir «actuar como la naturaleza» no compete a la ciencia sino a una moral. La ciencia, como tal, es incapaz de decirnos si es conveniente actuar como la naturaleza o no. Más que: «¿Es necesario actuar como la naturaleza?», hay que preguntar: «¿En qué momento conviene tomar como modelo a la naturaleza y en qué momento es necesario oponerse?». Esta formulación pone aún más de manifiesto el carácter moral de tales decisiones.

Estos ejemplos históricos de los conflictos entre la ciencia y la religión, ilustran claramente el tema de este capítulo. La ciencia está en su terreno cuando plantea la pregunta: «¿Cómo están hechas las cosas?»; se sale de sus dominios cuando plantea la pregunta: «¿Cómo vivir?». La religión (o toda filosofía moral) está en su

terreno cuando trata el problema de «cómo vivir», y no lo está cuando trata el problema de «cómo están hechas las cosas». Las intrusiones territoriales son las principales fuentes de sus conflictos mutuos.

Las historias santas

Tradicionalmente, cada religión funda su moral en una «historia santa» que los no creyentes denominan «mitología». Esta historia santa proporciona el marco en el que la vida adquiere sentido. De ese marco emergen la sabiduría y la moral específicas de esa religión. Lo que aquí importa comprobar es que esta sabiduría y esta moral no se ponen necesariamente en tela de juicio por causa de las inexactitudes de esta «historia santa».

El cristianismo, por ejemplo, se apoya en la visión bíblica del universo. El Génesis hace una descripción detallada de él. En la actualidad, sabemos que el mundo no fue creado en siete días sino en quince mil millones de años. Eva no salió de la costilla de Adán. Las guerras animales son muy anteriores al pecado del Paraíso Terrenal. El diluvio universal es una leyenda. Josué no detuvo el movimiento del Sol para dar la victoria a los hebreos. Sin embargo, los valores humanos transmitidos por la sabiduría cristiana no quedan en absoluto afectados por ello.(78)

Asimismo, según los Vedanta indios, el universo se destruye periódicamente. Después, como el ave fénix, renace de sus cenizas. Semejante escenario podría corresponder al modelo cosmológico del universo cerrado. En este modelo, la actual fase de enfriamiento se terminaría dentro de algunos miles de millones de años para transformarse en un periodo de recalentamiento gradual. Se produciría entonces una destrucción, por el calor, de todas las organizaciones materiales del cosmos. En la actualidad, la observación de la densidad cósmica no favorece tal modelo. Parece ser que nuestro universo es del tipo «abierto», sin recalentamiento futuro. Pero no importa. Este «error» no cuestiona la religión vedántica. Gracias a su enseñanza, millones de seres humanos han encontrado, a pesar de todo, una sabiduría que los ha guiado a lo largo de su existencia.(79)

Roles diferentes pero no sin relaciones

Aquí se impone una distinción importante, que parece contradecir los argumentos precedentes sobre los distintos roles de la actividad religiosa y la actividad científica. Aunque la ciencia no sea portadora de valores, tiene como rol instruir a quienes tomen decisiones morales. Antes de legislar, resulta esencial someter cualquier tema a un análisis riguroso. Una legislación social, que —pretendiendo apoyarse únicamente sobre los principios— descuidara el comportamiento de las poblaciones, correría el riesgo de ser inaplicable e inaplicada.

Volvamos por un momento al caso del aborto, que hemos examinado en el capítulo anterior. Algunas encuestas sociológicas y psicológicas preliminares establecerán el número de casos anuales. Describirán las condiciones en que se practica el aborto, según las reglamentaciones en vigor. Esos datos, obtenidos por los métodos científicos tradicionales, estarán presentes en la mente de los legisladores. No para tomar la decisión en su lugar —esos datos no son portadores de valor—, sino para esclarecer todas las facetas del problema sobre el que deberán tomarse decisiones morales.

Moral, ciencia y visión del mundo

El desarrollo de los conocimientos científicos puede repercutir, de un modo aún más profundo y más sutil a la vez, sobre el terreno de la moral y la religión.

Algunos datos de la ciencia alteran nuestra manera de ver el universo y de situar en él al ser humano. Surgen entonces unas «visiones del mundo», susceptibles de influir en el pensamiento filosófico y moral.

En el Capítulo VI describí la sombría visión del porvenir del mundo que, a comienzos de nuestro siglo, parecía emerger de las teorías de la termodinámica: estaba condenado a la muerte térmica. En su libro *Religión y ciencia*, el matemático Bertrand Russell extrajo algunas conclusiones filosóficas a este respecto.⁸⁰ «No existe una ley del progreso cósmico, sino sólo una oscilación de arriba abajo con una lenta progresión de conjunto hacia abajo, debido a la difusión de la energía. Por lo menos eso es lo que la ciencia considera actualmente como lo más probable, y a nuestra desengañada generación no le cuesta trabajo creerlo. En el estado actual de nuestros conocimientos, ninguna filosofía optimista puede estar fundada en la evolución.»

Esta visión pesimista del mundo ha pesado mucho sobre varios movimientos filosóficos de nuestro siglo. A su vez, algunos de esos movimientos han dejado sus huellas distintivas en las decisiones y elecciones de las sociedades occidentales.

Como hemos visto a propósito de las «mariposas sobre un campo de colza», en la actualidad se comprende de un modo diferente la termodinámica del universo. Después de Russell, se ha conocido el papel profundamente innovador de la fuerza de la gravedad. Gracias a ella, aparecen continuamente energías nuevas, listas para proseguir la evolución de la complejidad.

La visión del mundo resumida por Russell llevaba en su seno los gérmenes de un pesimismo desengañado que no ha causado pocos estragos. La visión que parece surgir de la cosmología contemporánea es más movilizadora. Nos incitaría más a promover la elevación de la naturaleza hacia las altas cumbres de la complejidad. Atravesamos actualmente una situación de crisis. Nuestra biosfera está amenazada por el armamento nuclear y la contaminación industrial. En este contexto, esta nueva óptica nos impulsaría a proteger, por todos los medios, la vida sobre la Tierra. A garantizarle las mejores condiciones de completo desarrollo. Haremos todo lo posible para que los capullos de las flores continúen abriéndose.

¿Estamos verdaderamente solos?

El problema del origen de la vida es otro terreno en el que los conocimientos científicos pueden influir sobre las elecciones morales. Convencidos de su extrema improbabilidad, los biólogos han afirmado muchas veces que estamos solos en el universo. Esta opinión podía autorizar a Camus a decir que nosotros somos «extranjeros», y a Sartre, que «estamos de más». Jacques Monod escribirá a su vez: «La materia no es lo esencial de la vida y la vida no es lo esencial del hombre».

Desde hace algunas décadas, las opiniones han evolucionado. A la luz de recientes observaciones astronómicas y de experimentos de laboratorio, la aparición de la vida parece mucho menos improbable. Numerosos son los investigadores que piensan en la actualidad que, cuando las circunstancias lo permiten, la vida es más o menos inevitable.

Desde el punto de vista de la radiación fósil, lejos de ser «extranjeros», somos los hijos del universo; los hijos e hijas de las estrellas que engendraron los átomos de nuestro cuerpo. Nuestra presencia nos vincula a

los fenómenos más violentos del cosmos: hundimiento de la materia galáctica, explosiones de estrellas gigantes, dispersiones de sus cenizas en tumultuosos torrentes de nebulosas interestelares, colisiones de asteroides que condujeron a la formación de la Tierra en los primeros tiempos del sistema solar. La toma de conciencia de la posición del ser humano en ese vasto movimiento de organización de la materia nos permite encontrar nuestras raíces profundas en la evolución del cosmos.

Esta visión del mundo, que muestra la inserción del hombre en el vasto movimiento de organización universal, puede aclarar de manera específica las elecciones morales de los genes y de las sociedades. Los «extranjeros en el universo» habrían tenido derecho a rechazar cualquier responsabilidad sobre el porvenir de la biosfera. A la inversa, los «hijos del cosmos» están directamente implicados en su futuro. Les corresponde hacerse cargo de la ordenación de nuestro planeta. Les incumbe velar por el pleno desarrollo de la complejidad cósmica.

Esta relación del hombre y del universo concede una doble importancia a los conocimientos científicos y a la prosecución de los programas de investigación. La ciencia no solamente nos dice cómo está hecho el mundo, sino que nos facilita también los documentos indispensables para preparar unos informes que nos iluminen en nuestras decisiones morales. Por añadidura, las «visiones del mundo» que se desprenden de los conocimientos en una época dada influyen en el pensamiento filosófico de esa época y, de rebote, en lo que se ha llamado muy adecuadamente «el espíritu de las leyes». Ya hemos desarrollado este punto más detalladamente al hablar de la chimenea en el campo (Capítulo IX).

Recordemos, sin embargo, una vez más, que esos hechos, en sí mismos, no son portadores de valores morales. Cualquier decisión de atribuirles un valor (como en el caso de las «normas naturales») se sitúa fuera de los atributos de la actividad científica.

A propósito de la sobreestimación de los conceptos

Del mismo modo que se puede reprochar a algunos religiosos el haber hecho de Dios un objeto de beatería, también se puede reprochar a algunos teólogos el haberle convertido en un concepto.

Entre las causas de conflictos entre la ciencia y la religión, hay que señalar también la confianza desmesurada en el poder del pensamiento conceptual como norma del universo. Esta confianza se basa en la convicción de la existencia de una «verdad» absoluta, expresable en conceptos claros y afirmaciones nada ambiguas.

Esa convicción aparece entre los filósofos griegos, en particular en Platón. Después del nacimiento del cristianismo se extiende al terreno religioso. Se produce entonces una vasta empresa de racionalización de la religión cristiana. El esfuerzo más importante proviene de los escolásticos, sobre todo de santo Tomás de Aquino. Apoyándose en la filosofía de Aristóteles, estos pensadores establecen los fundamentos de una teología cristiana racional. Se prueba en ella la existencia de Dios. Se demuestran sus atributos personales y las modalidades de sus relaciones con los hombres. Esas afirmaciones se convierten luego en «credos». La autoridad suprema de la Iglesia los impone a los fieles. Los «herejes» son perseguidos y, como Giordano Bruno, corren el riesgo de terminar en la hoguera. Por una palabra, o dos o tres, se declara la guerra. Las poblaciones refractarias son pasadas por el filo de la espada.

