

Hubert Reeves • Joël de Rosnay
Yves Coppens • Dominique Simonnet

EDITORIAL ANDRES BELLO

LA MAS BELLA HISTORIA DEL MUNDO



La más bella historia del mundo

H. Reeves, J. De Rosnay, Y. Coppens y D. Simonnet

Índice

Prólogo

Acto 1 - El universo

Escena 1. El caos

Escena 2. El universo se organiza

Escena 3. ¡Tierra!

Acto 2 - La vida

Escena 1. La sopa primitiva

Escena 2. La vida se organiza

Escena 3. La explosión de las especies

Acto 3 - El hombre

Escena 1. La cuna africana

Escena 2. Nuestros antepasados se organizan

Escena 3. La conquista humana

Epílogo

Prólogo

¿De dónde venimos? ¿Qué somos? ¿A dónde vamos? Son las únicas preguntas que vale la pena plantear. Cada uno ha buscado la respuesta a su modo, en el titilar de una estrella, el ir y venir del océano, la mirada de una mujer o la sonrisa de un recién nacido... ¿Por qué vivimos? ¿Por qué hay un mundo? ¿Por qué estamos aquí? Hasta ahora sólo nos ofrecían una respuesta la religión, la fe, las creencias. Hoy también la ciencia tiene una opinión. Quizás sea una de las mayores adquisiciones de este siglo: la ciencia dispone, en la actualidad, de un relato completo de nuestros orígenes. Ha reconstruido la historia del mundo.

¿Y qué ha descubierto, tan extraordinario? Esto: desde hace quince mil millones de años acontece una misma aventura que une el universo, la vida y el hombre como los capítulos de una larga epopeya. Hay una misma evolución, del Big Bang a la inteligencia, que empuja en el sentido de una creciente complejidad: las primeras partículas, los átomos, las moléculas, las estrellas, las células, los organismos, los seres vivientes, hasta estos curiosos animales que somos nosotros... Todo se sucede en una misma cadena, a todos les arrastra un mismo movimiento. Descendemos de los monos y de las bacterias, pero también de los astros y de las galaxias. Los elementos que componen nuestro cuerpo son los que antaño fundaron el universo. Somos, verdaderamente, hijos de las estrellas.

La idea perturba, es obvio, porque desafía antiguas certidumbres, destroza prejuicios; es así: desde la Antigüedad, los progresos del conocimiento no cesan de situar al hombre en el lugar que le corresponde. ¿Nos creíamos en el centro del mundo? Galileo, Copérnico y los otros nos desengañaron: en realidad habitamos un planeta trivial, situado en los suburbios de una galaxia modesta. ¿Creíamos ser creaciones originales, distantes de las demás especies vivientes? ¡Qué lástima! Darwin nos colgó en el árbol común de la evolución animal... Tendremos que volver a tragarnos nuestro orgullo mal situado: somos las últimas producciones de la organización universal.

Aquí vamos a relatar esta nueva historia del mundo a la luz de nuestros más avanzados conocimientos. En esta narración podremos apreciar una sorprendente

coherencia. Veremos que los elementos de la materia se asocian en estructuras más complejas, las cuales se van a combinar en conjuntos aun más elaborados que, a su vez... El mismo fenómeno, el de la selección natural, orquesta cada movimiento de esta gran partitura, la organización de la materia en el universo, el juego de la vida sobre la Tierra e incluso la formación de las neuronas del cerebro. Como si hubiera una "lógica" de la evolución.

¿Y Dios, en todo esto? Algunos descubrimientos estremecen a veces convicciones muy íntimas. No mezclaremos los géneros, por supuesto. La ciencia y la religión no reinan sobre el mismo campo. La primera aprende, la segunda enseña. La duda es el motor de una; la otra se sostiene en la fe. No es indiferente la una a la otra, sin embargo. Nuestra nueva historia del mundo no evita, muy por el contrario, las preguntas espirituales y metafísicas. Alcanzaremos a ver algo de luz bíblica al cabo de un capítulo, escucharemos el eco de un mito antiguo y nos cruzaremos con Adán y Eva en la sabana del África. La ciencia actualiza la discusión. No termina con ella. Cada uno puede optar.

Nuestro relato se apoya en los descubrimientos más recientes y aprovecha sus revolucionarios instrumentos: sondas que exploran el sistema solar, telescopios espaciales que hurgan la intimidad del universo, grandes aceleradores de partículas que reconstruyen sus primeros instantes... Pero también ordenadores que simulan la aparición de la vida, tecnologías de la biología, de la genética y de la química, que revelan lo invisible y lo infinitamente pequeño. Y asimismo los recientes hallazgos de fósiles y el progreso de la datación, que permiten reconstituir con asombrosa precisión los caminos de los antepasados del hombre.

Si bien se alimenta con los últimos hallazgos, nuestra historia se dirige a todos, y especialmente a los profanos, adultos y adolescentes, sea cual sea el nivel de sus conocimientos. Evitamos toda actitud de especialista, nos prohibimos todo término complicado. Y no hemos vacilado, al modo de los niños, en plantear preguntas ingenuas: ¿Cómo se conoce el Big Bang? ¿Cómo sabemos qué comía el hombre de Cromañón? ¿Por qué el cielo es negro por la noche? No hemos querido creer sin más a los científicos: les pedimos que pongan las pruebas sobre la mesa.

Cada disciplina avanza en busca de un origen: los astrofísicos indagan el del universo; los biólogos, el de la vida; los paleontólogos, el del hombre. Por esto

nuestra historia acontece, como un drama, en tres actos, el universo, la vida, el hombre, y abarca así unos quince mil millones de años. Cada acto incluye tres escenas en que se convoca, en orden cronológico, a todos los actores, inertes o vivientes, de esta prolongada aventura. Los seguiremos en un diálogo con tres personalidades, los mejores especialistas franceses de cada uno de estos asuntos. Hace algunos años, los cuatro esbozamos una primera conversación para el semanario L'Express. ¡Sea alabada esa revista! La experiencia nos abrió el apetito. Tardamos un verano y varias veladas nocturnas en rehacer la aventura del mundo; placentera y apasionadamente. Ojalá el lector pueda gozar del mismo modo.

***Con el primer acto**, entonces, comienza nuestra historia... ¿Pero se puede decir, verdaderamente, "comenzar"? Veremos que esta noción de comienzo no es accesoria, muy por el contrario. Está en el corazón mismo de las discusiones metafísicas y plantea la pregunta la fascinante por el tiempo. La abordaremos mediante el pasado más lejano a que puede acceder la ciencia: por el famoso Big Bang, de hace quince mil millones de años, esa luz oscura y anterior a las estrellas. Y tal como los niños, nos haremos esta pregunta, que es pertinente: ¿qué había antes?*

Desde ese "comienzo", la materia incandescente se combina bajo la acción de fuerzas asombrosas que aún gobiernan nuestro destino. ¿De dónde vienen? ¿Por qué están inmóviles mientras en torno todo cambia? En el curso de todo el relato, van a dirigir el gran mecano universal. Y a medida que el universo se expande y enfría, desatan singulares combinaciones —las estrellas, las galaxias— hasta engendrar, en la periferia de una de éstas, un planeta destinado a un hermoso éxito. ¿Qué son estas fuerzas misteriosas? ¿De dónde viene el movimiento irresistible de la complejidad? ¿Son anteriores al universo?

***Hubert Reeves** nos ayudará a ver claro en esto. El astrofísico, autor de obras maravillosas sobre el tema, es a un tiempo una persona excepcionalmente amable, un científico muy preciso y un gran divulgador. ¿Será así porque, lejos de los ordenadores que pueblan su vida profesional, suele contemplar el cielo de Borgoña con un modesto telescopio, como un simple aficionado? De tanto mirar lejos en el*

espacio, es decir, muy lejos en el pasado, ¿habrá capturado la verdadera medida del tiempo? Va, en cualquier caso, directo a lo esencial: la belleza de una ecuación, el resplandor de una galaxia, la queja de un violín, el terciopelo de un chablís... Quien ha tenido el privilegio de conocerlo en la intimidad lo sabe muy bien: su sabiduría no es fingida. Hubert Reeves es un hombre bueno, es decir, un espécimen en vías de extinción, que se obstina en buscar el equilibrio entre la ciencia y el arte, la cultura y la naturaleza y que sabe que la búsqueda de nuestros orígenes posee una dimensión que ninguna fórmula puede capturar, que no se puede encerrar en una teoría: la de nuestro asombro ante el misterio de la belleza.

El segundo acto se abre, hace cuatro mil quinientos millones de años, en este planeta singular que no está situado ni demasiado lejos ni demasiado cerca de un Sol muy oportuno. La materia prosigue su obra frenética de ensamblajes. En la superficie de la Tierra, en nuevos crisoles, se esboza una alquimia nueva: las moléculas se asocian en estructuras capaces de reproducirse y hacen nacer extrañas gotas pequeñas, y después las primeras células que se agrupan en organismos y se diversifican, pululan, colonizan el planeta, gatillan la evolución animal, imponen la fuerza de la vida.

No es fácil, por cierto, aceptar que la vida haya nacido de lo inanimado. Durante siglos se consideró que el mundo viviente era demasiado complejo, demasiado diverso, en una palabra, demasiado "inteligente" para que pudiera haber aparecido sin una pequeña ayuda divina. Hoy la cuestión está zanjada: resulta de la misma evolución de la materia, no es fruto del azar. ¿Cómo pasamos entonces de lo inerte a lo vivo? ¿Cómo "inventó" la evolución a la reproducción, el sexo y la muerte, compañera inseparable?

Joël de Rosnay es, sin duda, una de las personas en mejores condiciones para responder. Doctor en Ciencias, ex director del Instituto Pasteur, dirige hoy la Ciudad de la Ciencia y de la Industria, y fue uno de los primeros que sintetizó nuestros conocimientos acerca del origen de la vida en una obra que marcó una generación completa. Formado en la química orgánica, pero divulgador por vocación y agitador infatigable, siempre está diez años adelante y difunde en todo el mundo las últimas

ideas. Apóstol de la teoría de sistemas y pionero de la comunicación global, siempre trató de armonizar, él también, ecología y modernidad, mundo viviente y tecnología, como si supiera ver el planeta mejor que sus semejantes, con la distancia necesaria. Ha mantenido la pasión por los orígenes y el rigor del investigador.

En el tercer acto, en un bello decorado de sabana seca, el último avatar de lo viviente ocupa todo el escenario. El hombre, el verdadero... Animal, mamífero, vertebrado y primate, que además es... Ya sabemos de cierto que todos somos monos africanos. Hijos de monos, pues, o, más bien, de ese individuo arcaico que antaño, en África, se irguió por primera vez sobre sus patas traseras y se puso a mirar el mundo desde un punto de vista más alto que el de sus congéneres. ¿Pero por qué lo hizo? ¿Qué pulsión le incitó a ello?

Hace más de un siglo, por cierto, que se conoce nuestra ascendencia simiesca y que se intenta, con dificultades, aceptarla. Pero en estos últimos años explotó la ciencia de los orígenes y se ha sacudido con violencia nuestro árbol genealógico: hasta se han caído algunas especies peludas... Hoy contamos, por fin, con una unidad de tiempo y de lugar para escenificar este tercer acto, el de la comedia humana. Como si hubiera relevado a la materia, el hombre ha utilizado un puñado de millones de años para evolucionar e inventar cosas más y más complicadas: herramientas, la caza, la guerra, la ciencia, el arte, el amor (siempre) y esa extraña propensión a preguntarse por sí mismo, que no cesa de devorarlo. ¿Cómo descubrió todas esas novedades? ¿Por qué se le desarrolló, sin solución de continuidad, el cerebro? ¿En qué terminaron los antepasados que no "tuvieron éxito"?

Yves Coppens, profesor del College de France, cayó muy pronto en la marmita de la paleontología: de niño ya coleccionaba fósiles y soñaba con los yacimientos de Francia. Y no ha dejado nunca de buscar las huellas del paso de sus lejanos antepasados. Ingresó a la ciencia de los orígenes en momentos en que ésta vivía, en África, su mayor epopeya. Junto con otros colegas, puso a la luz del día al más famoso de nuestros esqueletos: a Lucy, la joven (¿y hermosa?) australopiteca, de tres millones y medio de años de edad, muerta en plena juventud. A este buscador

de huesos, amable y bonachón, y a sus colegas, les parece que el nacimiento de la humanidad no fue un accidente, que forma parte del mismo camino del universo del cual somos los últimos florones. Y, tal como sus colegas, conoce la medida del tiempo: ¿qué son nuestros milenios de civilización si se los compara con los millones de años que necesitó el hombre para liberarse de la animalidad? ¿Qué vale nuestra sofisticación actual ante los quince mil millones de años que se precisaron para configurar nuestra complejidad?

Nuestra historia no ha terminado, por cierto. Hasta nos atreveríamos a decir que está comenzando. Pues parece que la complejidad continúa progresando y que sigue galopando la evolución. Así pues, no podemos interrumpir el relato en nuestra extraña época sin antes preguntarnos: ¿a dónde vamos? ¿Cómo va a continuar esta larga aventura que fue cósmica, química y biológica y que ahora se convierte en cultural? ¿Cuál es el porvenir del hombre, de la vida, del universo? La ciencia, por supuesto, no tiene respuestas para todo. Pero puede intentar algunas predicciones prudentes. ¿Cómo seguirá evolucionando el cuerpo? ¿Qué sabemos de la evolución del universo? ¿Hay otras formas de vida? En el epílogo, nosotros discutiremos cuatro.

Una advertencia, todavía: hemos querido evitar toda tentación determinista, todo prejuicio finalista. Que nos perdone el lector si por simplificar las cosas se nos escapan palabras escabrosas: no, no se puede decir que la materia "inventa", que la naturaleza "fabrica" o que el universo "sabe". Esta "lógica" de la organización sólo es una comprobación. La ciencia se niega a discernir allí una intención. Que cada uno lo interprete a su modo. Si bien nuestra historia parece, a pesar de todo, tener un sentido, no se puede afirmar, empero, que nuestra aparición era ineluctable, por lo menos en este pequeño planeta. ¿Quién puede enumerar las pistas infructuosas que siguió la evolución antes de celebrar nuestro nacimiento? ¿Quién puede negar que el resultado actual sea todavía de una fragilidad extrema?

Sí, sin duda es la más bella historia del mundo porque es la nuestra. La llevamos en lo más hondo de nosotros mismos: nuestro cuerpo está compuesto por átomos del universo, nuestras células encierran una porción del océano primitivo, la mayoría de

nuestros genes es común con la de nuestros vecinos, los primates, nuestro cerebro posee los estratos de la evolución de la inteligencia, y, cuando se forma en el vientre materno, el hombre pequeño rehace, aceleradamente, el recorrido de la evolución animal. Es la más bella historia del mundo. ¿Quién podría negarlo?

Pero sea cual sea la visión, mística o científica, que tengamos de nuestros orígenes, sean cuales sean nuestras convicciones, deterministas o escépticas, religiosas o agnósticas, sólo hay una moraleja que valga en esta historia, un solo dato esencial: sólo somos chispas irrisorias en relación con el universo. Ojalá tengamos la sabiduría de no olvidarlo.

Dominique Simonnet

Acto 1 El universo

Escena 1. El caos

La escena es blanca, infinita. Por todas partes, únicamente, hay una claridad implacable, la luz de un universo incandescente, el caos de una materia que aún carece de sentido y de nombre...

¿Pero qué había antes?

Dominique Simonnet: *El comienzo de nuestra historia, el origen del universo del que nos habla la ciencia hace algunos años, es una explosión de luz en la noche de los tiempos. Pero antes de interesarnos en este fenómeno, no podemos dejar de preguntar por lo que había antes.*

Hubert Reeves: Cuando uno evoca el comienzo del universo, choca inevitablemente con el vocabulario. La palabra "origen" nos indica un acontecimiento que se sitúa en el tiempo. Nuestro "origen" personal, por ejemplo, es el momento en que nuestros padres hicieron el amor y nos concibieron. Hay un "antes" y un "después". Podemos fecharlo, inscribirlo en el hilo de la historia. Y aceptamos que el mundo existía antes de ese instante.

— *Pero en el otro caso hablamos del origen de los orígenes, del primerísimo...*

— Esa es, precisamente, la gran diferencia. No se lo puede considerar un suceso semejante a los otros. Nos encontramos en la situación de los primeros cristianos que se preguntaban qué hacía Dios antes de crear el mundo. La respuesta popular era: "¡Preparaba el infierno para los que se hacen la pregunta!"... San Agustín no estaba de acuerdo. Advirtió la dificultad de esa pregunta, que suponía que el tiempo existía "antes" de la creación. Y respondió que la creación no sólo era de la materia,

sino también del tiempo, un punto de vista bastante cercano al de la ciencia moderna. Espacio, materia y tiempo son indisociables. Aparecen juntos en nuestras cosmologías. Si hay un origen del universo, también lo es del tiempo. El "antes", por lo tanto, no existe.

— *Dices "si hay origen del universo"... ¿No es algo seguro, entonces?*

— No lo sabemos. El gran descubrimiento de este siglo es que el universo no es ni inmóvil ni eterno, como supuso la mayoría de los científicos del pasado. Hoy estamos convencidos: el universo tiene una historia, no ha cesado de evolucionar, enrareciéndose, enfriándose, estructurándose. Nuestras observaciones y nuestras teorías nos permiten reconstituir el escenario y retroceder en el tiempo. Nos confirman que esta evolución sucede desde un pasado distante que se sitúa, según las estimaciones, hace diez o quince mil millones de años. Hoy disponemos de numerosos elementos científicos que establecen el retrato del universo en ese momento: está completamente desorganizado, no posee ni galaxias, ni estrellas, ni moléculas, ni átomos, ni siquiera núcleos de átomos... Sólo es un caldo de materia informe a una temperatura de miles de millones de grados. Es lo que se ha llamado el "Big Bang".

— *¿Y antes, nada?*

— No poseemos ningún elemento que nos lleve a un período anterior a ese suceso, ni el menor indicio que nos permita retroceder más en el pasado. Todas las observaciones, todos los datos de la astrofísica se detienen en la misma frontera. ¿Significa esto que el universo "comenzó" hace quince mil millones de años? ¿El Big Bang es verdaderamente el origen de los orígenes? Nada sabemos.

— *Sin embargo, eso se enseña en las escuelas: el universo comenzó con el Big Bang, una explosión formidable de luz, hace quince mil millones de años. Y también lo repiten los investigadores desde hace unos años...*

— Quizás nos hemos expresado mal y no se nos ha comprendido. Podríamos hablar de un comienzo, de un verdadero comienzo, si estuviéramos seguros de que antes de ese acontecimiento no había nada. Pero, a esas temperaturas, no podemos

aplicar nuestras nociones de tiempo, espacio, energía y temperatura. Nuestras leyes ya no funcionan y nos hallamos completamente desprovistos.

— *Parece una coartada de científicos, ¿verdad? Cuando se cuenta una historia, siempre hay un comienzo. Y como ahora hablamos de la "historia" del universo, no es estúpido buscarle un comienzo.*

— Todas las historias, entre nosotros, han tenido, por cierto, un comienzo. Pero conviene desconfiar de las extrapolaciones. Se puede decir lo mismo del reloj de Voltaire: su existencia demostraba, según él, la existencia de un relojero. Este razonamiento, impecable a escala nuestra, ¿sigue siéndolo para el "reloj" del universo? No estoy seguro. Y habría que saber, además, si, como dice Heidegger, nuestra lógica es la instancia suprema, si los argumentos que valen en la Tierra se pueden extrapolar a todo el universo. La única pregunta verdadera es la de nuestra existencia, la de la realidad, la de nuestra conciencia: "¿Por qué hay algo en lugar de nada?", se pregunta Leibniz. Pero se trata de una pregunta puramente filosófica; la ciencia es incapaz de responderla.

El horizonte de nuestros conocimientos

— *Para eludir este quebradero de cabeza, ¿podríamos definir el Big Bang como el comienzo del espacio y el tiempo?*

— Definámoslo, mejor, como el momento en que esas nociones empiezan a ser utilizables. El Big Bang, en realidad, es nuestro horizonte en el tiempo y en el espacio. Lo consideramos el instante cero de nuestra historia por comodidad, porque no tenemos otro recurso. Estamos como exploradores ante un océano: no vemos si hay algo más allá del horizonte.

— *Si comprendo bien, el Big Bang, de hecho, es un modo de señalar el límite de nuestros conocimientos y no verdaderamente el límite del mundo.*

— Exactamente. Pero atención: tampoco concluyamos que el universo no tiene origen. Vuelvo a repetirlo: no sabemos nada. Convengamos, para simplificar, que

nuestra aventura comienza hace quince mil millones de años en el caos infinito e informe que lentamente se va a estructurar. Es, en cualquier caso, el comienzo de la historia del mundo tal como la ciencia puede reconstituirla hoy día.

— *A los especialistas les puede bastar una abstracción para figurarse el Big Bang. Pero los demás necesitan de una metáfora. Se lo suele describir como una bola concentrada de materia que estalla en un gran resplandor de luz que llena el espacio...*

— Una comparación no es una razón. Esa representación supone la existencia de dos espacios, uno lleno de materia y de luz que va invadiendo progresivamente a un segundo espacio vacío y frío. En el modelo del Big Bang sólo hay un espacio, uniformemente lleno de luz y de materia, que se expande por todas partes: todos sus puntos se alejan de manera uniforme los unos de los otros.

— *Difícil de imaginar. ¿Qué representación visual se puede tener entonces del Big Bang?*

— En rigor, se puede mantener la imagen de la explosión si se acepta que se producía en cada punto de un espacio inmenso y quizás (pero no con seguridad) infinito. Difícil de imaginar, sin duda, ¿pero hay de qué asombrarse? Cuando abordamos tales escalas, nuestras facultades se topan con terrenos no habituales y nuestras representaciones resultan un tanto inadecuadas.

¿Y Dios?

— *Sea infinito o no, esa imagen equivale bastante a la creación del mundo que propone la Biblia: "Y la luz se hizo "...*

— Esta similitud perjudicó mucho tiempo la credibilidad de la teoría del Big Bang cuando se la propuso a principios de los años treinta. Especialmente después de las declaraciones del papa Pío XII: la ciencia ha reencontrado el "Fiat lux". La actitud de los comunistas de Moscú fue también muy reveladora en esa época. Después de rechazar totalmente esas "gansadas papales", advirtieron que esta teoría podía

confirmar el dogma comunista del materialismo histórico. "¡Lenin lo había dicho!"... Sin embargo, a pesar de las tentativas de cooptación religiosa y política, el Big Bang terminó por imponerse. No han cesado de acumularse pruebas a su favor en el curso de los decenios y casi la totalidad de los astrofísicos reconocen que esta teoría es el mejor escenario de la historia del cosmos. Con excepción de Fred Hoyle, astrofísico inglés, ardiente defensor de un universo estático: él, por burlarse, lo llamó "Big Bang". El nombre ha quedado...

— *Pero no es escandaloso que la ciencia se encuentre, en su camino, con la religión.*

— Siempre que no se confundan. La ciencia intenta comprender el mundo; las religiones (y las filosofías), por lo general, se atribuyen la misión de dar un sentido a la vida. Se pueden aclarar mutuamente, a condición de que cada una se mantenga en su territorio propio. Hubo conflicto cada vez que la Iglesia intentó imponer su explicación del mundo. Recordemos a Galileo, que decía a sus adversarios, que eran teólogos: "Decidnos cómo se va al cielo, y dejad que os digamos cómo `marcha' el cielo". Y recordemos la oposición de los eclesiásticos a las teorías darwinianas. La ciencia se interesa en los hechos visibles, perceptibles. No permite interpretar lo que hay "más allá" de lo visible. Contrariamente a una opinión muy difundida, no elimina a Dios. Pero no puede probar ni su existencia ni su inexistencia. Ese discurso le es extraño.

— *Pero sucede que no sólo la religión cristiana, sino también numerosas mitologías explican la creación del mundo mediante una explosión de luz. ¿No resulta por lo menos perturbador?*

— La imagen de un caos inicial que se metamorfosea progresivamente en universo organizado está, en efecto, en varios relatos tradicionales. Es común a numerosas creencias: se la encuentra en egipcios, indios de América del norte, sumerios. El caos se suele presentar con una imagen acuática, un océano inmerso en la oscuridad, por ejemplo. "Nada existía, a excepción del cielo vacío y el mar en calma en la noche profunda", relata la tradición maya. "Toda la Tierra era mar", dice un texto babilónico. "La Tierra era sin forma y vacía, la oscuridad ocupaba la superficie de las profundidades, y el espíritu de Dios se movía por toda la extensión de las

aguas", se lee en el Génesis. También se recurrió con frecuencia a la metáfora del huevo. Un líquido aparentemente informe, en el interior del huevo, se convierte en polluelo. Es una hermosa imagen de la evolución del universo. Para los chinos, el huevo se separa en dos mitades que van a constituir, cada una por separado, el cielo y la Tierra. No obstante, en estas mitologías, el caos se relaciona con el agua y la oscuridad. En la cosmología moderna, en cambio, está constituido por calor y luz.

— *Sin embargo, las analogías entre el relato científico y estos mitos son innegables...*

— ¿Se trata de una coincidencia? ¿O de un saber intuitivo? Al cabo, y lo veremos en el curso de esta historia, nosotros mismos estamos compuestos de polvo del Big Bang. ¿Tendremos con nosotros la memoria del universo?

El descubrimiento de la historia

— *¿Cómo se llegó a la idea de un caos original y de una evolución del universo?*

— Durante dos milenios, la tradición filosófica consideró que el universo era eterno y no cambiaba. Aristóteles lo dijo con claridad y sus ideas dominaron el pensamiento occidental por más de dos mil años. Creía que las estrellas están hechas de una materia imperecedera y que los paisajes del cielo son inmutables. Hoy sabemos, gracias a los instrumentos modernos, que se equivocó. Las estrellas nacen y mueren después de vivir varios millones o miles de millones de años. Brillan porque queman su carburante nuclear y se extinguen cuando éste se les agota. Hasta podemos averiguar la edad de cada una.

— *¿A nadie se le había ocurrido que el cielo podía cambiar?*

— Varios filósofos lo supusieron, pero sus puntos de vista no triunfaron. Lucrecio, filósofo romano del siglo primero antes de Cristo, afirmaba que el universo aún estaba en su juventud. ¿Y por qué tenía una convicción tan avanzada para su época? Razonó astutamente. He comprobado desde mi infancia, se dijo, que las técnicas se han ido perfeccionando. Han mejorado el velamen de nuestros barcos,

inventado armas más y más eficaces, fabricado instrumentos musicales más refinados... ¡Si el universo fuera eterno, todos estos progresos habrían tenido tiempo de realizarse cien, mil, un millón de veces! Debería estar viviendo, entonces, en un mundo terminado, que ya no cambia. Ahora bien, si en el curso de algunos años he visto tantas mejoras, quiere decir que el mundo no existe desde siempre...

— *Bella deducción...*

— Que hoy confirma la cosmología con tres comprobaciones:

1. el mundo no ha existido siempre;
2. está cambiando;
3. este cambio se aprecia en el paso de lo menos eficaz a lo más eficaz, es decir, de lo simple a lo complejo.

La máquina para retroceder en el tiempo

— *¿En qué descubrimientos se apoya la ciencia moderna?*

— Gracias a nuestros instrumentos, los de la física y de la astronomía, recuperamos huellas del pasado del universo. Podemos reconstituir su historia, como los prehistoriadores reconstruyen el pasado de la humanidad a partir de fósiles abandonados en las cavernas. Pero tenemos una inmensa ventaja sobre los historiadores: podemos ver directamente el pasado.

— *¿Cómo?*

— A nuestra escala, la luz viaja muy rápido, a trescientos mil kilómetros por segundo. Pero a escala del universo, esta velocidad es irrisoria. La luz tarda un segundo en llegarnos desde la Luna, ocho minutos desde el Sol, pero tarda cuatro años en recorrer el camino desde la estrella más cercana, ocho desde Vega y miles de millones de años desde algunas galaxias. Nuestros telescopios nos permiten observar astros muy distantes, los cuásares por ejemplo, cuya luminosidad es diez mil veces mayor que la de toda nuestra galaxia. Algunos cuásares están situados a

doce mil millones de años de distancia. Los vemos, entonces, en el estado en que se encontraban hace doce mil millones de años.

— *Cuando enfocas el telescopio hacia una región del universo observas, entonces, un momento de su historia.*

— Exacto. El telescopio es una máquina para retroceder en el tiempo. Al revés de los historiadores, que jamás podrán contemplar la Roma antigua, los astrofísicos verdaderamente pueden ver el pasado y observar los astros tal como fueron antaño. Vemos la nebulosa de Orón tal como era a fines del Imperio romano. Y la galaxia de Andrómeda, visible a simple vista, es una imagen que tiene dos millones de años. Si los habitantes de Andrómeda contemplaran en este momento nuestro planeta, lo verían con el mismo desfase: descubrirían la Tierra de los primeros hombres.

— *¿Significa esto que el cielo que observamos por la noche, los astros que vemos, esos millares de estrellas, esas galaxias, sólo son ilusiones, una superposición de imágenes del pasado?*

— En sentido estricto, nunca se puede ver el estado presente del mundo. Cuando te miro, te veo en el estado en que te encontrabas hace una centésima de microsegundo —el tiempo que la luz ha tardado en llegarme—. Una centésima de microsegundo es mucho tiempo a escala atómica, aunque resulte imperceptible para nuestra conciencia. Pero los seres humanos no desaparecen en ese lapso, y puedo plantear sin riesgo la hipótesis de que siempre estás allí. Lo mismo ocurre con el Sol: no cambia tanto en los ocho minutos que emplea la luz en llegarnos. Las estrellas que vemos a simple vista por la noche, las de nuestra galaxia, están relativamente cerca. Pero las cosas son muy distintas con los astros distantes que detectamos con poderosos telescopios. El cuásar que veo a doce mil millones de años luz de distancia quizás ya no exista en la actualidad.

— *¿Se podría ver entonces aún más lejos, todavía más temprano, hasta ese famoso horizonte, el Big Bang?*

— Mientras se retrocede en el pasado, más opaco se vuelve el universo. La luz no nos puede llegar más allá de un límite determinado. Este horizonte corresponde a

una época en que la temperatura es de unos tres mil grados. Según un reloj convencional, el Big Bang ya tiene entonces cerca de trescientos mil años.

Las pruebas del Big Bang

— *El Big Bang sigue siendo, por lo tanto, muy abstracto. Hasta cabe preguntarse si sólo es producto de la imaginación de los científicos, si verdaderamente es real.*

— Como toda teoría científica, la del Big Bang se funda a un tiempo en un conjunto de observaciones y en un sistema matemático (la relatividad general de Einstein) capaz de reproducir sus valores numéricos. Esta teoría es creíble porque ya predijo correctamente el resultado de varias observaciones y se han confirmado sus predicciones. Esto muestra que el Big Bang no es sólo producto de la imaginación de los científicos, sino que toca la realidad del mundo.

— *Sea. ¿Pero cómo se lo puede describir si no se lo puede ver?*

— Se ven numerosas manifestaciones. Hacia 1930, un astrónomo norteamericano, Edwin Hubble, comprobó que las galaxias se alejan unas de las otras a velocidades que son proporcionales a su distancia. Como un budín que se pone al horno: a medida que se hincha, las pasas se apartan unas de otras. Este movimiento conjunto de las galaxias, llamado expansión del universo, se ha confirmado hasta en velocidades de decenas de miles de kilómetros por segundo. Según la teoría de la relatividad general de Einstein, esta expansión implica un enfriamiento progresivo del universo. Su temperatura actual es de unos tres grados absolutos, es decir, menos de 270 grados Celsius. Y el enfriamiento avanza desde hace unos quince mil millones de años.

— *¿Y cómo se lo sabe?*

— Tratemos de reconstituir el escenario, rebobinemos. Mientras más retrocedemos en el tiempo, más se acercan las galaxias: el universo se torna cada vez más denso, más y más caliente, su luminosidad no cesa de aumentar. Llegamos así a un momento, hace unos quince mil millones de años, en que la temperatura y la

densidad alcanzan valores gigantescos. Es lo que llamamos, convencionalmente, Big Bang.

— *¿Nuestro budín es ahora una bola de pasta?*

— Las comparaciones, dijimos, son engañosas. La del budín de pasas sugiere que el universo era más pequeño que el de hoy. Nada es menos seguro. Podría haber sido infinito y siempre haberlo sido...

— *¡Un momento! ¿Cómo nos vamos a imaginar un universo infinito desde su origen y que empieza a crecer?*

— La palabra "crecer" no tiene sentido en un espacio infinito. Digamos, sencillamente, que se enrarece. Para comprender mejor, se puede imaginar un universo de una sola dimensión: una regla graduada que se extiende hasta el infinito a izquierda y derecha. Imaginemos que empieza a expandirse, es decir, que cada señal de un centímetro se aleja de su vecina. Los trazos se van a ir espaciando, distanciando, más y más, pero la regla seguirá siendo infinita.

— *Es de suponer que el descubrimiento de este movimiento de las galaxias no es la única prueba del Big Bang.*

— Hay varias otras. Consideremos, por ejemplo, la edad del universo. Se la puede calcular de diversos modos. O bien por el movimiento de las galaxias, o bien por la edad de las estrellas (analizando su luz) o por la edad de los átomos (calculando la proporción de algunos que se desintegran en el curso del tiempo). La idea del Big Bang exige que el universo sea más viejo que las estrellas más antiguas y que los más antiguos átomos. ¡Y bien! En los tres casos se advierte que las edades se aproximan a quince mil millones de años, lo que refuerza la credibilidad de nuestra teoría. Y además contamos también con nuestros fósiles...