Durante muchos siglos, la teología y las «ciencias religiosas» han pretendido responder, como las matemáticas, al etéreo ámbito de la lógica pura. Por ello, les resultaba fácil impugnar los datos científicos surgidos de ámbitos menos nobles: la experimentación y la observación.

Encontramos aquí los temas de los primeros capítulos. Al arrimar su navío al de la lógica, el pensamiento religioso se condenaba a sí mismo a sufrir los mismos avatares. Tal como he contado la historia del imperio de los números, se podrían relatar también las peripecias del imperio de las «verdades religiosas»: su encumbramiento, su apogeo y su decadencia.

Correspondería a Kant demostrar, a fines del siglo XVIII, la vanidad de la lógica religiosa.⁸¹ Sobre las cuestiones más fundamentales: la existencia de Dios y la inmortalidad del alma, la razón humana no puede afirmar nada. De pronto, todo el edificio conceptual de la escolástica se derrumba.

Un recorrido análogo al que hemos seguido en los primeros capítulos nos llevaría a buscar el origen de la función religiosa en «el área de juego» tan acertadamente explicitada por Winnicott.

Como la ciencia y el arte, la actividad religiosa es una reconstrucción del mundo. Las numerosas historias santas elaboradas por doquier en la superficie de nuestro planeta tienen un elemento común. Ofrecen, cada una a su manera, una posibilidad de integrar en un marco coherente los acontecimientos de la vida. La realidad es intolerable si no podemos «pensarla». Cuando se le puede dar un «sentido», el sufrimiento y la muerte de los seres queridos pueden llegar a ser aceptables. En ese aspecto, la crítica antirreligiosa tradicional tiene razón. La religión nació de la necesidad de paliar la angustia de la muerte.

Los relatos de esas historias santas no tienen mucho en común. En ellas hay de todo y su contrario. Esta variedad nos muestra la ineptitud de las religiones para decirnos cómo está hecho el mundo. Una interpretación literal del contenido de todas esas historias nos llevaría a la mayor de las confusiones.

La crítica antirreligiosa puede ser puesta en tela de juicio cuando pretende que la religión no es nada más que una actitud de consuelo moral. El hecho de que la necesidad de tranquilizarse ante la angustia de la muerte esté en el centro de la actividad religiosa no permite afirmar que se reduce a ello. Pienso, más bien, que esta angustia es el elemento motor que ha llevado a los seres humanos a interrogarse sobre el sentido profundo del mundo.

Las contradicciones y los «errores» científicos de las historias santas pierden toda importancia cuando se acepta no tomarlas literalmente, cuando se reconoce que utilizan un lenguaje simbólico. Nos parece entonces que cada una, a su modo, nos describe una faceta diferente de nuestro misterioso universo. No son ciencias ni filosofías, en el sentido occidental del término, sino sabidurías en la acepción oriental de la palabra. Ninguna tiene el monopolio de la «verdad», pero cada una toca, en alguna parte, aspectos ocultos de la realidad.

La función religiosa utiliza el lenguaje de una manera que le es propia. Las palabras no son ahí vectores de informaciones precisas, como en la ciencia, ni fuentes de emociones como en la poesía, sino símbolos que nos vinculan con un mundo desconocido (véase la nota 38 del Capítulo IV). Tomemos, por ejemplo, la palabra «dios». Este término encierra, por lo general, la intuición de una presencia misteriosa, que no puede reducirse al intelecto. Kant tiene razón cuando dice que no se puede probar que exista o que no exista.

La mayoría de los creyentes ya lo han comprendido perfectamente. Así como abandonó su imperio geográfico, la Iglesia de Roma ha renunciado a dominar el mundo intelectual. Pocos creyentes niegan hoy las aportaciones de la ciencia en nombre de las «verdades» religiosas. Pocos cristianos sustentarían el argumento que Nietzsche, burlándose de ellos, ponía en su boca: «La ciencia no puede ser verdadera pues niega a Dios. Luego no procede de Dios, luego no es verdadera, ya que Dios es la verdad» (véase nota 75).

Saturno y la experiencia del mundo

En Malicorne, cuando las noches son claras, observamos el cielo con un pequeño telescopio. Varios amigos y amigas han visto por primera vez Saturno o la galaxia Andrómeda. Para muchos es una fuerte impresión. Quedan profundamente emocionados.

Sin embargo, todos, o casi todos, habían visto fotos en colores, indudablemente más ricas y más detalladas que la minúscula imagen de mi pequeño telescopio. ¿Por qué esa impresión?

Las respuestas son numerosas y los comentarios variados. Por ejemplo: «En el telescopio se ve de verdad, mientras que los libros no nos dan más que reproducciones». También: «En el cielo se tiene una sensación de profundidad que la imagen no proporciona. El cielo tiene tres dimensiones, mientras que la página es de dos dimensiones». O también: «En el fondo desconfiamos un poco de lo que se publica».

Ninguna de esas respuestas es verdaderamente convincente. Con la primera, uno está tentado de recordar que nuestro ojo percibe siempre la imagen, tanto la del telescopio como la del libro, mediante fotones que inciden sobre la retina. Con la segunda, que a la distancia de Andrómeda o de Saturno, nuestro sentido de la tercera dimensión resulta por completo inservible. Con la tercera, que nuestra desconfianza respecto de la NASA o de los grandes observatorios astronómicos parece en la actualidad poco plausible. ¿Quién puede sospechar que falsifiquen sus documentos?

Pienso que la verdadera fuente de la emoción se sitúa en otro lugar. Tal vez haya que considerar ese elemento misterioso e inexplicable que podemos llamar «nuestra relación íntima con la realidad». Creo que la experiencia religiosa es del mismo orden.

Dios ya no es lo que era

La insistencia con que los asistentes a mis conferencias astronómicas ponen sobre el tapete la cuestión religiosa me parece altamente significativa. Si yo debiera resumir en pocas palabras la impresión que me queda en ello, diría que, lejos de estar muerto, Dios está muy vivo y presente entre nuestros conciudadanos. Pero ya no es lo que era. Su posición ha cambiado profundamente. Su reino ya no es del ámbito del intelecto. Ya no es la «Verdad». «¿Qué es la verdad?», preguntaba Poncio Pilato hace dos mil años. Esta pregunta insidiosa ha prevalecido por encima del pulpito de infalibilidad instaurado en Roma.

Ahora Dios se sitúa en otro lugar. Está en el nivel de las preguntas y ya no en el de las certezas. Su lugar está en el viaje interior de cada uno de nosotros. Es la trama secreta de ese recorrido que uno prosigue a lo largo de la existencia. Se halla mezclado con nuestras angustias y con nuestras preguntas sobre el sentido profundo de las cosas.

Está en relación con la convicción íntima de que, más allá de lo que se nos da a ver, hay «algo» en lo que estamos profunda, vital y existencialmente implicados. Un «algo» que no sería extraño ni a la violeta de los bosques, los diagramas de Feynman, los campos de exterminio nazis o el Réquiem de Mozart.

A lo lejos, por encima del follaje, veo el campanario de la iglesia de Malicorne. Esta modesta arquitectura, que hace tanto tiempo fue secularizada, permanece todavía ante nosotros como el símbolo de aquello que experimentamos profundamente frente al insondable misterio de la realidad.

APENDICES

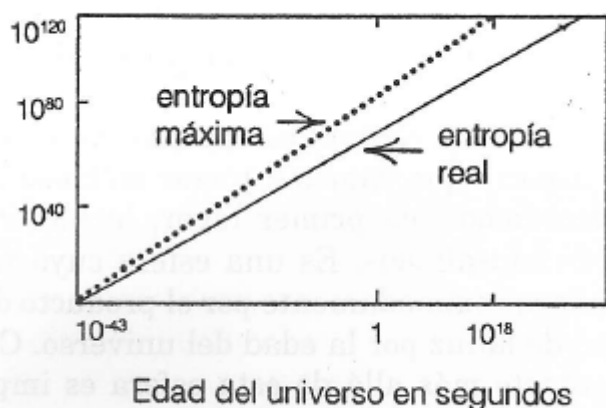
I Entropía máxima y entropía real

En un universo en expansión, la entropía real aumenta menos rápidamente que la entropía máxima. Esto se puede demostrar de la siguiente manera.

Es importante definir correctamente el volumen de espacio que vamos a tomar en consideración. Recordemos, en primer lugar, la noción de «esfera de causalidad». Es una esfera cuyo radio viene dado aproximadamente por el producto de la velocidad de la luz por la edad del universo. Cualquier contacto más allá de esta esfera es imposible. Se dice, igualmente, que el volumen de esta esfera está limitado por «el horizonte cosmológico». La cantidad máxima de energía disponible en un momento dado es la que está contenida en esta esfera. Así pues, para nuestra evaluación debemos escoger el volumen.

La entropía máxima en ese volumen sería obtenida transformando toda la energía que se encuentra ahí en un solo agujero negro cuya masa sería entonces igual a esta energía (por medio de la equivalencia einsteniana). La esfera de causalidad se extiende con el tiempo que pasa, y la cantidad de energía que contiene se incrementa proporcionalmente. La entropía máxima no es, por lo tanto, una cantidad fija y definida. Aumenta con el ritmo de la expansión. Es posible demostrar que se incrementa proporcionalmente al cuadrado del tiempo (es el tiempo llevado a la potencia 2).

La más importante contribución a la entropía real del universo proviene de la radiación fósil. Ésta aumenta asimismo con la esfera de la causalidad, pero más lentamente que la entropía máxima, proporcionalmente a la potencia tres medios ($3/2$) del tiempo, cuando el universo está dominado por la densidad de la radiación, y a la potencia unidad cuando predomina la materia.



Crecimiento de la entropía del cosmos. En la abscisa, se ha representado el tiempo en segundos (unidades logarítmicas) a partir del tiempo de Planck (10^{-43} seg.); en la ordenada se representan la entropía máxima y la entropía real. La diferencia, siempre creciente, da la medida de la información cósmica. Es la fuente de organización del universo.