Los fósiles del espacio

— *¿Fósiles? Supongo que no serán conchas ni osamentas...*

— Se trata de fenómenos físicos de los más antiguos tiempos del cosmos y cuyas características nos permiten reconstituir el pasado, tal como los prehistoriadores lo hacen con fragmentos de huesos. La "radiación fósil", por ejemplo, que se emitió en un período en que el universo tenía temperaturas de varios miles de grados. Es un vestigio de la luz formidable que existía entonces, poco después del Big Bang, una pálida luminosidad uniformemente repartida en el universo. Nos llega bajo la forma de ondas radiomilimétricas detectables con antenas adecuadas en todas las direcciones del cielo. Es la imagen del cosmos hace quince mil millones de años, la imagen más antigua del mundo.

— *¿Entonces no está vacío el espacio entre las estrellas?*

— La luz está constituida por partículas que llamamos "fotones". Cada centímetro cúbico de espacio contiene cerca de cuatrocientos de estos granos de luz. La mayoría está viajando desde los primeros tiempos del universo y las estrellas han emitido los demás.

— *¿Cómo se los pudo contar?*

— En realidad, medimos la temperatura del espacio. Podemos hacerlo con gran precisión gracias, especialmente, a las sondas espaciales: son 2,716 grados absolutos. Ahora bien, existe una relación simple entre la temperatura y la cantidad de fotones. El cálculo nos da 403 granos de luz en cada centímetro cúbico de espacio. Hermoso, ¿no?

— *No está nada de mal, en efecto.*

— Y agreguemos que el astrofísico George Gamow predijo en 1948 la existencia de esta radiación fósil, es decir, diecisiete años antes de que se la observara en la realidad. Esta radiación, según él, era consecuencia necesaria de la teoría del Big Bang.

— *¿Lo que previó la teoría esta conforme, entonces, con lo que hoy se observa?*

— El telescopio espacial Hubble nos ha aportado aun más verificaciones. Un ejemplo reciente: vemos una galaxia distante tal como era en una época en que el universo

estaba más caliente. Gracias a este telescopio se pudo determinar la temperatura de la radiación que baña a una galaxia situada a doce mil millones de años luz. Era de 7,6 grados, exactamente la temperatura que predijo la teoría. La temperatura ha caído 2,7 grados durante el tiempo del viaje de la luz de esta galaxia hasta nosotros, lo que prueba que vivimos en un universo que se enfría.

Lo negro de la noche

— *¿Hay otros argumentos?*

— Este: también los átomos de helio son fósiles; su población relativa en el universo también está de acuerdo con la teoría e indica que el universo del pasado alcanzó una temperatura de por lo menos diez mil millones de grados. Y hay pruebas indirectas, como la oscuridad del cielo nocturno.

— *¿Y por qué demuestra la evolución del universo?*

— Si las estrellas fueran eternas y no cambiaran nunca, como pretendía Aristóteles, la cantidad de luz que habrían emitido en un tiempo infinito también sería infinita. El cielo debería ser, entonces, extremadamente luminoso. ¿Por qué no lo es? Este enigma atormentó a los astrónomos durante siglos. Ahora sabemos que el cielo es oscuro, porque las estrellas no existieron siempre. Y una duración de quince mil millones de años no es bastante para llenar de luz el universo, especialmente si el espacio interestelar no cesa de crecer. La oscuridad de la noche es una prueba suplementaria de la evolución del universo.

— *¿Y hay más?*

— Un argumento indirecto a favor de un universo cambiante nos viene directamente de la relatividad general. Esta teoría, formulada en 1915, no permite que el universo sea estático. Si Einstein hubiera leído correctamente el mensaje de sus propias ecuaciones, habría podido predecir, quince años antes que otros lo descubrieran, que nuestro universo evoluciona.

— *¿No hay nada, entonces, que hoy se oponga a la teoría del Big Bang?*

— Digamos, más bien, que en el mercado de las teorías cosmológicas, el Big Bang es, con mucho, la mejor opción. Ningún otro escenario explica de manera tan sencilla y natural el conjunto impresionante de observaciones que se ha realizado. Ninguno ha hecho tantas predicciones exitosas... El escenario del Big Bang, por cierto, aún está lejos de ser satisfactorio. Tiene muchas debilidades y puntos oscuros. Se trata de un programa que se está perfeccionando en medio de vacilaciones y tanteos. Todavía se lo va a modificar, sin duda, y quizás se lo incluya en un esquema más vasto. Pero lo esencial debería subsistir.

— *¿Y en qué consiste lo esencial?*

— En algunas afirmaciones simples: el universo no es estático, se enfría y enrarece. Pero sobre todo, y a mí me parece el elemento central, la materia se organiza progresivamente. Las partículas de los tiempos más antiguos se asocian para formar estructuras más y más elaboradas. Tal como adivinó Lucrecio, se pasa de lo "simple" a lo "complejo", de lo menos eficaz a lo más eficaz. La historia del universo es la historia de la materia que se organiza.

Escena 2. El universo se organiza

Por orden de entrada en escena: partículas ínfimas, en un desorden indescriptible. Después, resultado de sus acoplamientos, los primeros átomos, que también intentan vinculaciones explosivas en astros ardientes.

La sopa de letras

— *Y comienza la historia de la complejidad. Estamos en el horizonte de nuestro pasado, hace unos quince mil millones de años. ¿De qué está hecho entonces el universo?*

— El universo es una crema espesa de partículas elementales: electrones (los de nuestra corriente eléctrica), fotones (los granos de luz), cuarks, neutrinos, y una panoplia de otros elementos llamados gravitones, gluones, etc. Se los llama "elementales", porque no se los puede descomponer en elementos más pequeños, o por lo menos así se cree.

— *Es una crema primitiva, se suele decir. Lo que significa que todo está mezclado, desordenado, desorganizado.*

— Me gusta compararla con esas sopas de mi infancia, que contenían pastas con forma de letras del alfabeto y con las cuales nos divertíamos escribiendo nuestro nombre. En el universo, estas letras, es decir las partículas elementales, se van a reunir formando palabras, las palabras se asociarán a su vez para formar frases y éstas también se las van a arreglar más tarde para armar párrafos, capítulos, libros... En cada nivel, los elementos se van reagrupando para formar nuevas estructuras en un nivel superior. Y cada una posee propiedades que los elementos, individualmente, no poseen. Se habla de "propiedades emergentes". Los cuarks se asocian en protones y neutrones. Más tarde, éstos se reunirán en átomos, que formarán moléculas simples, que a su vez compondrán moléculas más complejas, que... Es la pirámide de alfabetos de la naturaleza.

— *¿Cuánto tiempo ha ocupado todo esto?*

— Durante las primeras decenas de microsegundos posteriores al Big Bang, el universo es un vasto magma de cuarks y gluones. Hacia el microsegundo número cuarenta, cuando la temperatura ha descendido bajo los 10¹² grados (un millón de millones), los cuarks se reúnen y surgen los primeros nucleones: protones y neutrones.

El primer segundo

— *¡Qué precisión! ¿Pero cómo se puede conocer el primer segundo del universo, e incluso fracciones ínfimas del primer segundo, si ni siquiera sabemos si el universo tiene diez o quince mil millones de años?*

— Sea cual sea el momento en que ocurrió, se trata, de todos modos, del primer segundo. Hay que comprender las palabras. "Primer segundo" señala el lapso en que el universo tenía una temperatura de diez mil millones de grados. Y antes la temperatura era aún mayor. La dificultad consiste en situar este primer segundo en nuestra historia: decimos que a unos quince mil millones de años. Los grandes aceleradores de partículas nos permiten reconstituir, por breves instantes, las fuertes densidades de energía de esa época. Corresponden a temperaturas de 10¹⁶ grados. Sólo reinaron en el escenario cósmico durante un micro-microsegundo. Pero conviene repetir que este cronometraje sólo tiene sentido en la teoría del Big Bang. Se trata de un reloj convencional, una suerte de punto de referencia.

— *Comprobamos, sin embargo, que la física llegaba a sus propios límites, que parecía carecer de medios ante el Big Bang.*

— Contamos con dos buenas teorías: la física cuántica, extremadamente precisa, que describe el comportamiento de las partículas siempre que no estén inmersas en un campo de gravedad demasiado fuerte, y la teoría de la relatividad de Einstein, que da cuenta del movimiento de los astros pero ignora el comportamiento cuántico de las partículas. Los límites de la física se sitúan a temperaturas de alrededor de 10³² grados (la "temperatura de Planck"). A esta temperatura, las partículas, precisamente, están sometidas a campos de gravedad muy fuertes. Y ya no sabemos calcular sus propiedades... Nadie ha resuelto este problema todavía. Hace cincuenta años que es nuestro límite. Nos haría falta otro Einstein.

— *Mientras lo esperamos, contentémonos con el primer segundo. ¿Por qué no ha permanecido el universo en estado de crema? ¿Qué lo ha impulsado a organizarse?*

— Las cuatro fuerzas de la física han dirigido la reunión de partículas, átomos, moléculas y de las grandes estructuras celestes. La fuerza nuclear suelda los núcleos atómicos; la fuerza electromagnética asegura la cohesión de los átomos; la fuerza de gravedad organiza los movimientos de gran escala —los de las estrellas y

galaxias—, y la fuerza débil interviene en el nivel de las partículas que llamamos neutrinos. Pero el calor disocia todo en los primeros tiempos y se opone a la formación de estructuras. Tal como, a nuestra temperatura, impide la formación de hielo. Fue necesario, entonces, que el universo se enfriara para que las fuerzas pudieran actuar e intentar las primeras combinaciones de la materia.

La fuerza está con nosotros

— *¿Pero de dónde vienen esas famosas fuerzas?*

— Es una pregunta muy amplia, que roza el límite de la metafísica... ¿Por qué hay fuerzas? ¿Por qué tienen la forma matemática que conocemos? Hoy sabemos que en todas partes son las mismas, de aquí a los confines del universo, y que no han cambiado en absoluto desde el Big Bang. Lo que puede desconcertar en un universo donde todo cambia...

— *¿Pero cómo sabemos que no han cambiado?*

— Se ha podido verificar de varios modos. Hace algunos años unos ingenieros de minas descubrieron, en Gabón, un depósito de uranio de composición muy especial. Todo indicaba que el mineral había estado sometido a una intensa radiación. Una especie de reactor natural se había gatillado espontáneamente en esa mina hace unos mil quinientos millones de años. La comparación de la abundancia relativa de núcleos atómicos con la de nuestros reactores, demostró que la fuerza nuclear tenía en esa época exactamente las mismas características que hoy tiene. También se puede saber, comparando las propiedades de fotones jóvenes y viejos, si ha cambiado la fuerza electromagnética.

— *¿Cómo se hace?*

— Los espectroscopios nos permiten detectar fotones emitidos por átomos de hierro provenientes de una galaxia lejana. Son fotones "viejos", que están viajando, digámoslo así, desde hace doce mil millones de años.

— *No es fácil comprender esa idea. ¿Se reciben, verdaderamente, partículas viejas que se pueden atrapar?*

— Sí. Y se puede comparar sus propiedades, en un laboratorio, con las de fotones "jóvenes" emitidos por un arco eléctrico con electrodos de hierro. Resultado: la fuerza electromagnética no ha cambiado en el lapso que separa estas dos generaciones de partículas. El análisis de la abundancia relativa de núcleos ligeros muestra, asimismo, que la fuerza de gravedad y la fuerza débil no han sufrido modificación alguna desde el período en que el universo estaba a diez mil millones de grados, es decir, hace quince mil millones de años.

— *¿Cómo se puede explicar que las fuerzas sean tan inmutables?*

— ¿En qué tablas de piedra, como las de Moisés, existen esas fuerzas? ¿Se sitúan "más allá" del universo, en ese mundo de ideas que tanto estimaban los platónicos? No son preguntas nuevas; se las discute hace dos mil quinientos años. Los progresos de la astrofísica han devuelto este debate al primer plano, pero no nos permiten resolverlo. Sólo podemos decir que, al revés de lo que ocurre al universo, que no cesa de modificarse, estas leyes de la física no cambian ni en el espacio ni en el tiempo. En el marco de la teoría del Big Bang han presidido la elaboración de la complejidad. Las propiedades de estas leyes, son, por lo demás, aún más asombrosas. Sus formas algebraicas y sus valores numéricos parecen sumamente ajustados.

— *¿En qué sentido están "ajustados"?*

— Lo demuestran nuestras simulaciones matemáticas: si esas leyes fueran levemente distintas, el universo jamás habría salido del caos inicial. Ninguna estructura compleja habría aparecido. Ni siquiera una molécula de azúcar.

— *¿Por qué razón?*

— Supongamos que la fuerza nuclear fuera algo más fuerte. Todos los protones se habrían reunido rápidamente y formado núcleos pesados. No quedaría hidrógeno para asegurar al Sol su longevidad ni para formar la napa acuática terrestre. La fuerza nuclear tiene exactamente intensidad bastante para producir algunos núcleos

pesados (los del carbono, del oxígeno), pero no la suficiente para eliminar el hidrógeno. La dosis justa... Se puede decir que, en cierto modo, la complejidad, la vida y la conciencia ya estaban en potencia desde los primeros instantes del universo, que estaban "inscritas" en la forma misma de las leyes. Pero no como "necesidad", sino como posibilidad.

— *¿Pero no se trata de un razonamiento a posteriori? Hoy comprobamos que las leyes han conducido la evolución hasta el hombre. Lo que no significa que están hechas para eso.*

— Una pregunta decisiva: ¿hay una "intención" en la naturaleza? No es una pregunta científica, sino, mas (bien, filosófica y religiosa. Personalmente, me siento inclinado a responder que sí. ¿Pero qué forma posee esta intención, cuál es esta intención? Son preguntas que me interesan muchísimo. Pero no tengo respuestas. De un modo alegórico, se puede decir, con sumo cuidado: si la "naturaleza" (o el universo, o la realidad) tuvo la "intención" de engendrar seres conscientes, habría "hecho" exactamente lo que hizo. Es un razonamiento a posteriori, por supuesto, pero eso no lo priva de interés.

La lección de la Luna

— *¿Desde cuándo conocemos la existencia de estas leyes de la naturaleza?*

— Necesitamos de muchos siglos para reconocerlas. Ya los filósofos griegos buscaban los "elementos primeros", los que, según ellos, habrían encabezado la elaboración del cosmos. Aristóteles dividía el mundo en dos: el mundo "sublunar" (el nuestro), sometido al cambio, en que la madera se pudre y el metal se oxida, y el espacio "más allá de la Luna", donde habitan seres celestes, perfectos, inmutables y eternos.

— *Y todo era para mejor en el mejor de los mundos.*

— Hace mucho que esta idea de la perfección de los cuerpos celestes influye en el pensamiento occidental. Antes de Galileo jamás se mencionaron en occidente las

manchas solares, que son visibles a simple vista y que los chinos conocían en la Antigüedad. La frase "lo creo cuando lo veo" se puede invertir: "lo veo cuando lo creo". Todo quedó en duda cuando Galileo, con su pequeño anteojo, observó por primera vez las montañas de la Luna. "La Luna es como la Tierra. La Tierra es un astro. No hay dos mundos, sino uno solo, regido por las mismas leyes". Newton va más lejos: una misma fuerza es la que hace caer una manzana y mantiene en órbita a la Luna alrededor de la Tierra y a ésta en torno del Sol. Se trata de la gravitación "universal", que va a utilizar para explicar el movimiento de los planetas. Las leyes de la física terrestre se aplican al mundo entero.

— *Pero ésa sólo es una fuerza...*

— Hacía mucho que en el siglo XIX se conocía la fuerza eléctrica que atrae el polvo sobre el ámbar; y también la fuerza magnética que orienta las agujas de las brújulas. El trabajo de numerosos físicos mostró que se trataba de una sola fuerza, a la que se llamó electromagnética y que se manifiesta de distinto modo según el contexto. En el siglo XX se descubrió otras dos fuerzas: la nuclear y la débil. Hacia 1970 se demostró que la fuerza débil y la fuerza electromagnética sólo eran dos manifestaciones de la fuerza llamada "electro-débil". A los físicos les gustaría unificar todas las fuerzas; pero de momento sólo se trata de un sueño...

— *En este siglo se han encontrado dos fuerzas. ¿No podría haber otras?*

Es posible. Los físicos hacen el inventario de las fuerzas, como los botánicos de las flores. Nada nos permite afirmar que hemos terminado el recuento. Hace unos diez años se planteó la noción de una quinta fuerza; pero no resistió el análisis.

Los primeros minutos

— *¿Y cómo intervienen estas cuatro fuerzas universales en el comienzo de nuestra historia?*

— Cuando la temperatura es muy elevada, la agitación térmica disocia rápidamente cualquier estructura que pudiera formarse. Y a medida que decrece la temperatura,

entran en juego las fuerzas por orden de potencia. Primero la fuerza nuclear: los cuarks se reúnen de tres en tres para formar los nucleones (neutrones y protones) cuando el universo tiene unos veinte microsegundos.

— *¿Por qué de tres en tres?*

— Estas partículas se asocian al azar. Pero algunas combinaciones no se mantienen. Si se asocian de dos en dos, las parejas resultantes no son estables y se desintegran rápidamente. Sólo resisten dos tipos de tríos: un ensamblaje de dos cuarks de tipo "up" y uno de tipo "down", que forma un protón; y dos "down" y un "up", que forman un neutrón. Un poco más tarde, la fuerza nuclear va a impulsar a estas nuevas estructuras para formar, a su vez, conjuntos de dos protones y dos neutrones y componer el primer núcleo atómico, el del helio. La temperatura ya ha descendido a diez mil millones de grados y el universo tiene un minuto.

— *¡Bastó un minuto para llegar al primer núcleo atómico!*

— Las fuerzas sólo se pueden manifestar en determinadas condiciones de temperatura, algo semejante al agua para formar hielo. No actúan si hace demasiado calor; tampoco si demasiado frío. Después de estos primeros minutos, el universo se ha enfriado y vuelve a inhibir la actividad de la fuerza nuclear. La composición del universo es entonces de un 75% de núcleos de hidrógeno (protones) y de un 25% de núcleos de helio. En el nivel de la organización, nada acontecerá durante varios centenares de miles de años.

— *¡Un minuto de agitación y cientos de miles de años de espera! ¡Una evolución un tanto entrecortada!*

— La complejidad no avanza a ritmo regular. La fuerza electromagnética entra en acción cuando la temperatura desciende a menos de tres mil grados. Sitúa en órbita los electrones en torno de los núcleos y crea de este modo los primeros átomos de hidrógeno y de helio. La desaparición de los electrones libres provoca un universo transparente: los fotones, esos granos de luz, ya no están afectados por la materia del cosmos. Vagan por el espacio y progresivamente se degradan y convierten en energía. Aún están allí, envejecidos y degradados, constituyendo la radiación fósil...

La evolución hace una nueva pausa en seguida. Habrá que esperar cien millones de años para que vuelva a empezar.

Las primeras galaxias

— *¿Y qué la va a gatillar esta vez?*

— Por acción de la fuerza de gravedad, la materia, que hasta entonces era homogénea, comienza a formar grumos. Desde que los núcleos capturaron electrones, el campo quedó libre y se pudieron formar estructuras de gran escala. Anteriormente, todo intento de concentración de materia era neutralizado muy rápido por el juego de los fotones sobre los electrones. Esta vez la materia se va a poder condensar en galaxias...

— *Y una vez más tenemos que preguntarnos por qué...*

— Hay que confesar que conocemos muy mal este período de la historia. Los investigadores anglosajones lo califican de "edad oscura de la cosmología". Las observaciones del satélite COBE nos han mostrado que en ese momento la materia no era perfectamente homogénea e isoterma. Regiones ligeramente más densas que el promedio desempeñaban el rol de "gérmenes" de galaxias. Su atracción arrastra progresivamente hacia ellas la materia del entorno. Su masa se va ampliando. Este efecto de "bola de nieve" les permite crecer hasta formar las magníficas galaxias que hoy vemos en el cielo.

— *¿Este fenómeno se produjo por todas partes y en el mismo momento? ¿No hay entonces desiertos en el universo?*

— El universo está jerarquizado en cúmulos de galaxias, galaxias, cúmulos de estrellas y estrellas individuales. Nuestro sistema solar, por ejemplo, pertenece a una galaxia, la Vía Láctea, compuesta por cientos de millones de estrellas y cuyo conjunto conforma un disco de cien mil años luz de diámetro.

— *Una mota de polvo en el universo...*

— Forma parte de un pequeño cúmulo local, compuesto de una veintena de galaxias (entre las que están Andrómeda y las dos nubes de Magallanes), el cual está integrado en un cúmulo mayor, el de la Virgen, que agrupa varios miles de galaxias. Este súper cúmulo abriga, en su centro, una galaxia gigante, cien veces más grande que la nuestra, que atrae a todas las demás. Se habla de una galaxia caníbal...

— *Encantador...*

— En una escala superior a los mil millones de años luz, el universo es extremadamente homogéneo. Todo está poblado de modo más o menos uniforme; no hay "desierto" y nada se parece más a un sector del universo que otro sector del universo.

— *Por lo tanto en esta época el universo cambia de aspecto.*

— Unos cien millones de años después del Big Bang ya no se presenta bajo la forma de una espesa crema homogénea como en los primeros tiempos.

Tiene la fisonomía que le conocemos: un vasto espacio, poco denso, sembrado de esas soberbias islas galácticas un millón de veces más densas que él. Al interior de éstas, la materia se condensa por la acción de la fuerza de gravedad y forma astros. Esto provoca un aumento de la temperatura. Los astros escapan así al enfriamiento general que continúa en su entorno. Se calientan, dejan escapar energía: las estrellas empiezan a brillar. Las mayores, cincuenta veces más masivas que nuestro Sol, agotarán su combustible atómico en tres o cuatro millones de años. Las menores vivirán durante miles de millones de años.

— *¿Por qué adoptaron la forma de bolas?*

— ¿Qué hace la fuerza de gravedad? Atrae la materia. ¿Y cuál es la configuración en que todos los elementos están más cerca unos de otros? ¡Una bola! Por esta razón las estrellas son esféricas, como los planetas, si no son demasiado pequeñas. En el interior de un objeto celeste de más de cien kilómetros de radio, las fuerzas de gravedad dominan a las fuerzas químicas que dan rigidez a la materia y la obligan a adoptar una forma esférica: la Luna es redonda, también los satélites de Júpiter.

Los de Marte, en cambio, más pequeños, no tienen gravedad bastante para que se redondee su masa rocosa. No son esféricos.

— *¿Pero tampoco lo son las galaxias? ¿Por qué?*

— La rotación las aplana y les da esa forma de disco que les conocemos. También nuestra Tierra está ligeramente achatada por su rotación. Y también el Sol.

Por qué no caen las estrellas

— *¿Por qué las estrellas no se atraen entre sí y unas contra otras?*

— Newton se planteó la misma pregunta. Como las estrellas son objetos masivos, se dijo, se atraen mutuamente. ¿Y por qué no caen unas sobre otras? La Luna no se estrella contra la Tierra, porque gira alrededor de nosotros: la fuerza centrífuga, asociada a su movimiento, equilibra la fuerza de gravedad. Lo mismo ocurre con la Tierra y el Sol: la rotación de nuestro planeta en torno del astro le impide estrellarse contra él. ¿Y qué ocurre con las estrellas? Newton nunca pudo resolver este enigma.

— *¿Y cuál es la respuesta?*

— En la época de Newton no se conocía la existencia de las galaxias. Hoy sabemos que el sistema solar gira en torno del centro de nuestra Vía Láctea. Este movimiento lo mantiene en órbita e impide, igual que a cientos de miles de otras estrellas, que caiga hacia el núcleo central.

— *¿Pero qué impide entonces que las galaxias caigan unas sobre otras? Que se sepa, no hay un centro del universo.*

— No. La respuesta se encuentra, esta vez, en la expansión del universo, en el movimiento general de las galaxias. Se observa que éstas se alejan unas de otras. La causa del impulso inicial sigue siendo, empero, un motivo de especulación.

— *¿Y por cuánto tiempo va a proseguir este movimiento?*

— No hay respuesta definitiva para esta pregunta. Imaginemos que tiramos una piedra en el azul del cielo. Hay dos posibilidades: o bien esa piedra empieza a caer sobre nosotros o bien se eleva. Y en este caso, ¿qué va a suceder? Hay dos posibilidades: o bien caerá de retorno a la Tierra o bien escapará a su atracción y jamás volverá al suelo. Todo depende de la velocidad con que la lancemos. Si es inferior a once kilómetros por segundo, caerá. En caso contrario, escapará de la atracción terrestre.

— *¿Lo mismo sucede con las galaxias?*

— Se alejan de nosotros, pero su movimiento disminuye por la gravedad que ejercen sobre sí mismas. Su atracción mutua depende de su cantidad y de su masa, es decir, de la densidad de la materia cósmica: si ésta es débil, las galaxias van a continuar alejándose indefinidamente (el escenario del "universo abierto"); si es fuerte, las galaxias van a terminar por invertir su movimiento y se volverán las unas hacia las otras (el escenario del "universo cerrado"). Estos son los dos futuros posibles del universo.

— *¿Y cuál parece más probable?*

— El primero. El universo va a continuar expandiéndose y enfriándose indefinidamente. Este resultado, sin embargo, no se ha establecido de manera definitiva. Pero, de todos modos, ya sabemos que la expansión todavía va a durar por lo menos cuarenta mil millones de años.

Escena 3. ¡Tierra!

En el desierto espacial, las primeras moléculas emprenden una danza ininterrumpida y engendran, en los suburbios de una modesta galaxia, un planeta singular.

El crisol de las estrellas

— *Un desierto infinito, con islotes, aquí y allá, de galaxias fragmentadas en estrellas... Mil millones de años después del Big Bang, la crema espesa de materia está organizada y presenta un aspecto más reconocible. Todo eso parece estable, y el universo pudo haber quedado allí. No obstante, una vez más la evolución se pone en marcha. ¿Por qué?*

— Las primeras estrellas retoman la antorcha. Mientras en todas partes el universo sigue enfriándose, las estrellas experimentan un considerable aumento de temperatura. Se transforman en crisoles de elaboración de la materia y la harán franquear una nueva etapa de la evolución cósmica. Los ensamblajes de los primerísimos segundos del universo se van a reiterar en las estrellas.

— *¿Se comportan como pequeños Big Bang locales?*

— En cierto sentido. La contracción de la estrella bajo su propio peso provoca el recalentamiento. Cuando la temperatura llega a diez millones de grados, la fuerza nuclear vuelve a "despertar". Y, tal como en el Big Bang, los protones se combinan y forman helio.

— *El universo de los orígenes, recordémoslo, se había detenido en esa etapa...*

— Estas reacciones nucleares despiden al espacio una gran cantidad de energía bajo forma de luz. La estrella brilla. Nuestro Sol "funciona" a hidrógeno desde hace cuatro mil quinientos millones de años. Las estrellas más masivas brillan mucho más y agotan su hidrógeno en algunos millones de años. Entonces la estrella vuelve a contraerse. Y su temperatura aumenta hasta sobrepasar cien millones de grados. El helio, ceniza del hidrógeno, se convierte, a su vez, en carburante. Un conjunto de reacciones nucleares va a permitir entonces combinaciones inéditas: tres helios se asocian y dan carbono, y cuatro helios dan oxígeno.

— *¿Pero por qué no se produjeron estas reacciones en el instante del Big Bang?*

— El encuentro y la fusión de tres helios es un fenómeno muy escaso. Hace falta mucho tiempo para que suceda. La fase de actividad nuclear del Big Bang sólo duró

algunos minutos. Es muy poco para fabricar una cantidad importante de carbono. Esta vez, en las estrellas, los ensamblajes se van a poder efectuar en el curso de millones de años.

— *¿Cada estrella va a fabricar, entonces, carbono y oxígeno?*

— Durante los millones de años que siguen, el centro de las estrellas se va a poblar, en efecto, de núcleos de carbono y oxígeno. Estos elementos desempeñarán un rol fundamental en la continuación de la historia. En particular el carbono, con su configuración atómica propia, se presta fácilmente para la fabricación de las largas cadenas moleculares que intervendrán en la aparición de la vida. El oxígeno entrará en la composición del agua, otro elemento indispensable para la vida.

Polvo de estrellas

— *¿Y la estrella sigue contrayéndose durante este tiempo?*

— El corazón de la estrella se desploma sobre sí mismo, mientras su atmósfera se dilata rápidamente y pasa al rojo. Se convierte en gigante roja. Cuando supera los mil millones de grados, engendra núcleos de átomos más pesados, los de los metales, los del hierro, el zinc, el cobre, el uranio, el plomo, el oro... hasta el uranio, compuesto de 92 protones y de 146 neutrones, e incluso un poco más allá. El centenar de elementos atómicos que conocemos en la naturaleza se ha producido así en las estrellas.

— *Esto habría podido continuar mucho tiempo.*

— No, pues el corazón de la estrella se derrumba sobre sí mismo. Los núcleos de átomos entran en contacto y rebotan. Esto provoca una gigantesca onda de choque que acarrea la explosión del astro. Es lo que llamamos una supernova, un resplandor que ilumina el cielo como mil millones de soles. Los preciosos elementos que la estrella ha producido en su seno en el curso de su existencia se ven entonces propulsados al espacio a decenas de miles de kilómetros por segundo. Como si la

naturaleza extrajera los platos del horno en el momento oportuno, antes de que se quemem.

— *¡Y haciendo saltar el horno!*

— Así mueren las grandes estrellas. Dejan, no obstante, en esos lugares, un residuo estelar contraído, que se convierte en estrella de neutrones o en un agujero negro. Las estrellas pequeñas, como el Sol, se extinguen con mayor lentitud. Evacuan su materia sin violencia y se transforman en enanas blancas. Se enfrían lentamente y se transforman en cadáveres celestiales sin brillo.

— *¿Y en qué se convierten esos átomos que escapan de las estrellas moribundas?*

— Vagan al azar en el espacio interestelar y se mezclan con las grandes nubes diseminadas a lo largo de la Vía Láctea. El espacio se convierte en un verdadero laboratorio de química. Bajo el efecto de la fuerza electromagnética, los electrones se sitúan en órbita en torno de núcleos atómicos y forman átomos. Estos, a su vez, se asocian y forman moléculas más y más pesadas. Algunas reagrupan más de una decena de átomos. La asociación del oxígeno y del hidrógeno va a dar el agua. El nitrógeno y el hidrógeno forman amoníaco. Incluso hallamos la molécula del alcohol etílico, la de nuestras bebidas alcohólicas, compuesta por dos átomos de carbono, uno de oxígeno y seis de hidrógeno. Son los mismos átomos que, más tarde, en la Tierra, se van a combinar para formar organismos vivos. Verdaderamente estamos hechos de polvo de estrellas.

El cementerio de los astros

— *En esta época, en el universo sólo hay gas, bolas estelares de fuego; pero aún no hay materia sólida.*

— Ya llegará. Al enfriarse, algunos átomos provenientes de las estrellas, como el silicio, el oxígeno y el hierro, se van a asociar para formar los primeros elementos sólidos: los silicatos. Son granos minúsculos, de dimensiones inferiores al micrón (un milésimo de milímetro), que contienen cientos de miles de átomos. La fuerza de

gravidad actúa sobre las nubes interestelares y las lleva a desplomarse sobre sí mismas y así provoca la generación de nuevas estrellas.

Algunas tendrán un cortejo de planetas como el nuestro. Y estos planetas contendrán en su seno los átomos engendrados por las estrellas difuntas.

— *Es necesario entonces que las estrellas mueran para que otras nazcan. ¡Ya en el espacio la aparición de lo nuevo exige la muerte de lo viejo!*

— Los átomos de nuestra biosfera han sido creados, por fuerza, en los crisoles de estrellas y se los ha liberado en el espacio al morir ellas. Estas generaciones entremezcladas de estrellas y de átomos empezaron algunos cientos de millones de años después del Big Bang. Continuarán durante decenas de miles de millones de años. El espacio se convierte en una especie de selva de astros: hay grandes, pequeños, jóvenes y viejos que mueren, se disgregan y enriquecen el terreno para alimentar nuevos retoños. En nuestra galaxia se sigue formando un promedio de tres estrellas por año. Y así fue como, bastante tarde, hace sólo cuatro mil quinientos millones de años, una estrella que nos interesa particularmente, nuestro Sol, nacería en la periferia de una galaxia en espiral, la Vía Láctea.

— *¿Por qué en espiral?*

— La rápida rotación de las estrellas en torno de su centro ha dado a nuestra galaxia su forma de disco aplanado. El origen de los brazos espirales se debe a fenómenos gravitacionales que no se conocen muy bien. La Vía Láctea, ese gran arco luminoso que atraviesa la noche estrellada, es la imagen de todas estas estrellas desplegadas a lo largo del disco de la galaxia y que giran alrededor de su centro: nuestro sistema solar cumple un ciclo completo en unos doscientos millones de años.

Una estrella ordinaria

— *¿Qué diferencia a nuestro Sol de otros astros?*

— Es una estrella de tamaño mediano en nuestra galaxia. Sobre cien mil millones de estrellas, por lo menos mil millones se le parecen mucho. Cuando el Sol nació en un

brazo exterior de la Vida Láctea, hace cuatro mil quinientos millones de años, era mucho más grande que hoy, y rojo. Poco a poco se contrajo, se tornó amarillo y aumentó su temperatura interior. Después de una decena de millones de años, comenzó a transformar su hidrógeno en helio, como una bomba H gigante cuyo funcionamiento está controlado. Este fenómeno de fusión nuclear le va a asegurar estabilidad y luminosidad.

— *Esta estrella trivial por lo menos consiguió atraer planetas y constituir un sistema alrededor de ella.*

— Probablemente se trata de un fenómeno bastante generalizado en la galaxia, aunque nuestros limitados medios sólo nos han permitido detectar hasta ahora algunos casos. La formación de planetas como la Tierra sólo puede ser relativamente reciente. Los cuerpos sólidos de nuestro cortejo planetario están constituidos sobre todo por oxígeno, silicio, magnesio y hierro; los átomos se formaron progresivamente gracias a la actividad de generaciones de estrellas sucesivas. Debieron pasar varios miles de millones de años para que se acumularan en cantidad suficiente en las nubes interestelares. Se ha medido la edad de la Luna y de numerosos meteoritos. Los valores son exactamente iguales: cuatro mil quinientos sesenta millones de años. El Sol y sus planetas aparecieron al mismo tiempo, en un período en que nuestra galaxia ya tenía más de ocho mil millones de años.