Resulta de esto que la relación entre la entropía máxima y la entropía real aumenta con la raíz cuadrada del tiempo (potencia $1/2$) cuando predomina la radiación, y linealmente con el tiempo cuando prevalece la materia. De ahí la conclusión de que en un universo en expansión, y por todo el tiempo que dure esa expansión, el estado de entropía máxima no será nunca alcanzado.

II La reversibilidad temporal de los fenómenos físicos: *in vitro* e *in vivo*.

Existe una paradoja, que a menudo se recuerda en física, relacionada con la reversibilidad del tiempo en los procesos físicos elementales, en oposición con la irreversibilidad de los acontecimientos de la vida concreta: derretimiento de un cubito de hielo en un vaso de whisky tibio, estallido de una copa de cristal que cae al suelo.

Esta irreversibilidad está tradicionalmente relacionada con las nociones de situación probable y situación improbable. La palabra clave es: plausible. No es imposible, sino sólo excesivamente improbable que en un vaso de whisky frío un cubito de hielo se forme por sí solo. Es infinitamente más probable ver al cubito de hielo derretirse que verlo formarse. La primera secuencia es, por lo tanto, elegida porque es plausible, mientras que la segunda no lo es.

Consideremos como acontecimiento tipo de una reacción elemental de la física la difusión elástica de un electrón por otro electrón. En el estado inicial, los dos electrones se aproximan; en el estado final, se alejan. Las ecuaciones que describen esta reacción se convierten en el estado final de la segunda, y a la inversa.

Se dice a menudo que la flecha del tiempo no está inscrita en este acontecimiento simple: el pasado y el futuro son indiscernibles. Este acontecimiento se encuentra en un estado de reversibilidad con relación al tiempo (reversibilidad temporal).

In vitro* e *in vivo

Pero mirémoslo más de cerca. Hemos olvidado voluntariamente todas las demás interacciones que esos electrones tienen con el resto del universo. Las hemos aislado mentalmente. Hemos hecho lo que los biólogos denominan una experiencia *in vitro*.

La situación *in vivo* es diferente. El universo no está vacío. El espacio se encuentra lleno de radiaciones. Está, en primer lugar, la radiación cosmológica a 2,7 K (la radiación fósil) compuesta por fotones de energía próxima al milielectrón-voltio.

La teoría del Big Bang prevé igualmente la existencia de «radiaciones fósiles» de neutrinos y de gravitones. A esto hay que añadir las energías denominadas «del vacío cuántico»: partículas virtuales ligadas a las fluctuaciones de los campos cuánticos representando las diferentes interacciones de la física. En otras palabras, las reacciones en dos cuerpos son ficciones teóricas inaplicables en la realidad.

La intensidad de esos campos está, a su vez, vinculada a la densidad de la materia cósmica. *Y ésta decrece con el curso del tiempo*. Es el elemento cuyo papel preciso con respecto a la flecha del tiempo tenemos que identificar aquí.

Se podría estar tentado de seguir la pista siguiente. Tomemos en consideración el hecho de que, en el marco *in vivo*, nuestros electrones de prueba están sujetos a interacciones con esas partículas suplementarias. Por corta que sea la trayectoria prevista, el electrón tiene una probabilidad no nula de ser

afectado, introduciendo una alteración de su trayectoria. Esta alteración no es la misma en la secuencia inversa puesto que, en el caso «verdadero», la densidad decrece durante el recorrido, mientras que en la secuencia «invertida» crece.

Sería inexacto, sin embargo, deducir que hemos encontrado en ello un medio de identificar la dirección de la flecha del tiempo. Todo lo que sabemos es que una de las secuencias se cumple en un universo que se enfría, mientras que la otra se produce en un universo que se calienta. Simplemente hemos aprendido a relacionar la trayectoria de una partícula con la dinámica del universo.

La expansión y la irreversibilidad

La expansión, como fenómeno dinámico que actúa sobre el conjunto de las galaxias, es un fenómeno reversible. La flecha del tiempo no está verdaderamente inscrita en ella. No crea entropía. Su inversión temporal, la contracción, también está descrita por las ecuaciones reversibles del modelo cosmológico.

Supongamos, para fijar las ideas, que nuestras dos partículas de prueba son dos electrones de alta energía de radiación cósmica. La interacción de esas partículas con los fotones milimétricos de la radiación fósil provoca la emisión de una secuencia de fotones ultravioletas (*bremsstrahlung*) que frenan de manera progresiva su movimiento. En la secuencia «verdadera», los electrones absorben los fotones milimétricos, y emiten los fotones UV que causan su desaceleración. En la secuencia «invertida», absorben fotones UV procedentes del mundo exterior que los aceleran, mientras emiten fotones milimétricos. El fenómeno de una secuencia de fotones UV que llegan del cosmos justo al punto deseado para acelerar los electrones sobre su trayectoria es suficientemente improbable como para revelar la flecha del tiempo.

Pero ¿qué relación hay entre la expansión del universo y la desaceleración de los electrones de la radiación cósmica a lo largo de su trayectoria? El elemento esencial es que esos electrones tienen una energía muy superior a la de la radiación fósil en la cual se desplazan. La materia universal no está en un estado de equilibrio térmico donde, como promedio, todas las partículas tuvieran aproximadamente la misma energía y donde las colisiones aceleradoras fueran tan plausibles como las colisiones desaceleradoras.

Ésa no era la situación en el pasado muy lejano, muy denso y muy caluroso de nuestro universo. En aquella época, la materia estaba en equilibrio térmico y reaccional. Las reacciones de tipo $A+B \rightarrow C+D$ inducidas por las diferentes interacciones estaban en equilibrio con las reacciones inversas $C+D \rightarrow A+B$ (es decir, también frecuentes).

Si bien la expansión como fenómeno dinámico es reversible, es también, sin embargo, la que de manera indirecta resulta responsable de que se produzcan los regímenes de desequilibrios térmicos y reaccionales que existen en nuestro universo contemporáneo. Una de las características de esos regímenes es el hecho de que en ellos se dan los términos «plausible» y «no plausible». Algunas reacciones son probables, mientras que las inversas son improbables. Gracias a la existencia de esos regímenes podemos identificar la flecha del tiempo (por la desaceleración de los electrones de la radiación cósmica, por ejemplo).

¿Cómo conduce la expansión a la instauración de los regímenes de desequilibrio? De un modo general, esto proviene del hecho de que el ritmo de expansión y enfriamiento de la materia cósmica es demasiado rápido como para permitir a las diferentes interacciones mantenerse en su estado de equilibrio primordial. Si en la actualidad hay partículas cuya energía supera a la energía media de los fotones de la radiación fósil (los electrones de la radiación cósmica, por ejemplo), es gracias a la instauración de esos estados de desequilibrio y, en consecuencia, gracias a la expansión.

En resumen, aunque la expansión sea un fenómeno reversible, es indirectamente responsable de la instauración de los regímenes de desequilibrio que inscriben la flecha del tiempo en todos los fenómenos de la realidad, a partir del momento que admitimos estudiarlos en su contexto real.

Revisemos ahora el caso de estudio: los electrones están *in vitro*, es decir, arbitrariamente aislados de todas las interacciones que no sean entre sí. Además, se extinguen todas las interacciones que no sean la electromagnética.

En la práctica, esto equivaldría a poner los electrones en un recinto hipotético perfectamente vacío y perfectamente aislado con respecto a todas las interacciones. Incluso si tal recinto fuera realizable, el estudio de la situación física nos llevaría a redefinir el sistema estudiado. Éste consistiría ahora en la suma de los dos electrones y del recinto mismo. Sin embargo, este recinto interactúa con el mundo exterior, y en ese sentido estaría sometido a los desequilibrios mencionados anteriormente. Por lo tanto, volvemos al caso precedente. No hay reversibilidad ni *in vitro* ni *in vivo*.

III Fluctuaciones cuánticas y mitologías pitagóricas

Alguna vez se ha expuesto la idea según la cual nuestro universo podría haber nacido de una «fluctuación cuántica» que provocó o acompañó a un «desgarramiento del espacio-tiempo», y cuya manifestación sería todo cuanto nosotros observamos: galaxias, estrellas, planetas, átomos, moléculas y también organismos vivos, plantas y animales, y entre ellos, desde luego, nosotros mismos con nuestro cerebro interrogador. Nada más tentador entonces que identificar esta fluctuación con el paso de la «nada» al ser, y pretender haber encontrado una explicación a la célebre pregunta de Leibniz sobre por qué hay «algo» más bien que «nada».

Recordemos, antes de proseguir, lo que son esas famosas fluctuaciones cuánticas de las que aquí se trata. Aparecen en el marco de la física atómica tal como fue formulada, en particular por Werner Heisenberg entre 1929 y 1930. Se observa entonces que la teoría cuántica impone límites a la definición de ciertas propiedades de la materia. En especial, en el caso de un sistema inestable, es decir, no existente más que durante cierto tiempo (un átomo radiactivo como el uranio, por ejemplo) enuncia la imposibilidad de *definir* (y, en consecuencia, *determinar*) con una precisión extremadamente grande *a la vez* la energía de ese sistema y la duración de su existencia. Cualquier mejora de la precisión de uno de esos dos parámetros se hará en detrimento de la posibilidad de determinar exactamente el otro parámetro.

Añadamos enseguida que esta curiosa propiedad, llamada «indeterminación cuántica», no es un artefacto que uno podría quitarse de encima fácilmente. Está imbricada en la textura misma de la teoría. Negarla equivaldría a negar la teoría en bloque. Vista la extraordinaria eficacia de esta teoría, eso sería lamentable.

En física se denomina «vacío» a un volumen de espacio en el que no se ha puesto ninguna materia, ninguna energía. La física cuántica enuncia entonces una afirmación bastante asombrosa: semejante volumen no puede permanecer vacío, durante un periodo finito, sin violar la relación de indeterminación. De lo contrario, podríamos determinar con exactitud a la vez la cantidad de energía del sistema físico que representa ese volumen en el caso una cantidad nula y la duración de existencia de ese sistema.

Se observa, en efecto, que se «crean» entonces, espontáneamente, energías denominadas «energías del vacío». Si el lector está asombrado, que sepa que los físicos lo han estado antes que él. Ahora ya se han acostumbrado... La naturaleza tiene comportamientos algunas veces muy extraños. Hay que aceptarla tal como es...