— *¿Y cómo se forman los planetas?*

— No lo sabemos muy bien. El polvo interestelar se dispone en tomo de los embriones de estrellas y forma discos análogos a los anillos de Saturno. Después, poco a poco, estos pequeños cuerpos se ensamblan y constituyen estructuras rocosas de dimensiones crecientes. Suele haber colisiones. Las piedras se chocan, se quiebran o se capturan. Algunos bloques, de mayor masa, atraen a los otros y terminan por aglomerarse en planetas. Los innumerables cráteres de la Luna y de muchos otros cuerpos del sistema solar conservan las huellas de esos violentos choques que les aumentaron la masa. Desprenden una gran cantidad de calor, a la que se agrega la energía debida a la radioactividad de algunos átomos.

— *¿Todo eso aún estaba en fusión?*

— Al nacer, los grandes planetas son bolas de fuego incandescentes. Mientras mayor masa tiene el planeta, más importante es el calor y más tiempo se necesita para evacuarlo. En los cuerpos pequeños, como los asteroides, esto sucede muy rápido. La Luna y Mercurio disiparon en el espacio su calor inicial en el curso de algunos cientos de millones de años. Hace mucho que estos astros carecen de fuego interior y por lo tanto de actividad geológica. La Tierra ha necesitado de más tiempo. Hoy guarda en su corazón un brasero que provoca movimientos de convección de la piedra todavía fluida. Estos fenómenos originan los desplazamientos de continentes, las erupciones volcánicas y los temblores de tierra. Esta inestabilidad geológica es preciosa, por lo demás: provoca variaciones climáticas que desempeñan un rol importante en la evolución de los seres vivos.

El agua líquida

— *¿Qué diferencia a nuestro planeta de los demás?*

— Es el único que posee agua líquida. Hay mucha agua en el sistema solar: bajo forma de hielo en los satélites de Júpiter y Saturno, donde la temperatura es muy baja; bajo forma de vapor, en la tórrida atmósfera de Venus, que está más cerca del Sol. Su órbita mantiene a la Tierra a una distancia adecuada para que el agua continúe en estado líquido.

— *Parece que Marte también poseía agua líquida, como lo indicarían esos canales secos que han mostrado las sondas espaciales.*

— Es probable que hace por lo menos mil millones de años haya corrido por su superficie algún tipo de fluido. Hace mucho que ya no es así. ¿Por qué? No se sabe muy bien. La masa de Marte es pequeña y su actividad tectónica es hoy muy débil.

— *¿Pero de dónde viene el agua de la Tierra?*

— Volvamos a esos torrentes de materia que se proyectan en el espacio al morir las estrellas. Se forma polvo en el cual se depositan trozos de hielo y gas carbónico helado. Cuando ese polvo se aglutina y nacen los planetas, el hielo se volatiliza y escapa afuera, como géiseres. Por otra parte, cometas constituidos básicamente por trozos de hielo van a caer sobre los planetas.

— *¿Y la Tierra conservará esta agua?*

— Su campo de gravedad es suficiente para retener estas moléculas de agua en la superficie, y su distancia del Sol le permite mantenerlas, en parte, líquidas. En sus primeros tiempos, la bombardean continuamente los rayos ultravioletas que emite un Sol joven, e inmensos ciclones y poderosos relámpagos atraviesan su atmósfera, tal como hoy ocurre en Venus.

El don del agua

— *¿Y por qué hubo otra historia en Venus?*

— Realmente no lo sabemos. Los dos planetas se parecen mucho. Tienen casi la misma masa y casi la misma cantidad de carbono... En Venus, no obstante, el carbono se encuentra en la atmósfera, mientras que en la Tierra yace en el fondo de los océanos en forma de roca caliza. La composición atmosférica inicial de ambos planetas era fundamentalmente semejante, sin embargo.

— *¿De dónde surge entonces la diferencia?*

— Se cree que el agua líquida desempeñó un papel crucial en la superficie de nuestro planeta. Esta napa acuática permitió que el gas carbónico de la atmósfera inicial se pudiera disolver y depositar en el fondo de los océanos, como carbonatos. Venus está un poco más cerca del Sol. La diferencia de temperatura es responsable de la ausencia inicial de agua líquida. Su envoltura de gas carbónico crea un inmenso efecto de invernadero, que mantiene la temperatura a quinientos grados. Estos dos planetas, prácticamente idénticos, evolucionaron, entonces, de manera muy diferente.

— *Esta historia no continuaría si no hubiera agua líquida.*

— Así lo creo. El agua líquida ha desempeñado un papel primordial en la aparición de la complejidad cósmica. Una intensa actividad química se va a poner en marcha en la napa oceánica, al abrigo de las radiaciones ionizantes del espacio. Producirá, mediante encuentros y asociaciones, estructuras moleculares más y más importantes. El carbono, nacido de las gigantes rojas, va a jugar un rol de primer nivel en estas primeras etapas de la evolución prebiótica.

Convulsión de atmósfera

— *¿Y por qué este éxito del carbono?*

— Es el átomo ideal para las construcciones moleculares. Posee cuatro engarces con los cuales desempeña un rol de bisagra entre numerosos átomos. Crea vínculos lo bastante laxos para prestarse al juego de rápidas asociaciones y disociaciones indispensables para los fenómenos vitales. El silicio también posee cuatro engarces, pero los lazos que establece son mucho más rígidos. Crea estructuras estables, como la arena, pero no podría plegarse a los requisitos del metabolismo.

— *¿Entonces es absurdo imaginar que en alguna parte del universo hay formas de vida a base de silicio?*

— Es muy improbable. Las moléculas de más de cuatro átomos que hemos identificado con radiotelescopios en nuestra galaxia y en otras galaxias siempre contienen carbono y nunca silicio. Esta observación sugiere, con fuerza, que si existe vida en otra parte, también está construida con carbono.

— *Una vez constituida la atmósfera terrestre, no va a tardar la vida, ¿verdad?*

— Al nacer la Tierra, hace cuatro mil quinientos millones de años, las condiciones no son favorables en absoluto. La temperatura del sol es demasiado alta. Además, en esta época, en el espacio pululan pequeños cuerpos que más tarde absorberán los astros de mayor masa (el sistema solar hizo su propio arreglo). El bombardeo de

meteoritos y de cometas es de extrema violencia. Los estudios del cometa Halley, efectuados durante su último paso, en 1986, mostraron la presencia de una cantidad importante de hidrocarburos. Es probable que las colisiones de los primeros mil millones de años aportaran a la superficie terrestre, además de agua, una porción importante de moléculas complejas. Estos cometas, a los que en siglos anteriores se consideraba portadores de muerte y destrucción, jugaron probablemente un papel benéfico en la aparición de la vida. Menos de mil millones de años después del nacimiento de la Tierra, el océano estaba repleto de organismos vivientes, entre los cuales había las primeras algas azules.

El embarazo del universo

— *Final del primer acto, el más largo, el más lento. Llegamos a la Tierra después de varios miles de millones de historia del universo. En este planeta, a partir de entonces, las cosas se aceleran considerablemente.*

— Los ensamblajes moleculares se realizarán ahora con cientos, miles, millones de átomos. A partir del Big Bang, la materia ha escalado la pirámide de la complejidad. Sólo una fracción ínfima de los elementos que alcanzaron un escalón consigue llegar al siguiente. Sólo una parte minúscula de los protones del comienzo de la historia formaron átomos pesados. Y una cantidad muy pequeña de moléculas simples se convirtió en moléculas complejas, y una porción ínfima de éstas últimas va a participar en las estructuras de la vida.

— *Y al mismo tiempo parece haber gran uniformidad en este primer acto de la evolución.*

— Sí. El universo edificó las mismas estructuras en todo el espacio. Jamás hemos observado en las estrellas y en las galaxias más distantes un solo átomo que no exista en laboratorio.

— *Lo que sugiere que la misma historia ha podido desarrollarse en otra parte, y que existiría vida en otros planetas.*

— Advertimos que en todas partes los cuarks han formado protones y neutrones, que éstos se asocian formando átomos y éstos, a su vez, moléculas. Que en todas partes las nubes de materia interestelar se acumulan y dan a luz estrellas. Podemos imaginar que algunas poseen cortejos de planetas y que algunos cuentan con agua líquida propicia para la aparición de la vida. Todo esto es plausible, pero aún no demostrado.

La jornada de la Tierra

— *El tiempo también se contrae: mientras más avanzamos en nuestra historia, más rápido va la evolución.*

— Sí. Si se convierten los cuatro mil quinientos millones de años de nuestro planeta en un solo día, y suponemos que apareció a las doce de la noche, la vida, entonces, nació hacia las cinco de la madrugada y se desarrolló en el resto del día. Hacia las ocho de la noche aparecen los primeros moluscos. Hacia las once, los dinosaurios, que desaparecen a las doce menos veinte y dejan el campo libre para la rápida evolución de los mamíferos. Nuestros antepasados sólo surgen en los cinco últimos minutos antes de las doce de la noche y se les duplica el cerebro en el último minuto del día. ¡La revolución industrial sólo ha comenzado hace un centésimo de segundo!

— *Y nos rodea gente que cree que lo que hace desde esa fracción de segundo puede durar indefinidamente. Es imposible no advertir una lógica en el desarrollo de este primer acto, una especie de pulsión de complejidad que dispara al universo hacia sucesivas organizaciones, unas dentro de otras como las muñecas rusas, desde el caos hacia la inteligencia. Un sentido, me atrevería a decir...*

— Estamos obligados a comprobar que nuestro universo ha transformado su estado informe del comienzo en un conjunto de estructuras más y más organizadas. Esta metamorfosis se podría explicar por la acción de fuerzas de la física sobre una materia que se enfría. Sin la expansión del universo, sin el gran vacío interestelar, no habría segundo acto en esta historia. Pero esto sólo retrotrae un punto el

interrogante y nos lleva a nuestra reflexión sobre las leyes. La pregunta "¿por qué hay leyes en vez de que no las haya?", me parece la secuela lógica de la famosa pregunta de Leibniz: "¿Por qué hay algo en vez de nada?"

— *¿La aparición de la vida estaba inscrita en el desarrollo de este escenario?*

Antes se decía que la probabilidad de que apareciera la vida era tan débil como la de ver que un mono escribiera la obra de Shakespeare. Hoy hay numerosas razones para pensar que la aparición de la vida en un planeta adecuado no es de ningún modo improbable. Sea como sea, probable o improbable, se puede afirmar que, desde los primeros tiempos del cosmos, la posibilidad (pero no la necesidad) de la aparición de la vida, cuya aventura nos va a contar Joël de Rosnay, estaba inscrita en la forma misma de las leyes de la física.

Acto 2

La vida

Escena 1. La sopa primitiva

Ni muy cerca ni muy lejos de un astro oportuno, la Tierra se aísla tras su velo y reemplaza a las estrellas para hacer evolucionar la materia.

La vida que nace de la materia

– *La idea de una continuidad entre la evolución del universo y la vida terrestre es muy reciente. Durante siglos se ha separado rigurosamente la materia y lo viviente, como si se tratara de dos mundos distintos.*

– Joël de Rosnay: La vida es capaz de reproducirse, utilizar energía, evolucionar, morir... La materia es inerte, inmóvil, incapaz de reproducirse. Al observar por una parte el mundo viviente y, por otra, el mundo mineral, sólo se los podía considerar opuestos. Pero antaño se ignoraba que las moléculas estaban compuestas de átomos y las células hechas de moléculas. Entonces se explicaba que la vida había aparecido en la Tierra por voluntad de los dioses o gracias a un azar extraordinario. Era, de hecho, un modo de ocultar la ignorancia.

– *¿No hay azar, entonces, en este segundo acto?*

Hasta hace muy poco algunos científicos hablaban de un "azar creador": según ellos, en la Tierra primitiva algunas sustancias químicas se habrían combinado accidentalmente para producir los primeros organismos, lo que constituiría un acontecimiento único y terrestre. Esta hipótesis ya no se sostiene en la actualidad.

– *¿Y se puede afirmar, sin más, que la vida nació de la materia?*

Hace ya algunos años que numerosos hallazgos y experiencias han confirmado esta gran idea que se propuso en los años cincuenta: la vida resulta de la larga evolución

de la materia que, a partir de los primeros ensamblajes del Big Bang, continúa después en la Tierra con las moléculas primitivas, las primeras células, los vegetales, los animales. Este camino de lo viviente, que ha durado cientos de millones de años, es por lo tanto una etapa de una misma historia, la de la complejidad. Después del nacimiento de la Tierra, las moléculas se van a organizar en macromoléculas, éstas en células, y las células en organismos. La vida resulta de la interacción y de la interdependencia de estos nuevos constituyentes.

La necesidad, sin el azar

— *¿Se podría decir, como sugiere Hubert Reeves, que la aparición de la vida era completamente probable?*

— Jacques Monod hablaba de "necesidad": en determinadas condiciones, las leyes que organizan la materia engendran necesariamente sistemas más y más complejos. Se puede considerar que si se lo compara con un guijarro, la aparición de un organismo vivo es, en efecto, improbable. Pero no lo es si se la considera en el curso del tiempo, en el hilo de nuestra historia.

— *Lo que sugiere que la escena que vamos a describir pudo suceder en otra parte del universo...*

— Exacto. Imaginemos un planeta situado a determinada distancia de un astro adecuado para producir vida. Imaginemos que es bastante grande para retener una atmósfera densa compuesta de hidrógeno, metano, amoníaco, vapor de agua y gas carbónico. Imaginemos que el enfriamiento de este planeta provoca que escape el gas interno y una condensación que produce agua líquida. Imaginemos además que las síntesis químicas que ocurren en su atmósfera contribuyen a acumular en el agua moléculas que estén protegidas de la luz ultravioleta. Todas estas condiciones no son excepcionales y se pueden dar en numerosas regiones del universo. ¡Y bien! En tal caso, hay una fuerte probabilidad de que aparezcan sistemas vivientes. Por esta razón numerosos científicos, como Hubert Reeves, piensan que la vida también pudo aparecer en otra parte, en nuestra galaxia o en otra.

— *La necesidad, no el azar.*

— Sí. Todo planeta que posea agua y se encuentre a una distancia óptima de una estrella caliente tiene la posibilidad de acumular moléculas complejas y pequeños glóbulos que intercambiarán sustancias químicas con el medio. De necesidad en necesidad, la evolución química termina en rudimentarios seres vivientes.

Receta para hacer un ratón

— *La vida que surgió de la materia se parece algo a lo que antaño decían de la generación espontánea. Nuestros antepasados no estaban tan equivocados entonces...*

— Es verdad. Pero creían que la vida nacía así, espontáneamente, de la materia en descomposición. Que los gusanos surgían del fango, las moscas de la carne podrida. En el siglo XVII, un famoso médico hasta llegó a dar la receta para hacer un ratón: había que coger algunos granos de trigo y una camisa sucia empapada de sudor humano, colocar todo junto en una caja y esperar veintiún días. Sencillo, ¿no? Más tarde, gracias a los primeros microscopios, se descubrió la existencia de organismos muy pequeños, las levaduras, bacterias que proliferan en sustancias en descomposición. Entonces se afirmó que la vida nacía continuamente, en forma microscópica, de la materia.

— *Lo que no era completamente estúpido.*

— La idea fundamental era exacta, pero falso el razonamiento: la vida no nace espontáneamente, el que apareciera exigió mucho tiempo. En 1852, Pasteur muestra que hay gérmenes microscópicos por todas partes en el entorno nuestro, no sólo en el aire, pero también en nuestras manos, en los objetos. Los minúsculos organismos que se observan en los cultivos resultan, por lo tanto, de una contaminación. Pasteur preparó un caldo de remolachas, legumbres y carne; lo encerró en un recipiente con un cuello largo en forma de cuello de cisne, para

aislarlo del aire exterior; hizo hervir esta sopa para esterilizarla. Y jamás apareció allí vida alguna.

— *Quod erat demonstrandum: la vida no puede surgir espontáneamente.*

— Sí. Pero al hacer esto envió al limbo el problema del origen y allí quedaría mucho tiempo. Pues, gracias a él, se concluyó que la vida no podía nacer de la materia inerte, que sólo podía venir de... la vida. ¿Y cómo explicar entonces su primera aparición? Sólo quedaban tres soluciones: una intervención divina, lo cual ya no era ciencia; el azar, pariente del milagro, hipótesis difícil de aceptar, o un origen extraterrestre: gérmenes de vida que habrían aportado meteoritos, lo cual no resolvía para nada el asunto.

La intuición de Darwin

— *En todo caso, se habían resignado a establecer un puente entre la materia y la vida.*

— Sí. Había que superar el bloqueo que produjo Pasteur y comprender que lo inerte no engendró lo vivo "espontáneamente" sino paso a paso durante miles de millones de años. Darwin propuso esta noción fundamental: el transcurso del tiempo.

Pero él habla de la evolución de especies animales.