Esas energías se manifiestan generalmente por la aparición de pares de partículas, por ejemplo, de electrones y de positrones. La energía implicada en la aparición de uno de esos pares es de un millón de electrones-voltios. Después de un tiempo muy breve, ese par «se aniquila» y el sistema recupera su estado inicial. El fenómeno, denominado «fluctuación cuántica», se reproduce así numerosas veces. Se dice que el vacío «ronronea». Ese ronroneo afecta en particular a la energía de los átomos que podrían sumergirse ahí (efecto Lamb). Las observaciones de laboratorio confirman con gran precisión la realidad de esos fenómenos.

La creación de nuevas partículas no está limitada a los pares de electrones y de positrones. Pueden también crearse y aniquilarse pares de partículas mucho más masivas. Las relaciones de indeterminación implican que cuanto más masivas son las partículas, más breve es la duración de la existencia del par. El límite está dado por la masa de Planck (alrededor de 20 microgramos).

Este fenómeno asombroso sugiere naturalmente la idea de que el universo entero podría haber nacido de una fluctuación cuántica. En el marco de la cosmología cuántica, esta idea toma la forma de un modelo de universo que incorpora todas las propiedades de la materia.

Sin embargo, cabe preguntarse si tal enfoque tiene alguna relación con la pregunta de Leibniz. El procedimiento consiste en encarar, en un primer tiempo, un universo vacío en el que algunas fluctuaciones cuánticas podrían, en un segundo tiempo, haber introducido una cantidad de materia apropiada. En otras palabras, la «nada» de la que se quiere hacer salir el «algo» es un universo que, aunque vacío, obedece ya plenamente a las leyes de la física... Pues sólo en el marco de esas leyes pueden producirse las fluctuaciones cuánticas.

En otras palabras, y siempre dentro del espíritu de los interrogantes de Leibniz, se supone que el tiempo, el espacio y las leyes de la física preexisten a la materia, y que podrían ser consideradas como «nada», en tanto que la materia, únicamente, merecería ser denominada «algo». Esta preexistencia supuesta no deja de evocar para nosotros el mito pitagórico del que se ha hablado en el primer capítulo de este libro.

Conviene recordar aquí que, contrariamente al «vacío» de la física, la «nada» de la metafísica se considera como verdaderamente vacío. Es decir, no implica ni el tiempo, ni el espacio, ni sobre todo el reino previo de las leyes de la física. La nada no es nada...

Esta discusión recuerda la quinta confesión de san Agustín. A propósito de la pregunta: «¿Qué hacía Dios antes de la creación del mundo?», él evoca en primer lugar, para mostrar su desaprobación, una respuesta tradicional en el siglo V: preparaba el infierno para aquellos que iban a intentar así penetrar en los secretos divinos. San Agustín es un espíritu iluminado que alienta las preguntas. Su respuesta es que la pregunta no tiene sentido. Ésta supone que el tiempo existía antes de la creación del universo, ese tiempo en el que se preguntaban qué hacía Dios ahí. El tiempo, dijo san Agustín con acentos einstenianos, es indisoluble de ese universo de materia con el que aparece en el momento de la creación.

El mismo tipo de consideración se aplica a los modelos de universos-hijos sobre los que se ha hablado en estos últimos años. Inspirados por las propiedades de los agujeros negros, se utilizan las propiedades de los

campos de gravedades muy intensos para engendrar universos nuevos, completamente desconectados del nuestro, pero siempre en un contexto en donde la física generadora preexiste a todos esos recién nacidos.

NOTAS

Capítulo 1

1. Acerca de la ciencia antigua, recomiendo Pythagore superstar de Luciano de Crescenzo, J.C. Lattis, 1985, así como Les Penseurs grecs auant Socrate, Flammarion, 1964.
2. Esto recuerda extrañamente el trabajo de la informática moderna, que evalúa el número de «píxeles» requeridos para registrar y transformar un documento.
3. Roger Penrose, un cosmólogo inglés interrogado en Scientifie American, de noviembre de 1989, pág. 18, confiesa «estar de acuerdo con Platón sobre el hecho de que la verdad está incorporada en las matemáticas y existe en alguna parte, independientemente del mundo físico e incluso del pensamiento humano». «Los científicos», añade, «no inventan la verdad, la descubren.» Véase The Emperor's New Mind, Oxford University Press, 1989.

Sobre un tema análogo, Louis de Broglie escribe: «El inventor tiene, de golpe, el sentimiento muy claro de que las concepciones a las cuales acaba de llegar, en la medida en que son exactas, existían ya antes de haber sido pensadas por el cerebro humano». Le Continu et le Discontinú en physique moderne, Albin Michel, 1941, pág. 81. [Continuidad y discontinuidad en Física moderna; Espasa-Calpe.]

4. Citado en Morris Kline, Mathematics: the Loss of Certainty, Oxford University Press, 1981. [Matemáticas. La pérdida de la certidumbre; Siglo XXI España, 1985.]
5. Descartes, Meditations metaphysiques, Classiques Larousse, pág. 71. [Meditaciones metafísicas; Aguilar, 1962.] He aquí el texto exacto con algunos párrafos complementarios: «... concibo una infinidad de particularidades respecto de los números, las figuras, los movimientos y otras cosas semejantes, cuya verdad aparece con tanta evidencia y concuerda tan bien con mi naturaleza que, cuando comienzo a descubrirlas, no me parece que aprendo algo nuevo, sino más bien que me acuerdo de lo que ya sabía antes, es decir, que percibo cosas que ya estaban en mi mente, aunque aún no hubiese dirigido mi pensamiento hacia ellas.

»Y lo que encuentro aquí más digno de destacar es que hallo en mí una infinidad de ideas de ciertas cosas que no pueden considerarse una pura nada, aunque tal vez no tengan existencia alguna fuera de mi pensamiento, pero que tienen sus verdaderas e inmutables naturalezas.

»Como, por ejemplo, cuando imagino un triángulo, aunque no haya quizás en ningún lugar del mundo fuera de mi pensamiento tal figura ni jamás la haya habido, no deja sin embargo de haber cierta naturaleza o forma o esencia determinada de esa figura que es inmutable y eterna, que no he inventado y que de ningún modo depende de mi espíritu; como se pone de manifiesto en el hecho de que pueden demostrarse diversas propiedades de ese triángulo, a saber, que sus tres ángulos son iguales a dos rectos, que el ángulo mayor está sostenido por el lado mayor, y otras propiedades semejantes, las cuales ahora, quiéralo o no,

reconozco muy claramente y muy evidentemente que están en él, aun cuando no las haya pensado previamente de ningún modo cuando imaginé por primera vez un triángulo, y por consiguiente, no puede decirse que las he imaginado e inventado.

»Y no cabe aquí la objeción de que tal vez esta idea del triángulo ha llegado a mi espíritu por intermedio de mis sentidos, porque he visto algunas veces cuerpos de figura triangular, pues puedo formar en mi espíritu una infinidad de otras figuras, de las cuales no puede haber la menor sospecha de que jamás se me hayan puesto delante de los sentidos...».

Capítulo 2

6. Los lingüistas me dirán que el término inventar, del latín invenire, quiere decir «encontrar» y, en consecuencia, «descubrir». Aquí le doy su sentido más tradicional, próximo a «crear».

7. He aquí, a este respecto, la opinión de algunos grandes pensadores y matemáticos, citada en Morris Kline, *Mathematics: The Loss of Certainty*, op. cit.

Dedekind: «Nosotros [los matemáticos] tenemos el poder de crear».

Weierstrass: «El verdadero matemático es un poeta». Wittgenstein: «El matemático es un inventor y no un descubridor».

El mismo Morris Kline: «El hecho de que los números negativos, irracionales e imaginarios no sean deducciones a partir de descubrimientos empíricos, ni entidades que existan con toda evidencia en algún mundo exterior, muestra bien que el matemático es un inventor».

8. Desde hace algunos años se ha creado un nuevo campo de las matemáticas alrededor de «las teorías del caos». Tendremos ocasión de hablar de ello en la segunda parte del libro. Se ha podido demostrar en ese ámbito que el número de sistemas matemáticos implicados en la descripción de la realidad es mucho más elevado de lo que se creía hasta entonces. En particular, nuevas geometrías, llamadas «fractales», resultan ser de gran utilidad para describir fenómenos físicos que se creían hasta entonces irreductibles a una formulación matemática. La palabra «fractal» indica que esas geometrías no son de dos o tres dimensiones sino de números fraccionarios de dimensiones, como, por ejemplo, 1,63...

9. Bertrand Russell, *Portraits from Memory*, 1958.

10. Stephen Hawking, *Une breve histoire du temps*. Flammarion, 1989. [Historia del tiempo; Crítica, 1990.]

11. Desde luego, semejantes temperaturas son inalcanzables con la técnica contemporánea. Es más que dudoso que alguna vez se llegue a reproducirlas en el laboratorio. ¿Cómo se conoce la existencia de estas dificultades? Porque encontramos incoherencias inaceptables en la propia formulación matemática. Como por ejemplo, algunos cálculos de probabilidades que dan respuestas infinitas.

12. R. Pirsig, *Traite du zen et de Ventretien des motocyclettes*, Le Seuil, 1984. [Zen y el arte del mantenimiento de la motocicleta; Noguer, 1978.] Sería mejor plantear la pregunta de otra manera: «¿Una piedra colocada junto a otra piedra sumaban dos piedras en la época de los dinosaurios?». La formulación

de Pirsig implica la existencia del «dos». Hasta la existencia de «la unidad» en aquella época puede ponerse en duda.

13. Encontré esta cita en el libro de Rémy Chauvin, *Dieu des fourmis, Dieu des étoiles*, Préaux-Clercs, 1988. [Dios de las hormigas, dios de las estrellas; Edaf, 1989.]

14. También es posible ilustrarla situación pidiendo al dúo «cerebro» y «pensamiento» que nos hagan el número del reloj y el relojero.

En un primer movimiento, el «pensamiento» se interroga sobre sí mismo y descubre que es generado por el «cerebro», una especie de máquina de producir el pensamiento. No hay pensamiento sin cerebro, como no hay reloj sin relojero. Gracias, Voltaire.

Pero el «cerebro» nos dice que toda máquina responde, por lo general, a un plan cuya elaboración presupone la acción anterior del «pensamiento».

15. J. Piaget, *Psychologie et Epistémologie*, Gauthier, pág. 145. [Psicología y epistemología; Ariel, 1981.] Pondré en duda, de paso, el carácter reduccionista de la forma negativa: el universo no es conocido por el hombre más que a través de la lógica... Sobre este tema prefiero las visiones más holistas, la de Saint-John Perse por ejemplo.

16. Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos; Four Billion Years of Evolution from our Microbial Ancestors*. Summit Books, Simón and Schuster, Inc., Nueva York.

Capítulo 3

17. Léase a este respecto el Capítulo 10 de *Physics and Beyond*, de Werner Heisenberg, Harper Torchbook, Nueva York, 1972.

18. Recordemos que las aves son los descendientes de los reptiles y, por lo tanto, primas de los dinosaurios. Como humorada, se podría responder a Pirsig que, después de todo, los dinosaurios quizá sabían ya que dos y dos son cuatro...

Capítulo más asombroso aún es el referente a los conocimientos musicales de las aves. Aparte de los seres humanos, son los únicos en el reino animal que saben cantar. Algunos investigadores van más lejos y pretenden que los tordos, por ejemplo, tienen un lenguaje musical bastante cercano al nuestro. Szoke, un etólogo alemán, habría descubierto, al analizar su canto, la presencia de quintas y de octavas, elementos musicales que han fundado la intuición pitagórica. Esta afirmación, hay que reconocerlo, no parece haber encontrado hasta ahora el asentimiento general de los etólogos. Es una pena, habría dicho sin alegría Pitágoras. Como quiera que sea, esas aves no saben, seguramente, que para alcanzar las octavas es necesario reducir a la mitad la longitud de las cuerdas vocales. Más vale así, por lo demás, si creemos en la sabiduría de esta fábula china: El ciempiés estaba feliz, muy feliz. / Hasta el día en que un sapo burlón / le preguntó: ¿Dime, te lo ruego, / en qué orden colocas tus patas? / Esto lo preocupó tanto y tanto / que ya no sabía cómo hacerlo, / y permaneció inmóvil en su agujero.

19. Deleuze escribe a este respecto: «La psicología empírica está fundada por una topología trascendental». Se está tentado de responder que la topología trascendental es en sí misma una elaboración del espíritu humano y que en ese sentido depende a su vez de la psicología empírica...

20. Claude LéviStrauss, *L'Homme nu*, Plon, 1971, pág. 616. [Mitológicas IV. El hombre desnudo; 1976.]
21. ¿Qué ocurre en ese instante en el cerebro? Los neurofisiólogos nos han enseñado la importancia, para el funcionamiento cerebral, de las conexiones entre las neuronas (sobre esto volveremos más adelante). A lo largo de la vida se hacen y se deshacen conexiones entre las células de nuestra corteza. Cabe imaginar que la «iluminación» del descubrimiento está asociada con la aparición de nuevas conexiones. Pero ¿qué relación existe entre una conexión y el acceso a una nueva noción? ¿Cómo un enlace permite comprender que lo que importa es que no queda ni un gota de agua en el primer vaso cuando se ha llenado el segundo y que, en consecuencia, ambos vasos tienen el mismo volumen?
22. Jean-Claude Bringuier, *Conversations libres avec Jean Piaget*, Laffont, 1976. [Conversaciones con Jean Piaget; Gedisa, 1985.]
23. Sigmund Freud, *Un souvenir d'enfance de Léonard da Vinci*, Gallimard, coll. «Idees», 1977 [«Un recuerdo infantil de Leonardo de Vinci», *Obras completas*, vol. V; Biblioteca Nueva, 1972], y Arno Stern, *La Mémoire organique*.
24. Observemos de paso la situación un tanto paradójica en la que esta investigación se sitúa forzosamente. Es con su propio cerebro como los científicos procuran comprender el funcionamiento del cerebro. La sombra del dúo de chistosos «cerebro» y «pensamiento» se perfila de nuevo en el horizonte. Pero la ambigüedad de esta situación no ha impedido nunca a los hombres y las mujeres de ciencia poner manos a la obra. Afortunadamente. A su manera, los investigadores modernos son los exploradores temerarios de los siglos pasados que se ponían en camino sin miedo a las grandes ollas negras de los caníbales de nuestros libros infantiles.
25. Para quienes quieran ir más lejos, aconsejo la lectura de *The AmazingBrain*, de Robert Ornstein y Richard Thompson, Boston, Houghton, Mifflin, Co. Tanto por su sencillo texto como por las magníficas ilustraciones de David Macaulay, este libro es una pequeña obra maestra de pedagogía.
26. Mediante conexiones denominadas dendritas, cada neurona recibe impulsos procedentes de otras neuronas. Estos impulsos pueden llevarla a «descargarse» hacia otras neuronas por medio de una conexión única llamada «axón». Envía entonces por este axón un impulso eléctrico. En el extremo del axón se localiza una pequeña expansión que recibe el nombre de sinapsis. La sinapsis no está en contacto directo con las dendritas (receptoras) de las otras neuronas. Entre ambos constituyentes hay un espacio llamado «espacio sináptico», que es franqueado no por impulsos eléctricos sino por moléculas situadas en la sinapsis y que el impulso eléctrico libera a su llegada.
27. Algunos estudios recientes parecen haber puesto de manifiesto el papel de las conexiones dendríticas en la formación y el registro de un recuerdo (*Scientific America*, julio 1989). El aprendizaje de un nuevo reflejo tendría como efecto reducir el umbral de excitabilidad de un conjunto de conexiones neuronales. Encontramos ahí una idea antigua: los recuerdos se inscriben en el cerebro como los surcos sobre un acantilado. A fuerza de caer por ellos, las aguas los van erosionando y dejan huellas cada vez más profundas.
28. Encontramos en Lévi-Strauss una ideología bastante análoga a la de esos famosos compartimientos vacíos. El ve en ello la manifestación de una inmensa relojería a escala de la humanidad entera. El estructuralismo habría de alguna manera desmontado, en unidades de «compartimientos vacíos», los

mecanismos de esa relojería. En un plano filosófico —aunque se niega a hacer filosofía— ve la evidencia de una especie de determinismo del comportamiento humano, poco compatible con la idea de la libertad y de la autonomía individual.

Lévi-Strauss escribe: «El yo no es solamente odioso, no hay lugar entre un nosotros y un nada». En esta óptica, el análisis etnológico tendría por objetivo y por efecto mostrar que el «yo» es una ilusión, que de hecho no somos más que manifestaciones de un todo colectivo y que el «yo», finalmente, no existiría (también encontramos este tema en Foucault, en Freud, y muy anteriormente, en toda la filosofía zen).

Lévi-Strauss llegó aún más lejos en la interpretación de sus investigaciones durante un intercambio literario con el filósofo Jean-Paul Sartre. A éste, que lo trataba de «esteta», le respondió: «Nosotros aceptamos ese calificativo de "esteta" por cuanto creemos que el fin último de las ciencias no es construir al hombre sino disolverlo».

Pero ¿qué quiere decir la palabra «disolver» en la pluma de Lévi-Strauss? En otra parte recuerda que disolver está próximo a disolvente. Entramos en el lenguaje químico. Nos recuerda el agua que disuelve los cuerpos sólidos —haciéndoles perder así su identidad— en gran número de moléculas. La idea de Lévi-Strauss sería entonces la siguiente: bajo la mirada científica, el «yo humano» se disuelve en sus elementos constituyentes.

Se encontrará el pormenor de esta discusión en *Comprendre Lévi-Strauss* de Jean Baptiste Fages, Privat, 1972.

29. Jean-Pierre Changeux, *L'Homme neuronal*, Fayard, 1983; y Hachette-Pluriel, 1984. [El hombre neuronal; Espasa-Calpe, 1986.]

30. Ya a comienzos de siglo, William James reconocía la existencia de esta nueva mitología y se encolerizaba contra sus grandes sacerdotes. «Algunos de nuestros positivistas no dejan de machacarnos con la idea de que, ahora que todos los dioses y los ídolos se han derrumbado, una y solo una divinidad se ha mantenido, cuyo nombre es la Verdad científica...

Esos señores, muy concienzudos, creen haber roto las cadenas de sus inclinaciones subjetivas. Pero se equivocan. Simplemente han hecho una elección entre esas inclinaciones... el sistema molecular, al cual han sacrificado todo lo demás.»

31. Según Minsky (citado en *Les Vrais Penseurs de notre temps* de Guy Sorman, Fayard, 1989): «No habría oposición entre la materia y la mente puesto que es la materia la que produce la mente según leyes que deben ser descubiertas». Para completar el círculo vicioso, basta añadir: «La materia produce la mente que produce las leyes que organizan la materia para permitirle producir la mente...».

Capítulo 4

32. En *Anthropologie structurale*, Pion, 1968 [Antropología estructural; Paidós Ibérica, 1987], Lévi-Strauss escribe: «El inconsciente está siempre vacío o, más exactamente, es tan extraño a las imágenes como el estómago a los alimentos que lo atraviesan».

Con respecto a su desacuerdo con Jung, dice (Fages): «La prueba de la insuficiencia de los enfoques de Jung es que los mitos, a pesar de su apariencia creativa, arbitraria, abundante, se parecen de un extremo al otro de la Tierra». Nunca comprendí en qué una cosa prueba la otra...

33. «Conscience du corps», Cahiers jungiens de psychanalyse, Ns 55, 1987, pág. 1.

34. Tuve oportunidad de entrevistar a Françoise Dolto poco antes de su muerte. Su trayectoria y su trabajo la situaban exactamente en la encrucijada que me interesaba. Terapeuta de niños, rozaba continuamente ese punto de la relación materna en donde el niño se inicia o no en el «aprender» y el «crear». Yo tenía la idea de extraer de esas entrevistas algunos textos que nos hubieran llevado un poco más lejos en la búsqueda del origen del pensamiento. De hecho, de aquel encuentro apasionante nunca pude escribir nada. Más bien asistí a un espectáculo. Estábamos en lo concreto, en las historias de los casos. Variaciones numerosas sobre un tema: rol fundamental del cuerpo, de la relación con la madre, de la palabra, en tanto que condiciones esenciales para el desarrollo del pensamiento.