No sólo de eso. Darwin, por cierto, descubrió el principio de la evolución de las especies vivientes: desde la primera célula hasta el hombre, los animales descienden unos de otros, modificándose en el curso del tiempo mediante sucesivas variaciones y selección natural. Pero se suele olvidar que Darwin también sugirió que antes de la aparición de la vida y antes del nacimiento de las primeras células, la Tierra primitiva debía haber experimentado una evolución de las moléculas.

— *¡Hermosa intuición!*

— Sí. También comprendió por qué era difícil probar esa afirmación y observarla en la naturaleza: si hoy existieran moléculas capaces de evolucionar, explicaba, fracasarían, porque las especies vivientes las destruirían. Un razonamiento

precursor: una vez aparecida, la vida, en efecto, invadió todo, se comió sus propias raíces e impidió que otros tipos de evolución pudieran proseguir simultáneamente.

La gallina y el huevo

— *¿Cómo se puede probar entonces que la vida "desciende" de la materia?*

— Reconstruyendo, en laboratorio, esta evolución. Actualmente conocemos casi todas las etapas que han conducido desde las moléculas de la Tierra primitiva hasta los primeros seres vivos, y podemos reproducirlas, en parte, en nuestros tubos de ensayo. Ya a fines del siglo XIX, un investigador había provocado gran impacto al conseguir fabricar urea, un compuesto de la vida, ensamblaje de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Pero esto no bastó para matar el viejo prejuicio según el cual la vida sólo podía nacer de la vida.

— *Es la historia de la gallina y el huevo.*

Exactamente. El bioquímico soviético Alexander Oparine y el inglés John Aldane terminaron con este círculo vicioso. Las condiciones de la Tierra primitiva, aclararon, eran muy distintas a las actuales; la atmósfera no contenía nitrógeno ni oxígeno, sino una mezcla inhóspita de hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua, mezcla propicia para la aparición de moléculas complejas. En los años cincuenta, el francés Teilhard de Chardin, también un precursor, retomó la idea que esbozó Darwin acerca de una evolución de la materia, y habló de una "pre vida", de una etapa intermedia entre lo inerte y lo vivo, que se habría podido producir en la época de la Tierra primitiva.

— *Faltaba demostrarlo.*

— Fue lo que hizo Stanley Miller, un joven químico de veinticinco años en 1952. ¿Por qué no reconstituir en laboratorio estas condiciones anteriores a la vida?, se dijo. E intentó una experiencia, a escondidas para no exponerse a las burlas de sus colegas. Puso en un recipiente el gas de la Tierra primitiva, metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua más un poco de gas carbónico. Simuló el océano,

llenando de agua el recipiente. Calentó el conjunto para dar energía y provocó unas chispas (en lugar de rayos). Repitió esto durante una semana. Apareció entonces en el fondo del recipiente una sustancia rojo anaranjado. ¡Incluía aminoácidos, las moléculas componentes de la vida! A nadie se le había ocurrido que se las pudiera fabricar a partir de elementos tan sencillos. Estupor en el mundo científico. Se acababa de tender el primer puente entre la materia y lo viviente.

El planeta de las margaritas

– *Se necesitó tiempo, por lo tanto, para que se aceptara esta continuidad entre universo y vida. Y aún faltaba reconstruir las grandes etapas.*

– Tres ciencias han intentado hacerlo: la química, simulando en laboratorio las transformaciones principales; la astrofísica, buscando en el universo las huellas de la química orgánica, y la geología, investigando los fósiles de la vida sobre la Tierra. Todo esto ha permitido imponer la noción de que los primeros compuestos de lo viviente resultan de la combinación de determinadas moléculas simples que se encontraban en la Tierra desde su formación, hace cuatro mil quinientos millones de años.

– *El cóctel químico de la Tierra primitiva, su agua líquida, su particular atmósfera, se beneficiaron de la cercanía del Sol. Estábamos a la "distancia adecuada" del astro, lo que no quiere decir mucho...*

– Lo bastante cerca, en efecto, para recibir los rayos infrarrojos y ultravioletas capaces de gatillar reacciones químicas, y bastante lejos para que los productos resultantes no ardieran. Esta "distancia adecuada" es, en realidad, una manera de hablar del equilibrio que se estableció sobre la Tierra en esa época. Imaginemos, como propone el inglés James Lovelock, un pequeño planeta poblado por margaritas blancas y margaritas negras. Las blancas reflejan la luz del sol y propenden a enfriar la temperatura de su entorno; las negras, en cambio, absorben la luz solar y tienden a recalentar su medio.

— *Compiten, entonces.*

— Exactamente. El planeta es muy caluroso al comienzo. Las margaritas no resisten y mueren en cantidad. Algunas blancas, agrupadas en un pequeño sistema local, enfrían por simple presencia su entorno y sobreviven. Mientras más se enfría la temperatura en esa región, más proliferan y más terreno ganan. Al cabo de algún tiempo, ocupan casi toda la superficie del planeta, que se torna casi todo blanco. Pero de súbito baja la temperatura y comienzan a morir. Ahora son las negras las que sobreviven y gozan de ventajas: recalientan el entorno y ganan. El sistema empieza a marchar en otro sentido hasta que vuelva a darse un golpe de calor...

— *Esto puede durar mucho.*

— No. Porque con el curso del tiempo, por un juego de nacimientos y de muertes, se instaura un equilibrio y se impone un entramado de blancas y negras en una temperatura óptima para la supervivencia del conjunto. El juego de las superficies de las unas y las otras actúa como termostato. Y si por alguna razón se produce un golpe de calor, el sistema volverá a estabilizarse al cabo de un tiempo.

El alba de la vida

— *¿Y qué relación tiene aquello con la Tierra primitiva?*

— La historia de las margaritas es la de la vida en la Tierra. La distancia entre el Sol y la Tierra hoy nos parece "adecuada" para el desarrollo de la vida, pero no es así por un azar: en realidad, los primeros componentes de la vida adaptaron la temperatura al nivel más conveniente para su supervivencia y proliferación.

— *Una especie de autorregulación. ¿Y cómo se las arreglaron esos componentes?*

— Estamos en el alba de la Tierra, hace unos cuatro mil millones de años. Nuestro planeta es un núcleo de silicatos, una corteza de carbono, una atmósfera constituida por nuestra mezcla gaseosa: metano, amoníaco, hidrógeno, vapor de agua y gas carbónico. Bajo el efecto de radiación solar ultravioleta y de violentos rayos, estas moléculas de gas que flotan alrededor del planeta se quiebran en fragmentos, se

disocian y construyen elementos más complejos, las primeras moléculas llamadas "orgánicas" porque hoy intervienen en la composición de seres vivos. Por ejemplo: los átomos de carbono, de nitrógeno, de hidrógeno y de oxígeno, hasta entonces asociados en metano, amoníaco y agua, se ensamblan para constituir aminoácidos.

— *Hubert Reeves ya destacaba la buena fortuna del carbono en la evolución.*

— Posee, en efecto, una geometría que le da la capacidad de relacionarse de diversos modos con otros átomos para formar estructuras estables, moléculas muy reactivas o largas cadenas orgánicas. Puede conducir, también, electrones de un extremo a otro de estas cadenas, lo que en cierto modo anuncia las redes nerviosas y las redes de comunicaciones electrónicas que ha inventado el hombre. Las moléculas vivientes son, por lo tanto, ensamblajes de átomos de carbono y de átomos de oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Nada más. Apenas esas moléculas se forman en la atmósfera, llueven en el océano y allí se quedan protegidas.

— *¿Cuánto tiempo va a durar esto?*

— Las moléculas orgánicas van a llover durante más de quinientos millones de años, con los verdaderos diluvios que resultaron de la condensación de vapor de agua en las capas frías de la atmósfera. En esa época se determinan dos características esenciales del mundo viviente: su composición química —todos los organismos están hechos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno— y su fuente de energía, el Sol.

Las lluvias orgánicas

— *¿Y esas lluvias se han producido en otros planetas?*

— Ya lo dijo Hubert Reeves. Los astrofísicos descubrieron que hay moléculas orgánicas en casi todo el universo. Desde hace quince años han identificado alrededor de setenta, lo que muestra que aquello no ha sido excepcional. Hace

cuatro mil quinientos millones de años había una fuerte probabilidad de que se formaran.

— *Los primeros elementos de la vida cayeron entonces, en cierto sentido, del cielo.*

— Sí. En la lluvia ininterrumpida de moléculas que riega la Tierra hay aminoácidos, ácidos grasos, los precursores de los lípidos. Dos moléculas, el formaldehído y el ácido cianhídrico parecen haber desempeñado un rol importante en esta época: sometidos a los rayos ultravioletas, estos dos gases dan nacimiento a dos de las cuatro "bases" que más tarde compondrán el ADN, el sostén de la herencia. Ya hay entonces, en ese gigantesco caldo de cultivo que es el planeta primitivo, dos de las cuatro "letras" del código genético que caracteriza a los seres vivos.

Pero todo está mezclado, como en el caos inicial del Big Bang.

— En efecto, es una sopa compuesta de moléculas muy diversas. Y como en la sopa de letras de Hubert Reeves, estas nuevas letras van ahora a ensamblarse para formar palabras, las cadenas de aminoácidos, que se agruparán por cientos para formar frases, las proteínas. Las moléculas son las que ahora prosiguen la obra de la complejidad.

— *¿Y qué podría haber hecho fracasar estas primeras síntesis?*

— La vida misma, si hubiera existido antes. O el calor de los rayos ultravioletas, si hubiera sido demasiado intenso. La atmósfera de la Tierra no sólo engendró estas moléculas, sino que las protegió, sirviéndoles de escudo. Se habrían perdido si hubieran permanecido al aire libre. Más tarde, las primeras células utilizarán, por el contrario, la energía del Sol para producir oxígeno, y el oxígeno producirá el ozono de la alta atmósfera, el cual a su vez las protegerá de los rayos ultravioletas. La vida se aseguró su propia supervivencia.

Escena 2. La vida se organiza

Llueve en el planeta. Caídas del cielo, sutiles moléculas se instalan en las lagunas e inventan las primeras gotas de vida.

Nacidas de la arcilla

— *Hasta ahora nuestra historia se parece a un juego Lego: los ensamblajes son más y más complejos y forman cadenas de moléculas gigantes. Pero siguen siendo materia. ¿Qué golpe de varita mágica hace surgir la vida?*

— Una nueva etapa sólo se puede franquear en la medida en que las moléculas son capaces de continuar sus ensamblajes. La temperatura ha jugado este rol gatillador en el universo. En la Tierra, lo desempeñará un entorno muy particular.

— *¿El de los océanos?*

— No. La vida no apareció en los océanos, como se ha creído por mucho tiempo, sino muy probablemente en las lagunas y en los pantanos, en lugares secos y calurosos de día y fríos y húmedos por la noche, lugares que se secan y se rehidratan. En esos medios hay cuarzo y arcilla en donde las largas cadenas de moléculas van a quedar atrapadas y asociarse unas con otras. Esto se ha confirmado en experiencias recientes que permitieron simular los ciclos de sequía en los mares: en presencia de arcilla, las famosas "bases" se ensamblan espontáneamente en pequeñas cadenas de ácidos nucleicos, formas simplificadas de ADN, soportes futuros de la información genética.

— *¡La vida naciendo de la arcilla! Tal como en el caso del origen del universo, hay una semejanza asombrosa entre las afirmaciones de la ciencia y las creencias ancestrales: en numerosas mitologías se relaciona el origen de la vida con el agua y la arcilla...*

— Es un relato muy hermoso. El hombre habría sido construido por los dioses, que habrían fabricado estatuillas de arcilla y agua... ¿Es una coincidencia o una

comprobación a posteriori? El pensamiento humano, como el de los niños, quizás posee intuiciones simples, que la ciencia podría confirmar a continuación...

La invención del interior

— *¿Cómo actúa la arcilla en estas moléculas?*

— Se comporta como un pequeño imán. Sus iones, es decir sus átomos que han perdido electrones o los poseen en exceso, atraen la materia próxima y la incitan a reaccionar. Los famosos oligoelementos actuales resultan, por lo demás, de la evolución de estos pequeños iones del océano primitivo. Y gracias a ellos pueden continuar los ensamblajes de la materia.

— *¿Para seguir produciendo otros largos rosarios de átomos?*

— No sólo eso. Ahora se produce un fenómeno nuevo. Algunas moléculas son hidrófilas, el agua las atrae; otras son hidrófobas, rechazan el agua. Las proteínas que se encuentran en las lagunas están compuestas de aminoácidos, entre los cuales hay algunos que gustan del agua y otros no. ¿Qué hacen? Se apolotonan, lo que los pone en contacto con el agua exterior y los separa del agua interior.

— *¿Forman una bola?*

— Se cierran sobre sí mismos, en cierto modo. Otras cadenas de moléculas forman membranas y se transforman en glóbulos que, en ese momento, aparecen en los océanos como gotas de aceite en el vinagre. La aparición de estos diversos glóbulos pre vivientes es un fenómeno fundamental.

— *¿Por qué?*

— Por primera vez en esta historia aparece una cosa cerrada sobre sí misma, que tiene un adentro y un afuera, como diría Teilhard de Chardin. Este interior va a dirigir de ahora en más la evolución de nuestros pequeños glóbulos hasta el nacimiento de la vida y más tarde de la conciencia.

— *¡La conciencia por la magia de la vinagreta!*

— En cualquier caso, la vida nacida de la emulsión, ¿por qué no? El interés de estas pequeñas gotas es que forman un medio estanco, cerrado, que están aisladas de la sopa primitiva. Mantienen apresadas unas sustancias químicas que componen cocteles que les son propios. Se transforman en los nuevos crisoles de lo viviente.

— *Y toman la iniciativa de la evolución, como hicieron en su momento las estrellas en el primer acto, y devuelven impulso a la complejidad.*

— Exactamente. Los nuevos ensamblajes no habrían podido ocurrir sin esas membranas (pensemos en un ser humano que no tuviera piel). Era indispensable que se constituyeran medios estancos para que la evolución pudiera continuar.

— *¿Cómo lo sabemos?*

— En laboratorio se puede reproducir fácilmente esta etapa. Cogemos aceite, azúcar, agua. Agitamos y obtenemos emulsiones constituidas de pequeñas gotas que vistas en el microscopio parecen células. Es un fenómeno espontáneo. En la sopa primitiva las moléculas eran bastante grandes para aglomerarse, cerrarse y formar estas gotas.

— *¿Y esto sucedió en todas partes, en el planeta?*

— En todas las lagunas. Las gotas tienen un mismo tamaño, que corresponde a un equilibrio entre el volumen, el peso y la resistencia de la membrana (si son demasiado voluminosas, la membrana se fragmenta). Por esta razón, todas las células vivientes que resultaron tienen más o menos la misma dimensión, entre diez y treinta micrones.

Gotas de vida

— *Pero esas gotas no están "vivas".*

— No todavía. Digamos que están "*pre-vivas*". En ese momento proliferan en inmensas cantidades. Tienen la ventaja de ser semipermeables: dejan pasar

algunas moléculas pequeñas que, en el interior, se transforman en grandes moléculas que así se encuentran en una verdadera trampa. Empieza una nueva alquimia, se producen reacciones químicas...

— *¿Cada una de esas gotas prepara su pequeña sopa? En cierto modo, comienza aquí la individualidad...*

— Sí, y va a producir una gran diversidad de sistemas "pre-vivientes". A veces el cóctel químico hace estallar las membranas y las moléculas se dispersan. Otras veces contribuye, en cambio, a reforzar la membrana y asegura entonces la supervivencia del sistema... De este modo se esboza una especie de selección de gotas que va a durar millones de años. Antes de la vida hay una lucha por la vida.

— *¡Una selección natural a esas alturas!*

— La que predijo Darwin. Sólo subsisten las gotas que poseen un medio interior adaptado al entorno. Y las que cuentan con la posibilidad de producir energía, por ejemplo, tienen ventaja sobre las demás.

— *¿Por qué?*

— Porque esta energía permite que se desarrollen. Unas utilizan para esto las sustancias del exterior que atraviesan sus membranas: son las primicias de las reacciones de fermentación. Otras, que han conservado pigmentos, es decir moléculas capaces de capturar la luz, transforman los fotones del Sol en electrones, como hacen las pilas solares. Y no dependen de la absorción de sustancias exteriores.

— *¿Es mejor?*

— ¡Por supuesto! La sopa primitiva, poblada por tanta gota bulímica, comienza a empobrecerse con el tiempo. Las pequeñas estructuras autónomas poseen una ventaja sobre las que necesitan absorber sustancias más y más escasas.

— *¡Ya hay escasez!*

Sí. Pero todo eso no conduciría a nada si no aconteciera entonces otro fenómeno: algunas gotas pueden reproducir el pequeño cóctel interior, multiplicar su receta química. Esto les dará una ventaja evolutiva considerable.

Supervivencia asegurada

— *¿Cómo sobreviene la reproducción?*

— Aquellas gotas contienen una cadena particular de moléculas, un ácido llamado ARN, que está compuesto de cuatro moléculas (las cuatro bases de los futuros genes). Recientemente se ha demostrado que posee un extraordinario poder: se puede auto-reproducir. Imaginemos que una gota se fragmente en dos y que la nueva gota resultante posea un ARN semejante al primero. Imaginemos también que este ARN desempeñe un rol catalizador en la estructura de la gota. Habrá entonces transmisión de una especie de plan primitivo que puede servir para reconstruir una membrana y un sistema idénticos. Se trata, en estado primitivo, de un sistema auto-reproductor. Y se puede suponer que las gotas que poseen ese ARN tienen asegurada la supervivencia de su "especie".