Todas estas investigaciones nos conducen sistemáticamente a ese continente misterioso que los psicoanalistas denominan «inconsciente», donde la mente se sumerge en el cuerpo del cual emerge luego, a condición de que una madre atenta vele a la cabecera del niño.

35. «La realidad no se puede reflejar en palabras. Considerarla con cierto temor, mezcla de orgullo, como materia en fusión y en fuga, magma existencial, caos permanente (y por definición indiferente al Logos). Aprehenderla como algo que ninguna palabra justa llega a equivaler y que ninguna literatura contiene.

«Todo escritor digno de ese nombre trabaja en la ilusión y la intención megalómana de cercar la realidad y sólo llega, de hecho, a precisar su relación con ella y a tomar posición muy exactamente.»

36. «El concepto de Winnicott de fenómenos transicionales es crucial para comprender cómo el mundo interior está ligado al mundo exterior; el objeto transicional es ese objeto del mundo exterior que contiene o incluye los contenidos intrapsíquicos o los fantasmas. Los objetos culturales... están incluidos como objetos transicionales compartidos», Richard Koenisberg, *Psychanalyse dans la civilisation*, N- 1, oct. 1989.

37. «Cuando todo transcurre bien, la madre tiene en sí misma los recursos que le permiten evitar a su lactante las angustias del "terror sin nombre" que provoca la separación.

»A partir de experiencias primarias positivas irá adquiriendo su función... el objeto transicional (oso de felpa, pañal, pañuelo). El niño normal será capaz de considerar ese objeto como separado de su cuerpo, y... no cerrará completamente la puerta al "no yo".» Francés Tustin, *Autisme et Psychose de l'enfant*, Le Seuil, 1977, citado en *Psychanalyse dans la civilisation*, n9 1, oct. 1989.

38. El físico danés Niels Bohr establece una relación bastante similar entre el lenguaje de la ciencia y el de la religión: «Podría decirse, exagerando, que en religión se renuncia, al comienzo, al deseo de dar un sentido no equívoco a las palabras, mientras que en la ciencia se comienza con la esperanza —o si se prefiere la ilusión— de que un día será posible llegar a eso», citado en *Physics and Beyond*, de Werner Heisenberg, op. cit.

39. «Todas las obras maestras de las matemáticas y de las ciencias físicas nacen de nuestra indomable necesidad de reformular el mundo en nuestras mentes de una forma más racional que aquella en la cual lo presenta la organización primitiva de nuestra experiencia sensorial», William James, *Lectures on Pragmatism* [Pragmatismo; Orbis, 1985]. Tal vez. Pero esto deja por completo abierta la cuestión de saber por qué esa «reformulación» es mucho más eficaz, mucho más predictiva que la forma «primitiva» recogida por nuestra experiencia sensorial.

40. Texto de Malebranche, citado en *Physics and Beyond* de Werner Heisenberg, op. cit: «Las mismas tendencias que sostienen el orden visible del mundo, la existencia de los elementos químicos y sus propiedades, la formación de los cristales y la creación de la vida pueden igualmente haber intervenido en la creación de la mente humana. Son esas tendencias las que hacen que las ideas correspondan a las cosas y que aseguren la articulación de los conceptos. Son responsables de todas las estructuras reales que se separan en un factor objetivo —la cosa— y un factor subjetivo —la idea— cuando los miramos desde nuestro punto de vista humano, cuando pensamos en ellos».

41. De la idea de caos, en el sentido empleado aquí, pienso que puede decirse casi la misma cosa que de la idea de nada con respecto al ser. Bergson escribe que «la nada es una idea destructiva en sí misma, una pseudoidea, una simple palabra». Sartre dice: «No es el ser quien surge del fondo de la nada, es la nada la que es pensada —en tanto que es pensada— sobre el fondo del ser». Estas dos proposiciones, me parece, se aplican bien a la palabra caos en relación con el término organización.

42. «Hay mucho más misterio de lo que a menudo se cree en el simple hecho de que un poco de ciencia sea posible», Louis de Broglie, *Le Continu et le Discontinu en physique moderne*, op. cit., pág. 81.

Capítulo 5

43. En esta analogía he dado al «hoy» dos papeles diferentes: es a la vez el cisne en otro tiempo prisionero en los hielos del determinismo, y el golpe de ala liberador de la teoría del caos.

44. «Debemos contemplar el estado presente del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que le seguirá. Una inteligencia que, en un instante dado, conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza y la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera bastante vasta para someter esos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los más grandes cuerpos del universo y de los más ligeros átomos: nada sería incierto para ella y tanto el porvenir como el pasado estarían presentes ante sus ojos. El espíritu humano ofrece, en la perfección que ha sabido dar a la astronomía, un débil esbozo de esta inteligencia. Sus descubrimientos en mecánica y en geometría, unidos al de la gravitación universal, lo han puesto al alcance de comprender, en las mismas expresiones analíticas, los estados presentes y futuros del mundo», *Essais philosophiques sur les probabilités*, París, Gauthier-Villar, 1921. pág. 3. [Laplace, Pierre Simón, Marqués de; *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*; Alianza, 1985.]

45. Einstein fue uno de los últimos irreductibles del polo necesidad. La creencia en un determinismo absoluto influyó profundamente en toda su visión del mundo, superando ampliamente la esfera de su actividad profesional. Al muerte de su amigo Besso, escribió las siguientes líneas: «Ahora, aunque ha dejado este mundo extraño un poco antes que yo, no importa, porque nosotros, quienes creemos en la física, sabemos todos que la distinción entre el pasado, el presente y el futuro no es más que una ilusión obstinadamente mantenida». (Citado por Fang Li Zhi en *Creation of the Universe*, World Scientific, 1989, *La Naissance de l'Univers*, InterEditions, 1990).

Encuentro este texto a la vez fascinante y profundamente emotivo. Me cuesta imaginar que tal creencia pueda ser una fuente de consuelo frente a la muerte de un amigo.

46. ¿De dónde vienen esos rayos cósmicos? Las estrellas pierden materia continuamente en el espacio. Una pequeña fracción de los átomos expulsados de sus superficies es acelerada hasta energías de mil

millones de electrones-voltios. Las tormentas y las erupciones solares se acompañan de la inyección de partículas rápidas en el sistema planetario.

Estas partículas se propagan luego en la galaxia. Por efecto de los campos magnéticos interestelares, cambian continuamente de dirección perdiendo así la memoria de su lugar de origen. Golpean las partículas de polvo procedentes de todas las direcciones posibles. Los impactos se distribuyen al azar.

47. Según las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, la posibilidad de determinación de la energía de un sistema está vinculada a la duración temporal durante la cual ese sistema será considerado. Una duración temporal de 10^{-43} segundos (tiempo de Planck) corresponde a una indeterminación en energía de 1028 electrones-voltios (energía de Planck, equivalente a la energía cinética de una pelota de tenis lanzada por un campeón). A tales energías, las fluctuaciones cuánticas del campo de gravedad hacen imposibles todas las predicciones sobre el porvenir del sistema. En otras palabras, es físicamente imposible dar la hora con una precisión superior al tiempo de Planck. No se trata de un límite técnico vinculado sólo a la tecnología contemporánea, sino de un límite impuesto por la naturaleza (al menos, tal como la conocemos en la actualidad).

48. Algunos cálculos recientes de Jacques Laskar en el Bureau des Longitudes de París muestran que una incertidumbre de 15 metros solamente en la medida de la posición de la Tierra sobre su órbita (una incertidumbre relativa de 10^{-11} : una parte entre cien mil millones) basta para tornar imposible cualquier predicción de la posición orbital de la Tierra en cien millones de años. Ese mismo trabajo revela, con algunas aproximaciones, que las órbitas de los planetas Mercurio, Venus y la Tierra son caóticas.

49. No siempre es necesario recurrir a gran número de cuerpos para crear las condiciones del caos. En algunos casos, se requiere muy poco. La nota anterior proporciona algunos ejemplos.

50. En este nuevo capítulo hay que incluir un conjunto de nombres y de expresiones muy gráficas. A Edward Lorenz le debemos el descubrimiento y el nombre del efecto «mariposa», publicado en un artículo titulado: «¿El movimiento de las alas de una mariposa en Brasil puede desencadenar un tornado en Texas?».

También están Feigenbaum y la «transformación del pastelero»; Mandelbrot y la geometría fractal; David Ruelle, E. Takens, Michel Hénon y los «atractivos extraños». Leer: *Caos*, de James Gleick, Seix Barral, 1988.

También hay que mencionar el nombre de Ilya Prigogine en relación con las «estructuras disipadoras». Descubrí con cierta sorpresa la existencia de una viva controversia alrededor de su nombre. Tratando de comprender la situación, conversé personalmente con diversos especialistas.

El rechazo no se centra en el cuestionamiento del determinismo absoluto de la física clásica, sino más bien en la contribución real de la escuela de Bruselas a este cuestionamiento.

Se reconoce, por lo general, que los trabajos de Prigogine sobre la termodinámica de los procesos irreversibles han abierto la vía hacia esta nueva óptica. Pero se añade que a los progresos decisivos de la teoría de los sistemas dinámicos hay que incorporar los nombres citados anteriormente (véase «Les ondes chimiques» de Christian Vidal, *La Recherche*, diciembre de 1989).

En sus obras conjuntas, *La Nouvelle Alliance*, Gallimard, 1979, y *Entre le temps et l'Eternité*, Fayard, 1988, Prigogine e Isabelle Stengers han dado a conocer al gran público la resurrección del tiempo en el mundo de la ciencia. Esos libros tienen hoy una profunda influencia sobre los pensadores contemporáneos.

51. El naturalista Buffon, poco estimado por sus distinguidos compañeros físicos, parece aquí haberlos aventajado. En 1783, en su *Histoire naturelle*, escribe: «Todo sucede porque, a fuerza de tiempo, todo se encuentra y porque en la libre extensión de los espacios y en la sucesión de los movimientos, toda materia es agitada, toda forma dada, toda figura impresa; de esta manera, todo se aproxima o se aleja, todo se une o se separa, todo se combina o se opone, todo se reproduce o se destruye por fuerzas relativas o contrarias que son las únicas constantes y, balanceándose sin perjudicarse, animan el Universo y hacen de él un teatro de escenas siempre nuevas y de objetos que renacen sin cesar» (*Histoire naturelle des minéraux*, 1783, tomo 2, pág. 107).

Capítulo 6

52. Para más información sobre el papel de los fotones en la entropía universal, véase *El sentido del universo*, Emecé Editores, 1990.

53. En un sistema físico en donde la energía gravitacional domina las otras formas de energía (por ejemplo, una estrella), el estado isotérmico no es el estado de mayor entropía. La masa de gas aumenta su entropía derrumbándose sobre sí misma. Este desmoronamiento acrecienta la temperatura central, creando así una diferencia de temperatura cada vez más pronunciada entre el centro y la superficie. Por el teorema del virial, es posible captar la cantidad de energía gravitacional liberada en forma de fotones con el acrecentamiento de la energía interna de la estrella, es decir, con el aumento de su temperatura interna. Gracias a esta propiedad particular de la fuerza de gravedad, el universo salió de su isoterminia inicial y las energías del cosmos llegaron a ser utilizables.

54. Se trata, desde luego, de una analogía de orden pedagógico. Esta frase no implica, en particular, que la ciencia, al aprender a hablar ese lenguaje, esté en condiciones de agotar la realidad. Este tema ha sido objeto del primer capítulo.

55. En la actualidad, después de los trabajos de Stephen Hawking, pensamos que los agujeros negros no son verdaderamente negros. Gracias a un efecto cuántico, tienen un brillo térmico cuya temperatura es inversamente proporcional a su masa. Ese brillo podría en un futuro lejano, convertirse en la más importante fuente de información en el universo (véase *El sentido del universo*).

56. Pueden verse soberbias realizaciones en las obras de Claude Nuridsany y Mane Perennou, *Voir l'invisible et Photographier la nature*, Hachette.

57. El factor importante aquí es la estabilidad de las estructuras. Las reacciones entre las diversas partículas tienden a favorecer las estructuras más estables. A medida que el universo se enfría, la monotonía del paisaje caótico inicial da lugar a la gran variedad de especies atómicas y moleculares. Su formación ha sido guiada por el hecho de que son más estables que los constituyentes de donde surgieron.

La física nos enseña que si la búsqueda de estabilidad fuera llevada hasta sus límites, el universo se hundiría de nuevo en la monotonía. A alta temperatura, el estado más estable es la escasez de partículas que revela la observación del pasado lejano. A nuestras temperaturas, el estado más estable es el hierro. Si la evolución de la materia cósmica hubiese estado enteramente dominada por la búsqueda de estabilidad, nuestro universo no contendría hoy ninguna otra cosa que átomos de hierro. Ala monotonía inicial de las partículas elementales, le habría sucedido la monotonía del hierro.

La aparición de la variedad de átomos y de moléculas se debe a la actividad de las fuerzas nucleares y electromagnéticas que procuran engendrar estructuras cada vez más estables.

Esta aspiración ha sido frenada por la instauración del régimen de desequilibrio, sin lo cual la diversidad se habría transformado en una nueva monotonía.

Esos desequilibrios son extraordinariamente fértiles. No contentos con neutralizar la tendencia natural de las fuerzas a la monotonía, abren la puerta a lo nuevo y a lo inédito. Bajo su férula, los resultados de las interacciones siguen siendo ampliamente imprevisibles. Algunas estructuras ya existentes (átomos, moléculas) pueden asociarse para dar nuevos seres, quienes a su vez pueden entregarse al mismo juego.

Capítulo 7

58. Un sencillo ejemplo ilustrará el hecho de que el paso de lo menos probable a lo más probable no implica necesariamente que haya algo nuevo.

Veamos una secuencia filmada en la que, siguiendo nuestro juego, habrá que identificar la sucesión de imágenes correcta. Se filma una partida de dados. En la primera imagen hay dos dados sobre la mesa. Se suman las cifras indicadas. Se lanzan los dados. Se vuelven a ver en la mesa. Se hace de nuevo la suma.

Imaginemos que la suma inicial sea 2 y la suma final 7. Sabemos que la cifra 2 sólo puede ser obtenida a partir de 1 en el primer dado y de 1 en el segundo. La cifra 7 puede obtenerse de seis maneras diferentes: 1+6, 2+5, 3+4, 4+3, 5+2, 6+1. La secuencia de 2 a 7 es más probable que la secuencia de 7 a 2. La secuencia verdadera es probablemente la que comienza con 2 y termina con 7.

Esta secuencia nos muestra que el paso de lo improbable a lo probable no implica en nada que haya algo nuevo. Los seis estados finales eran conocidos de antemano. Se sabía que uno de ellos iba a ser conocido, pero no se sabía cuál.

59. Más exactamente, la gota de tinta tiene tan pocas oportunidades de reconstruirse a partir de los datos iniciales surgidos del cálculo precedente como a partir de cualquier otro conjunto de datos iniciales escogidos al azar

60. Podríamos estar tentados de objetar que el conocimiento demasiado limitado de los datos iniciales es una característica de la computadora y no de la gota. Las moléculas de tinta «conocen» sus posiciones y sus velocidades. Ellas sabrán encontrar el camino de la gota, incluso si la computadora no puede.

Digamos, en primer lugar, que las computadoras se controlan más fácilmente que los vasos de agua. Un buen ordenador, puesto en marcha, puede completar su cálculo con toda serenidad, sin que se introduzcan perturbaciones complementarias. Las moléculas en el vaso no tienen esta seguridad. La menor sacudida, un camión que pasa por la calle vecina, un avión en el cielo, incluso una corriente de aire en la atmósfera de Neptuno bastan para crear una vibración ínfima, pero perfectamente suficiente para alterar las trayectorias. Las «mariposas» tienen siempre la última palabra.

Además recordemos que las moléculas están sometidas a las indeterminaciones cuánticas. Hay un límite natural a la determinación simultánea de sus posiciones y velocidades. Este límite anula la noción de trayectoria perfectamente definida y basta para suprimir cualquier esperanza de que se forme nuevamente la gota. Volvemos a encontrar la situación de nuestro tercer reloj, limitado por el «tiempo de Planck».

61. Se admite en la actualidad que las ecuaciones de la física, tanto clásica como cuántica, son reversibles con respecto al tiempo. Esto significa que, si se reemplaza en su expresión matemática la variable «t» por «t» (inversión de la dirección del tiempo), esto no cambia el enunciado de sus ecuaciones. Lo que se ha descubierto es que esta invariabilidad de las ecuaciones con relación al tiempo no garantiza la invariabilidad de las soluciones de esas ecuaciones con relación a la inversión de la flecha del tiempo.

En otras palabras, aunque las ecuaciones nos den la impresión de que el pasado y el futuro son como una imagen y su reflejo en el espejo, esta impresión no está confirmada por las soluciones de esas ecuaciones, especialmente si se llevan más allá de sus horizontes predictivos.

Esto replantea la pregunta: si en periodos cortos el pasado se parece al porvenir, ¿cómo llegan a distinguirse en los periodos prolongados?

Prigogine ha intentado responder a esta pregunta poniendo en duda la invariabilidad temporal de las ecuaciones mismas. Según él, las ecuaciones tradicionales de la física cuántica —invariantes con relación a la inversión del tiempo— podrían ser sustituidas por un nuevo conjunto de ecuaciones completamente válidas pero que no sean invariantes con respecto a la inversión del tiempo. Pero esto, de momento, aún está por probar.

En este capítulo he procurado demostrar que, en realidad, el pasado y el futuro son diferentes en todas las escalas del tiempo, cortas o largas. Volveré a tratar esta cuestión más detalladamente en el apéndice.

62. El hecho de que la mesa de billar no esté situada al aire libre, a la vista del cielo, no altera fundamentalmente este argumento. La construcción que la alberga se convierte entonces en la intermediaria a través de la cual los fotones infrarrojos se intercambian con el universo.

63. La noción de horizontes predictivos se aplica tanto a los regímenes de equilibrio como a los regímenes de desequilibrio. Pero su efecto «liberador» queda entonces neutralizado.

Concentremos nuestra atención sobre el futuro de un grupo de partículas. El conocimiento de sus posiciones y de sus velocidades en un momento dado nos permite prever su comportamiento durante un tiempo cuya duración está dada por el horizonte predictivo. La configuración que adoptarán más allá de este horizonte se nos escapa. Pero en una situación de equilibrio, las configuraciones se promedian. El resultado global es calculable en todo instante por una simple aplicación de las fórmulas de equilibrio.

Capítulo 8

64. En el otoño de 1989, un satélite, equipado con detectores apropiados, fue puesto en órbita para estudiar con una precisión mucho mayor las propiedades de la famosa radiación fósil. Los primeros resultados asombraron a la comunidad astronómica. Esa radiación corresponde, con una precisión extraordinaria, a las expectativas de los teóricos del Big Bang. Confirma la imagen de un universo antiguo totalmente desorganizado, pero totalmente «termalizado».

65. Empleo consciente y voluntariamente un lenguaje ambiguo a propósito de la naturaleza del ser humano. Por supuesto, el ser humano no puede estar disociado del contexto natural en el que se inscribe. Forma parte de la naturaleza como las piedras y los pájaros. Pero podemos aclarar un poco la situación que nos interesa desprendiéndolo transitoriamente de esa materia universal, a condición de reintegrarlo después. Este tema volverá a aparecer en el Capítulo IX.

66. Sigue abierta la cuestión de saber si esos nuevos instrumentos llegarán a ser vehículos de emociones tan intensas como las que nos transmite la orquesta clásica. El futuro y los creadores responderán a esta pregunta.

67. La palabra griega «cosmos» designaba a la vez el universo, el orden y la belleza del universo. De ahí nuestra palabra «cosmética».

Capítulo 9

68. En Timón de Atenas (acto IV, escena II) Shakespeare nos presenta su visión personal del mundo animal. La coexistencia pacífica y la apacible armonía del paraíso terrestre no parecen tener lugar en él.