— *¿Se podría decir que se trata, esta vez, de las primeras "gotas de vida"?*

— Se suele aceptar que un organismo vivo es un sistema capaz de asegurar su propia conservación, arreglárselas por sí mismo y reproducirse. Son tres principios que caracterizan la célula, estructura elemental de todo ser vivo, desde la bacteria hasta el hombre, y que se pueden atribuir, en efecto, a estos glóbulos primitivos. No hay ser "vivo" si falta una de esas propiedades. Un cristal, por ejemplo, no vive: se reproduce, pero no fabrica energía.

— *¿Y un virus vive?*

— Es un caso más ambiguo. Consideremos, por ejemplo, uno como el mosaico del tabaco (que origina una enfermedad de esa planta). Si se lo deshidrata, se obtienen cristales que se pueden conservar por años en un recipiente, como si se tratara de sal o azúcar vulgares. El virus no se reproduce, no se mueve, no asimila ninguna

sustancia, no "vive". Es un cristal. Y un día se lo vuelve a coger, se le agrega agua... Si se coloca un poco de la solución en una hoja de tabaco, la planta muy pronto muestra señales de infección: el virus ha recuperado sus poderes. Y se reproduce a una velocidad aterradora.

— *¿Entonces está vivo o no lo está?*

— Digamos que está en la frontera. Es una especie de parásito que necesita vida para reproducirse. Utiliza la célula como una fotocopiadora. Se llegó a creer que los virus eran las formas más simples de la vida, incluso que se situaban en su origen mismo. Pero es poco probable, porque necesitan de estructuras vivas para reproducirse. Hoy se piensa, por el contrario, que los virus son estructuras hiperperfeccionadas, descendientes de células que habrían evolucionado liberándose del molesto material de la reproducción para reducirse a la expresión más simple y conseguir la mayor eficacia... Se habrían simplificado para llegar a su mínimo vital.

La contaminación por la vida

— *Volvamos a esas gotas algo particulares, las que pueden reproducirse. Se adivina que así van a proliferar...*

— El juego químico continúa en su seno. Se perfecciona el código de la reproducción. Se acoplan de dos en dos y se modifican ligeramente: los filamentos de ARN se ordenan y forman una hélice doble, el ADN, estructura que termina imponiéndose porque presenta mayor estabilidad. Empieza entonces un diálogo químico entre dos tipos de cadenas de moléculas: las proteínas y el ADN. Es muy probable que la reacción sea directa entre las dos: unas se introducen en los agujeros de las otras mediante un juego de afinidades químicas simples y regulares.

— *¿Y la naturaleza llega así a la fase de los genes, los sostenes de la herencia?*

— Los genes de todos los seres vivientes en la Tierra son como segmentos de rosarios, retorcidos, formando una hélice doble; están compuestos de cuatro

moléculas, las cuatro bases, como si fueran palabras muy largas escritas en un alfabeto de cuatro letras. Se engarzan de dos en dos, una adecuación perfecta.

— *¿Las gotas de ADN van a colonizar la Tierra?*

— ¡De manera fulgurante! Las primeras gotas aparecieron en la Tierra hace unos cuatro mil millones de años. Y la evolución química prosiguió en los quinientos años posteriores. Parece que la vida permaneció mucho tiempo, durante cientos de millones de años, en estado latente, limitada a algunas zonas locales, en lagunas o estanques. Y después, bruscamente, lo invadió todo.

— *¿En cuánto tiempo?*

— Quizás en algunas decenas o cientos de años. ¿Quién puede saberlo? Fue una verdadera explosión si se compara esto con los miles de millones de años anteriores. Cada célula se divide en dos, después en cuatro, en ocho, en dieciséis, en treinta y dos, etc. Muy pronto se llega a cantidades astronómicas. Nada podía destruirlas o impedirles la proliferación en esa época sobre la Tierra. En la actualidad los seres vivos aniquilarían todo intento de aparición de una vida nueva. Y apenas nacida, la vida ha quemado los puentes detrás de ella. En cierto modo, contaminó la Tierra.

— *¿Se puede decir que hay una "lógica" de la naturaleza, que la condujo a hallar y a generalizar el ADN?*

— No. La naturaleza no "halla", carece de intención. Procede por eliminación. El ADN permite una diversidad considerable de estructuras vivas. Han proliferado, lógicamente, las que gracias a él pudieron reproducirse. Por eso se impuso el ADN.

— *Si existe vida en otros planetas, ¿también se fundaría en el ADN?*

— Es probable. El ADN está inscrito en una lógica evolución química del universo.

El rojo y el verde

— *¿Cómo evolucionaron las primeras gotas?*

— En algunas se van a seleccionar mecanismos de fermentación. Al comienzo de la vida, desprenden cantidades importantes de metano y de gas carbónico que van a disolverse en los océanos. Esos sistemas existen todavía hoy: en la panza de los rumiantes, en nuestro colon, hay bacterias que fermentan en ausencia de oxígeno y producen metano, gas y sustancias que necesitamos para vivir. Pero este mecanismo no es muy eficaz.

— *¿Y cuál es mejor?*

— Habrá dos hermosas invenciones: la fotosíntesis y la respiración. La primera se funda en la clorofila, la segunda en la hemoglobina, dos moléculas casi idénticas que provienen posiblemente de una misma "antepasada". Se produce entonces un punto de inflexión entre esas dos categorías: por una parte, las gotas que fabrican energía directamente, utilizando la luz solar que se filtra en los océanos y el gas carbónico desprendido de las fermentaciones (la fotosíntesis); por otra, las que absorben las sustancias ricas en energía y el oxígeno expulsado por las otras (la respiración) y que deben desplazarse para hallar alimento. Es el divorcio entre las futuras bacterias y las futuras algas, entre el mundo animal y el vegetal.

— *¿Tan pronto? ¿En una fase tan primitiva?*

Así parece. El árbol de la vida se ramifica muy pronto, desde la aparición de las primeras células. Los fósiles más antiguos de microorganismos que se ha descubierto recientemente en Australia son restos de bacterias que funcionaban a fotosíntesis hace tres mil quinientos millones de años.

El punto de inflexión original

— *Los dos mundos se separan, pero siguen dependiendo el uno del otro.*

— Sí. Se pondrán en relación simbiótica. Las células a fotosíntesis utilizan el gas carbónico y el agua y fabrican oxígeno y azúcares. Otras los absorben para catalizar

la combustión de los azúcares gracias al oxígeno, y expulsan gas carbónico y sales minerales.

— *Son las primeras comidas de la naturaleza.*

— Sí. Células que "comen" otras células. El entorno ha cambiado. La aparición de la fotosíntesis libera grandes cantidades de oxígeno, lo que da nacimiento, en la alta atmósfera, a la famosa capa de ozono. Esta conforma una barrera contra los rayos ultravioletas y crea un escudo, una piel, que protege la proliferación microbiana.

— *¿Las gotas ya se llaman células?*

— Sí. Y estas células primitivas van a proseguir su evolución. Se dotan de un núcleo. Una teoría reciente afirma que esta nueva etapa resultaría de un extraño acoplamiento: la célula vegetal habría nacido de una célula huésped que habría adoptado a "ocupantes ilegales", algas a fotosíntesis que se transformaron en cloroplastos. Y de manera simétrica, la célula animal sería otra célula huésped que habría cohabitado con otro tipo de ocupante ilegal, con bacterias que se convertirían en mitocondrias, especies de micro centrales de producción de energía que existen en todas las células vivas evolucionadas.

— *¿Formas de parasitismo?*

— De algún modo. Más bien una simbiosis. Estos microorganismos se habrían perfeccionado y adquirido, por ejemplo, un flagelo que les permitió desplazarse. Junto a las algas y las bacterias prolifera entonces otra familia, las células con núcleo, móviles y predadoras: poseen una abertura en su membrana, cilios vibrátiles que atraen bacterias y algas; y expulsan sus propios desechos.

— *¿Había otras evoluciones posibles en el caso de estas gotas?*

— La naturaleza experimentó, sin duda, todas las formas posibles de reproducción y metabolismo. Se movió en todos los sentidos. Pero la vida, tal como la conocemos, eliminó las otras pistas. Se conoce otra forma de vida en la Tierra, muy escasa y extraña, en las grandes profundidades oceánicas, organizada en torno de surtidores azufrados del magma terrestre: son especies de oasis submarinos donde todo es

amarillo y rojo. Allí no existe el verde, porque no hay clorofila. A las bacterias las comen micro-células que son comidas por micro-peces que a su vez sirven de alimento a peces más grandes...

Los colores de lo viviente

— *La naturaleza nunca retrocede en esta historia. Avanza hacia lo complejo. ¿Poseerá una memoria?*

— Hay una especie de memoria química, en el sentido de que una molécula es a la vez una forma y una información para otras moléculas. Estas formas son complementarias, se engarzan unas en otras, tienen afinidades, se reconocen. El mundo molecular es un mundo de señales, la química es su lenguaje. Algunas poblaciones de moléculas conducen energía a distancia, otras se reproducen, otras se aíslan del agua, otras atraen nubes de electrones. Lo que hacen los pigmentos, por ejemplo. ¿Y sabe por qué es tan coloreada la vida?

— *No sólo por razones de belleza, supongo...*

— No sólo por eso. Un pigmento es una molécula que posee electrones muy móviles. Esta característica le permite absorber granos de luz, fotones, reconstruir determinados espectros y así colorear la materia; pero también favorece la construcción de cadenas moleculares que participan en la construcción de lo vivo. Los pigmentos organizan una química sutil que no necesita de mucha energía. Por ello la hemoglobina y la clorofila integran la composición de lo viviente y la sangre es bermellón y son verdes las hojas.

— *Primacía de la belleza... ¿El mundo vivo no podría ser gris?*

— Probablemente no. Ni todo blanco ni todo negro. El color está vinculado estrechamente a la vida.

Las coincidencias falsas

– *Una vez más el tiempo ha desempeñado un rol fundamental en esta parte de la historia.*

Sí. Se contrae o se expande según las fases de la evolución. La aparición de una molécula muy activa concentra el espacio/tiempo: puede invadir su entorno y neutralizar en algunos instantes a las demás moléculas que debieron evolucionar millares de años.

– *¿Ya está completo el escenario que va desde la Tierra primitiva hasta la primera célula?*

– Conocemos las grandes etapas, a pesar de algunas lagunas: no se sabe muy bien, por ejemplo, cómo se impusieron los mecanismos reproductores. Algunos investigadores siguen creyendo que la vida nació en otra parte y que un meteorito la aportó a la Tierra y contaminó así este planeta. Y esto no es completamente absurdo.

– *¿Se puede reproducir en laboratorio esta evolución mediante síntesis químicas y fabricar vida en probetas?*

– Casi. Hay muchos científicos que desean hacerlo. Se trata del campo, reciente, que se llama "vida artificial" e incluye diversos planteamientos. Se pueden realizar síntesis de moléculas e incluso suscitar una evolución espontánea en tubos de ensayo, creando condiciones darwinianas de selección para fabricar moléculas que se reproduzcan. Es posible, también, saltarse etapas recurriendo a simulaciones con ordenadores. Se ha llegado incluso a crear robots como insectos, capaces de adaptarse espontáneamente a situaciones nuevas, subir escaleras, levantarse cuando caen, huir del calor, emitir señales entre ellos. Algunos investigadores intentan fabricar formas distintas de vida, a base de silicio, por ejemplo.

– *No podemos dejar de advertir, como en el caso de la evolución del universo, que parece haber una lógica en este relato. ¿Será la de lo viviente, como sugería el biólogo François Jacob?*

— Hablemos mejor de una sucesión de reacciones químicas que conducen a situaciones irreversibles y a nuevas propiedades. Todo esto construye una historia al cabo de la cual estamos nosotros y que nosotros reconstituimos. Y nos parece única porque es la nuestra.

— *¡Cuánta coincidencia, en todo caso!*

— No se trata de coincidencias. Pensemos en un soldado que nos cuenta extraordinarios sucesos de guerra. Estaba en un departamento y cayó un misil en el inmueble; pero a él le salvó una cama bajo la cual se estaba protegiendo. En el curso de una misión, saltó en paracaídas; el sistema falló, pero nuestro hombre cayó en un pantano que amortiguó el golpe. Su relato puede parecer inaudito, pero sólo es así porque allí está él para contarlo. Hay millones de historias de soldados que terminaron mal, trágicamente, pero ellos no están aquí para contarlas. Así es la vida. Nos parece resultar de una serie de coincidencias, porque olvidamos los millones de pistas que no llegaron a nada. Nuestra historia es el único relato que podemos reconstruir. Por ello nos parece tan extraordinaria.

Escena 3. La explosión de las especies

Las células, demasiado tiempo solitarias, se tornan solidarias. Se despliega un mundo lleno de colores: nacen las especies, mueren, se diversifican. La vida crece y se multiplica.

La solidaridad de las células

— *En esta etapa de nuestra historia, la Tierra está poblada de células que viven apaciblemente en los océanos y que muy bien pudieron continuar así...*

— Pero llega un momento en que se ven obligadas a evolucionar. Las primeras células, que proliferan, se envenenan con los desechos que ellas mismas arrojan al

entorno. Desde un comienzo la vida muestra una tendencia natural a agrupar a los individuos. Las sociedades "celulares" poseen ventajas evolutivas evidentes. Están mejor protegidas, sobreviven mejor que las células aisladas.

— *¿Cómo se van a constituir?*

— El comportamiento de una ameba, el *dycostelium*, que hoy vive todavía, nos puede ayudar a saberlo. Se alimenta de bacterias. Si se la priva de alimento y de agua, emite una hormona de ansiedad. Se le unen otras amebas y se aglomeran en una colonia de cerca de un millar de individuos que se desplazan en busca de alimento. Si no lo encuentran, se fijan, desarrollan un tallo con esporas y así se quedan indefinidamente, en plena sequía. Si aparece agua, las esporas germinan y producen amebas independientes que se marchan cada una por su lado... Los volvox, pequeñas células provistas de flagelos, se comportan del mismo modo: en un medio pobre en sustancias nutritivas, secretan una especie de gelatina, se pegan unas con otras y se desplazan en la misma dirección, con los flagelos en la parte exterior, de un modo coordinado, como formando una sola y la misma entidad.

— *¿Así se constituyeron los primeros organismos multicelulares?*

— Es probable que una lógica semejante de socialización haya actuado en los comienzos de la vida. Las primeras asociaciones de células utilizan una especie de cañería central, una suerte de cloaca general para evacuar desechos. Otras tienen forma ahusada, adelante poseen un sistema de coordinación y atrás o a los costados un sistema de propulsión. De este modo se mantienen juntas.

— *¿A qué se parecen estos primeros conjuntos de células?*

— Están compuestos por varios miles de individuos y forman pequeñas jaleas transparentes; son los primeros organismos marinos, gusanos, esponjas, medusas primitivas. Esta transformación ocio re en un lapso de sólo algunos cientos de miles de años. La evolución se acelera.

La división del trabajo

— *Estos nuevos ensamblajes son muy distintos de los anteriores.*

— Sí. La materia suele estar hecha de apilamientos de átomos idénticos unos a otros. En el mundo viviente, las células se diferencian según el lugar que ocupan en la estructura. Algunas se van a especializar en la locomoción, otras en la digestión, y otras en la acumulación de energía. Poco a poco, reproduciéndose en el curso de las generaciones, estos organismos transmiten sus propiedades a su descendencia.

— *¿Y se puede seguir explicando este fenómeno por la mera urgencia de sobrevivir?*

— Sí. El organismo compuesto por células especializadas resiste mejor que un conjunto de células idénticas, pues puede responder de distintos modos a las agresiones del entorno, lo que le concede mejores posibilidades de supervivencia. Los sistemas monolíticos siempre han terminado por desaparecer.

— *¿Pero qué empuja a estas células a asociarse? Desde luego, no se dicen "esto nos conviene para sobrevivir"...*

— ¡Por supuesto que no! Las células no saben, es obvio, que les interesa sobrevivir. Pero poseen mecanismos de aproximación que las invitan a ligarse a sus semejantes, e intercambian sustancias unas con otras. El juego de esta comunicación química y de los pequeños cambios que afectan sus genes termina por especializarlas. Se establece entonces una topografía en el grupo de células. Una medusa, por ejemplo, posee un sistema de contracción para desplazarse y un sistema sensorial que le permite dirigirse hacia el alimento. El plan del conjunto está contenido en cada una de las células. Basta con una para que vuelva a empezar la organización.

— *A pesar de todo, las células que permanecieron solitarias consiguieron sobrevivir y algunas lo han hecho hasta hoy. ¿Por qué no se reagruparon éstas?*

— Porque estaban bien adaptadas a su entorno. Es el caso de los paramecios y las amebas: una sólida membrana las protege y están equipadas con cilios vibrátiles que les permiten desplazarse con facilidad; disponen de manchas fotosensibles que les señalan la luz y de enzimas eficaces que digieren toda suerte de presas. Una

bacteria posee hasta una especie de olfato: receptores químicos que comunican con su flagelo y la guían hacia los medios con mayor abundancia de alimento, como si sintieran el olor de la comida.