«Si fueras león, el zorro te engañaría; si fueras cordero, el zorro te comería; si fueras zorro, el león sospecharía de ti cuando, por casualidad, fueras acusado por el asno; si fueras asno, tu estupidez te atormentaría y no vivirías más que para servir de almuerzo al lobo; si fueras lobo, tu voracidad te mortificaría, y a menudo arriesgarías tu vida por tu cena; si fueras el unicornio, el orgullo y la cólera te perderían y harían de ti la víctima de tu propia furia; si fueras oso, serías matado por el caballo; si fueras caballo, serías atrapado por el leopardo; si fueras leopardo, serías pariente cercano del león, y las señales mismas de tu parentesco conspirarían contra tu vida; tu única salvación sería la huida; tu única defensa, la ausencia. ¿Qué animal podrías ser que no fuese presa de otro animal?»

69. Dicho esto, tal vez la realidad no sea tan simple. Dentro de la escala de la evolución biológica de las especies, nuestras observaciones abarcan unos periodos muy cortos.

70. El comportamiento social de las termitas nos ha servido para ilustrar el poco interés aparente de la naturaleza por los individuos. La «ley del termitero», basada enteramente en el bien de la sociedad, ignora al individuo termita. No se le permitirá ninguna iniciativa. Será sacrificado sin piedad cuando la salvación del grupo lo exija.

¿Qué ocurre en la sociedad moderna a este respecto? El año 1984 evocó el recuerdo de la novela de George Orwell. Con el transcurso de los años, esta fecha ha tomado una connotación fatídica, un vago resabio de «fin del mundo». Está asociada a la imagen de una «petrificación» de la especie humana. Una suerte de muerte de la humanidad. No en el sentido de rigor mortis, sino en relación con lo que nos hace vivir: la libertad, la creatividad, la fantasía.

En mi memoria, la novela de Orwell se ha combinado con Un mundo feliz de Aldous Huxley, para describir las imágenes de nuestra más grande amenaza: el termitero. El espectro del Estado fuerte, impersonal, armado con las técnicas de control de los individuos. Las policías paralelas, los psicólogos del lavado de cerebro y los manipuladores de la genética se asocian para persuadir a cada ciudadano de que «el Gran Hermano te está mirando» y que toda esperanza de libertad no sólo es fútil sino también nociva.

¿Qué ocurre con esas predicciones a comienzos de la década de los noventa? En el plano internacional, afortunadamente, las sombrías predicciones de Orwell no parecen justificadas. Numerosos países europeos y sudamericanos han expulsado a sus dictadores. Huxley lo previó mejor. El espectro del termitero se extiende sobre las mismas democracias. La cantidad creciente de números, de documentos y de papeles requeridos para tener derecho a existir da la medida del control del Estado sobre cada persona. Con el lema «el Estado le desea lo mejor», cada ciudadano es invitado a cobijarse bajo sus alas protectoras, a ser un

«asegurado social» desprovisto de responsabilidades e infantilizado. Muy a menudo son unas burocracias impersonales e incompetentes las que toman unas decisiones cruciales para nuestro porvenir. También ahí el futuro de la creatividad parece estar muy comprometido.

Es del lado de los disidentes donde yo veo el optimismo. Parafraseando el Evangelio, se puede decir que «el temor del Estado es el comienzo de la sabiduría». Conlleva la desconfianza frente a la centralización. Realza las iniciativas personales y el desarrollo de acciones en pequeñas escalas. «Small is beautiful.»

La solución a largo plazo, la esperanza de sobrevivir y de vivir sólo puede derivar del desarrollo personal. Los Estados fuertes reclutan a sus partidarios entre los individuos sin personalidad, vulnerables a la propaganda y al poder de las imágenes míticas. Es el mito del «jefe» (el Führer) que precipitó a la carnicería a millones de jóvenes hitlerianos.

Pero la lucha será larga. Las armas no son exteriores sino interiores. En todos los niveles, los educadores están comprometidos, no para preparar a los futuros peones del Estado, sino para llevar al descubrimiento del yo y de sus potencialidades. Los ciudadanos libres y responsables son nuestra mejor muralla contra el termitero.

71. A lo largo de estas páginas hemos hablado de las tumultuosas relaciones entre el hombre y la naturaleza. Habría sido más justo, tal vez, hablar de las relaciones entre la inteligencia y la naturaleza. Sobre nuestro planeta el ser humano ha desarrollado la inteligencia más que cualquier otra especie viva. En otra parte del universo, la situación podría ser diferente.

La inteligencia ocupa el primer lugar en la lista de las estrategias de supervivencia. Se puede pensar que, como tal, hubiera podido desarrollarse en algunas especies vivientes de la fauna de hipotéticos planetas habitados. ¿Quién sabe si, en el cortejo planetario de la estrella Beta Pictoris, los homínidos no son los cobayas de los cobayas? ¿Quién sabe si cerca de Cape11a, las ratas no los exhiben en sus circos ambulantes? Si tal es el caso, podemos imaginar que esas especies, con un nivel de inteligencia comparable o superior al nuestro, estén confrontadas con nuestros mismos problemas contemporáneos.

72. Le sexe et l'Innovation, de André Langaney, Le Seuil, col «Science ouverte», 1979; col. «Points Sciences», 1987.

73. «¿Por qué se mete en lo que no le importa? ¿Desde cuándo los astrofísicos se sienten autorizados a dar su opinión sobre el aborto?» Creo, personalmente, que este problema es lo bastante importante y difícil como para que todo el mundo se interese por él y dé su punto de vista.

Capítulo 10

74. «Los viejos Dioses murieron hace mucho tiempo. ¡Realmente fue un buen y alegre final!

»A veces se cuenta que agonizaron interminablemente en el crepúsculo. Es falso: ¡literalmente rieron hasta morir!

»Eso ocurrió cuando el mismo Dios pronunció las palabras más indignas de un Dios: "¡No hay más que un Dios! ¡No tendrás otros dioses ante mí!".

»¡Tal fue la insolencia de aquel viejo Dios barbudo y celoso!

«Entonces todos los dioses se echaron a reír y exclamaron sacudiendo sus sillas: "¿El ateísmo no consiste precisamente en que hay dioses, pero no Dios?".» Nietzsche: Así habló Zaratustra.

75. En Más allá del bien y del mal, Nietzsche.

76. Para una crítica inteligente y mesurada de la sociobiología, recomiendo el libro Darwin et les grandes énigmes de la vie, de Stephen Jay Gould, Le Seuil, col. «Points Sciences»,

1984. Gould reconoce las aportaciones positivas de esta disciplina, aunque deja de lado sus excesivas pretensiones.

77. E. O. Wilson en The Nature of Man. [Sobre la naturaleza humana; Fondo de Cultura Económica, 1983.]

78. Muchos creyentes, de diversas religiones, han procurado demostrar que su enseñanza tradicional se adelantó a la investigación científica. Tales esfuerzos implican siempre como corolario que su religión es la única buena y que antes de su advenimiento la humanidad vivía a la espera de la verdad liberadora...

En estos últimos años el mundo islámico está haciendo un esfuerzo considerable para demostrar que el Corán contiene un buen número de verdades científicas, ulteriormente confirmadas por la investigación moderna. En ese sentido, Mahoma habría sido doblemente profeta: profeta de Dios, pero también profeta de la ciencia.

Recientemente tuve ocasión de discutir este punto con un intelectual musulmán de Argelia. Este encuentro fue para mí muy esclarecedor.

Yo quería, sobre todo, comprender por qué aquel hombre instruido y cultivado concedía tanta importancia a tal proyecto. «Si las enseñanzas del Corán tienen su valor propio aunque Mahoma no sea el precursor científico que ustedes quieren ver en él», le dije, «¿por qué se aferran a esta causa tan difícilmente defendible?»

«El Corán contiene a la vez afirmaciones religiosas, políticas y científicas. Si dice la verdad en cuanto a la ciencia, el crédito suplementario que gana con ello recae sobre las otras afirmaciones.»

Esta respuesta me parece que refleja una duda frente al mensaje de su religión. Necesita una doble protección. Para que sea verdaderamente creíble, el mensaje de Mahoma debe contener, a la vez, la sabiduría y la verdad científica.

«Y si descubre que el Corán contiene errores científicos, ¿qué hará usted?»

«Imposible», me dijo, «el Corán no puede equivocarse, pues es la palabra de Dios.»

Me pregunté si aquel hombre estaba verdaderamente convencido.

79. No pretendo, al escribir estas líneas, pasar por alto los aspectos negativos de las religiones a lo largo de la historia de la humanidad. La creación de instituciones religiosas va acompañada, por lo general, de una deformación del mensaje. Introduce elementos conflictivos, como la ambición de poder.

80. Bertrand Russell, Science and Religion.

81. En la Crítica de la razón pura.

Bibliografía

Careri, Giorgio: Order and Disorder in Matter, Londres, Benjamin/Cummings (para apreciar este libro hace falta, al menos, el nivel científico del bachillerato).

Crescenzo, Luciano: Pythagore Superstar, J.C. Lattes, 1981.

Davis, P. C. W.: The Cosmic Blueprint, Cambridge University Press, 1989 (recomiendo muy particularmente este libro).

Dolto, Françoise: Autoportrait d'une psychanalyste, Le Seuil, 1989.

Gleick, James: La Théorie du chaos, Albin Michel, 1988 (una buena presentación de la historia de esta teoría).

Gould, Stephen Jay: Darwin et les Grandes Enigmes de la vie, Le Seuil, coll. «Points Sciences», 1984.

Humbert, Elie: Jung, Editions universitaires, 1983.

Kline, Morris: Mathematics: The Loss of Certainty, Oxford University Press, 1981. [Matemáticas. La pérdida de la certidumbre; Siglo XXI España, 1985.]

Lynn, Margulis y Dorion, Sagan: L'Univers bactériel, Albin Michel, 1989.

Ornstein, Robert y Thompson, Richard: L'Incroyable Aventure du Cerveau, Interéditions, 1987.

Penrose, Roger: The Emperor's New Mind, Oxford University Press, 1989 (nivel de bachillerato).

Prigogine, Ilya y Stengers, Isabelle: Entre le temps et l'éternité, Fayard, 1988 (los primeros capítulos son fáciles; más adelante, las dificultades se acumulan y los esquemas apenas ayudan).

Robin, Jacques: Changer d'ère, Le Seuil, 1989.

Winnicott, D. W'.: Realidad y juego; Gedisa, 1982. Conversations ordinaires, Gallimard, 1988. Les Penseurs grecs avant Socrate, Flammarion, 1964.