¡Viva el sexo!

— *¿Y cómo van a continuar su evolución los organismos de varias células?*

— El árbol de la vida se desarrolla en tres grandes ramas a partir de los seres pluricelulares más simples, como las algas, las medusas, las esponjas: la de los champiñones, los helechos, los musgos, las plantas de flor; la de los gusanos, los moluscos, los crustáceos, los arácnidos, los insectos, y la de los peces, los reptiles, los procordados, luego las aves, los anfibios, los mamíferos...

— *Y después viene una invención mayor: el sexo. Hasta entonces las células se reproducían, en el sentido propio del término: de manera idéntica. Con el sexo, dos seres vivos procrean un tercero que es distinto de ellos dos. ¿Quién fue el astuto que lo inventó?*

— Según algunas hipótesis, el sexo habría nacido del... canibalismo: al comerse unas a otras, las células habrían integrado los genes de otras especies, que luego se habrían mezclado. Este fenómeno existe en las bacterias: algunas, bautizadas más y menos, se aparean e intercambian su material genético. En seguida, a medida que los organismos se tornan más complejos, se van a dotar de células especializadas en la reproducción, las células germinales, que incluyen, cada una, la mitad de los genes de su organismo. La sexualidad se generaliza.

— *Y desde ese momento el mundo viviente se hace más y más variado.*

— Es una revolución. La naturaleza puede combinar genes gracias a la sexualidad. Estalla la diversidad. Comienza la gran aventura de la evolución biológica; va a experimentar innumerables ensayos fracasados, pistas que no llevan a ninguna parte, especies que no sobreviven... La naturaleza pone a prueba en gran escala: si la especie inventada no se adapta, desaparece.

— *¿Por qué la sexualidad se estabilizó entre dos? ¿Por qué no entre tres?*

— La mezcla de genes pone en juego, con los dos filamentos del ADN, un proceso de duplicación. Para combinar dos pares de cromosomas en un huevo fecundado, se necesita una maquinaria biológica extremadamente compleja. Y lo sería aún más si tuviera que mezclar tres patrimonios genéticos. Si hubo especies que inventaron una sexualidad de este tipo, no han sobrevivido.

La muerte necesaria

— *Y se produce otro fenómeno decisivo: la introducción del tiempo en el organismo, es decir el envejecimiento y, en última instancia, la desaparición del individuo, la muerte. ¿No se pudo prescindir de esto?*

— La muerte es tan importante como la sexualidad: vuelve a poner en circulación los átomos, las moléculas, las sales minerales que necesita la naturaleza para continuar desarrollándose. La muerte realiza un gigantesco reciclaje de unos átomos cuyo número es constante desde el Big Bang. Gracias a ella, la vida animal se puede regenerar.

— *¿Estaba presente desde los primeros organismos?*

— Sí, también envejecen las medusas. Las células no dejan de reproducirse en todos los seres vivos, pero poseen un oscilador químico, una especie de reloj biológico interno que limita la cantidad de sus reproducciones: entre cuarenta y cincuenta. Cuando llegan a esta fase, un mecanismo programado en sus genes las conduce a una especie de suicidio. Mueren. Sólo las células cancerosas eluden esta fatalidad: se reproducen indefinidamente, sin especializarse ni diferenciarse como lo hacen las células embrionarias.

— *Pero su inmortalidad provoca la muerte del organismo al que pertenecen... ¿Se puede decir que la muerte es una necesidad de la vida?*

— Totalmente. Pertenece a la lógica de lo viviente. A medida que las células se dividen, multiplican los errores de sus mensajes genéticos y éstos se acumulan en el curso del tiempo. Finalmente hay tantos errores que el organismo se degrada y muere. Es un fenómeno ineluctable. La muerte no es, por cierto, un regalo para el individuo, pero sí lo es para la especie: le permite conservar su nivel óptimo de desempeño.

— *¿Qué más puede hacer la evolución una vez que conoce el sexo y la muerte?*

— Perfeccionarse. El mundo viviente va a seleccionar un modo de fabricar energía; utilizando los azúcares como alimento, va a enriquecer su metabolismo y desarrollar músculos, lo que le permitirá actuar, nadar, volar, correr, conquistar el mundo. Simultáneamente, los captosres, que son los sentidos, coordinan las actividades del organismo. Aparecen tres grandes novedades: el sistema inmunitario, que asegura protección contra parásitos o virus; el sistema hormonal que permite el control de los ritmos biológicos y de la reproducción sexuada, y el sistema nervioso, que rige la comunicación interna.

— *¿Cuándo aparece este último?*

— Los primeros organismos, medusas, peces primitivos, necesitan coordinar sus células para reproducirse. Cuentan por lo tanto con canales especializados por donde circula la información. Un gusano, que apenas está compuesto por algunos miles de células, posee fibras nerviosas que convergen en su cabeza, ganglios. En el curso de la evolución, este dispositivo se va a ramificar para formar una red de neuronas interconectadas que se reunirán en un cerebro. De hecho, los tres sistemas, nervioso, hormonal e inmunitario, aparecen apenas los animales salen del agua.

El regalo de las lágrimas

— *¿Qué los impulsa a salir del agua?*

— Las especies pululan en los océanos. Reina la competencia. Aventurarse a tierra firme parece ventajoso para conseguir alimento, pero volviendo al océano para poner los huevos. El primero que experimentó esta fórmula fue sin duda un pez extraño, el ictiostega. Posee grandes aletas, vive en pequeñas lagunas y saca del agua de vez en cuando sus ojos globulosos para buscar pequeños insectos. En el curso de las generaciones, los descendientes de esta especie se arriesgan más tiempo en tierra firme gracias a unas branquias que les permiten capturar oxígeno del aire, pero también gracias a las lágrimas: tienen que conservar húmedos los ojos para poder ver tan bien en tierra como en el agua. La especie mejora por sucesivas selecciones: las aletas se tornan más sólidas, aparece una cola. Sus descendientes serán los batracios y los anfibios. ¡No estaríamos aquí si este pez no hubiera tenido lágrimas!

— *¿La vida al aire libre favorece la evolución?*

— Sí. La comunicación es más inmediata en el aire, más rápida, más sencilla. Y mayor la accesibilidad del alimento. Sin embargo, el oxígeno es un veneno para la vida: contribuye al nacimiento de radicales libres, moléculas desequilibradas, que inducen la destrucción celular y por lo tanto el envejecimiento precoz; pero es esencial para dotar de energía a los organismos y hacer avanzar la evolución.

— *¿Y cómo van a acelerar el perfeccionamiento de los organismos estas restricciones del medio?*

— Con la aparición del esqueleto, los animales se tornan más sólidos y se liberan del peso. La invención de los músculos les permite dejar de ser bolas de gelatina muelle como los gusanos de tierra o las medusas; ahora pueden ejercer presión mecánica sobre el entorno, soportar el peso de la grasa protectora y del cerebro. Todo se diversifica: el metabolismo, los sistemas de locomoción... Durante este tiempo se seleccionan en las plantas los sistemas para captar la energía solar con las hojas y para transportar energía con la savia.

El olfato de los vegetales

— *¿Y por qué los vegetales no desarrollaron todas estas maravillas que aportaron los animales?*

— Con la excepción de las algas, que evolucionaron en la superficie de los océanos, los vegetales se ingeniaron un camino más económico gracias a su inmovilidad, que les permite gastar menos energía. Su modo de vida es sencillo: fotopilas para transformar directamente la energía solar en energía química, raíces para extraer sales minerales y agua... Lo astuto es su sistema reproductor, que es móvil y utiliza variados medios. También los vegetales han heredado una sexualidad muy rica y están adaptados maravillosamente bien. Basta, para comprobarlo, observar un champiñón al pie de una secuoya gigante de varios miles de años de edad. O, sencillamente, basta mirar los triviales pinos de montaña.

— *¿Y en qué se advierte que resultan de una buena adaptación?*

Necesitan de una determinada temperatura para desarrollarse en el bosque. Tal como las margaritas de nuestro planeta imaginario, los árboles sombríos y negros capturan mejor el débil resplandor solar, calientan el entorno inmediato y crean un microclima favorable para su crecimiento. Pero en invierno se cubren de nieve y quedan blancos. Si se mantuvieran así demasiado tiempo, ya no podrían asegurar las condiciones propicias. Ahora bien, como tienen las ramas inclinadas hacia abajo y en punta, la nieve se sostiene menos tiempo; recuperan su color y se calientan rápidamente. La evolución ha mantenido el tipo de árbol que mejor resiste la intemperie. Por eso hay pinos en las montañas...

—... *y uno se maravilla por esa fantástica adaptación. Una pregunta ingenua: ¿por qué los vegetales no desarrollaron un cerebro?*

— Seres inmóviles no necesitan funciones complejas de coordinación. No les impulsa la necesidad de huir o de luchar como los animales. Comenzamos, no obstante, a descubrir, en las plantas, una forma de sistema inmunitario, un sistema de comunicación e incluso un homólogo del sistema nervioso. Los vegetales poseen sofisticados mecanismos que los protegen contra invasores: una suerte de

"hormona" vegetal les permite, por ejemplo, movilizar sus defensas. Se sabe, también, que los árboles se "avisan", a distancia, la presencia de un agresor.

— *¿"Avisan"?*

— Sí. Cuando están en presencia de animales predadores que les quieren comer las ramas bajas, algunos árboles emiten productos volátiles que transportados de árbol en árbol modifican la producción de proteínas y dan a las hojas un gusto desagradable. ¡Yo no iría tan lejos, sin embargo, como para decir que hay que hablar con las plantas de interior!

— *¿En todo caso se puede afirmar que los animales son los que han llegado más lejos en cuanto a complejidad?*

— Es verdad que el mundo animal, en efecto, demuestra mayor exuberancia que el mundo vegetal en su adaptación al medio: hay especies que corren, que excavan, que nadan, que vuelan, que se arrastran... Los animales desarrollan innumerables trucos, desde las presiones del abejorro hasta los tentáculos del pulpo, inventan trampas, cebos, armas, garras, alas, picos, aletas, caparazones, tentáculos, veneno...

La exclusión natural

— *Cuando se dice "inventan"...*

— No inventan. El fenómeno de la "selección" elimina a los menos aptos. Consideremos por ejemplo los gorriones de gran pico que se alimentan exclusivamente de pequeños gusanos ocultos en agujeros de los árboles. Son tan numerosos y activos que terminan por eliminar todos los gusanos que hay en la superficie de las cortezas. Sin alimento, la mayor parte muere. Pero unos pocos poseen, por una mutación ocurrida al azar, un pico en punta y más largo que el de los otros. Sus descendientes pueden ir a buscar gusanos en agujeros más profundos y resisten mejor la escasez. Resultado: este linaje se impone. Con el curso de las generaciones, la mayoría de la especie va a poseer un pico más largo. No se puede

decir, sin embargo, que los gorriones "inventaron" este recurso. En realidad es al revés: murieron los que no tuvieron la fortuna de una mutación que les dio un pico más largo.

— *En el proceso de evolución no hay, entonces, intencionalidad.*

— No. La evolución intenta miles de soluciones al mismo tiempo; unas tienen éxito y otras no. Se conservan, por definición, las que permiten sobrevivir.

— *¿Y el medio no actúa directamente sobre la evolución?*

— Hoy se considera que quizás tiene alguna influencia en el comportamiento de las células, por intermedio de las mitocondrias, esas fábricas que al interior de las células poseen planes genéticos independientes y son muy sensibles a los cambios. Pero esto no se trasmite a la descendencia.

— *¿Entonces el principio de la selección natural sigue siendo pertinente hoy?*

— Sí, pero a condición de que no se vea en ello la noción de un entorno demiurgo que decidiría lo que está bien y lo que no. Esto se mantiene y esto se desecha. No. Hablemos, mejor, de exclusión competitiva: en el curso de las generaciones, se excluye a las especies menos adaptadas. Para comprender bien este fenómeno hay que contar con el curso del tiempo y pensar en una larga cadena de generaciones sucesivas que se modifican muy lentamente.

— *Una mayoría aplastante de soluciones, de especies inventadas por la naturaleza, desaparece. ¿No hay momentos en que la evolución haya intentado detenerse, en que el mundo viviente puede hallar estabilidad, como las margaritas de nuestro planeta?*

— No. La diversidad es enorme desde el comienzo de la vida. Retomando la metáfora de Hubert Reeves, hay demasiadas letras como para que sólo formen una palabra única. ¿La estabilidad de alguna especie gastada ha podido establecerse en algún pequeño asteroide, constituyendo una suerte de compromiso o armisticio de la evolución? Pero no en la Tierra, que tiene unas dimensiones, una geología, una

biosfera, una relación entre lo mineral y lo orgánico y un entorno en cambio constante que obliga a las especies a modificar su adaptación y evolucionar.

— *Y eso ocupa algunos cientos de millones de años.*

— Sí. Esta selección actúa sobre millones de generaciones sucesivas. Los mecanismos sensoriales se afinan, los comportamientos se diversifican. Algunas especies se asocian y forman un verdadero organismo colectivo. Un panal de abejas, por ejemplo, mantiene la temperatura gracias al movimiento de las alas de los insectos; está irrigado por las hormonas que resultan del frotamiento de los insectos. Cuando las abejas dejan el panal para buscar alimento, indican con una danza las fuentes más cercanas. Así el panal economiza energía; optimiza sus posibilidades de sobrevivencia. Lo mismo ocurre con las hormigas: mantienen a las larvas, ayudan a la reina, se reparten las tareas, un poco como las células del volvox, y aseguran el equilibrio del organismo hormiguero. Si se quita el treinta por ciento de las obreras, el conjunto se va a adaptar y restablecerá la proporción.

— *Pero las hormigas no son capaces de comportamientos autónomos.*

— E incapaces de planificar. Se comunican individualmente por las feromonas, pero también colectivamente por el entorno: una hormiga joven va a aprender las redes, los caminos que han trazado sus congéneres. El comportamiento simultáneo de miles de individuos conduce a una forma de inteligencia colectiva. La hormiga, por ejemplo, sabe escoger el camino más corto para traer alimento. Este modo de asociación ha tenido bastante éxito, porque las hormigas existen hace millones de años. Si el planeta experimentara una guerra nuclear, es probable que sobrevivan gracias al caparazón que les permite resistir las radiaciones y gracias a su modo de organización.

El infortunio de los dinosaurios

— *Un mundo de hormigas y de bacterias... Hermosa perspectiva. En el curso de este relato se puede apreciar que, como la del universo, la evolución de la vida ha sido, por lo menos, caótica.*

— Sí. Ha experimentado una aceleración constante, pero también crisis, caminos sin salida y períodos de grandes extinciones. Los dinosaurios reinaban en el planeta hace doscientos millones de años. Las especies jamás habían logrado conquistar, como ellos, todos los ambientes. Había pequeños, enormes, vegetarianos, carnívoros, corredores, voladores, anfibios... Una diversidad formidable, que les permitió adaptarse a sus entornos.

— *Y sin embargo desaparecieron... ¿Entonces es estúpida la hipótesis de que eso se debió a su mala adaptación?*

— Totalmente. A finales del jurásico, hace sesenta y cinco millones de años, cayó en el golfo de México, cerca de Yucatán, un enorme meteorito de cinco kilómetros de diámetro. El choque fue tal que repercutió al otro costado del planeta y provocó un resurgir de magma. Este golpe doble creó un incendio mundial, se abasaron los bosques, se liberó gas carbónico y polvaredas cubrieron la Tierra con un velo inmenso. El planeta se oscureció, se produjo un frío terrible y, probablemente, un posterior efecto invernadero que condujo a un recalentamiento.

— *¿Sólo sobrevivieron algunas especies?*

— Sí. Es el caso de los lémures, que son muy móviles, adaptables y están provistos de manos prensiles. Se refugiaron en las grietas de las rocas y originaron los linajes que condujeron a los mamíferos. Estos adquirieron una nueva ventaja para asegurar la supervivencia de su descendencia: llevar el huevo internamente lo protege mucho más que si queda en el exterior. Pensemos en los batracios, que ponen miles de huevos que se dispersan, son comidos, se pierden...

La selección en la cabeza

— *¿En qué momento aparece verdaderamente el verdadero cerebro?*

Desde los peces, y después con los vertebrados, los pájaros, los reptiles, los anfibios y el hombre, el cerebro no ha cesado de perfeccionarse por estratos sucesivos. Primero, el más primitivo: el de los reptiles, que coordina los instintos primarios de supervivencia, hambre, sed, el instinto sexual, el miedo, el placer que impulsa a la unión y el dolor que no se le puede dissociar. Ante un intruso, el cerebro primitivo reacciona y conduce al organismo a producir un veneno o a saltar sobre el agresor... Segundo estrato, en los pájaros: el mesencéfalo, que conduce a mecanismos colectivos como el cuidado de los pequeños, la construcción del nido, la búsqueda de alimento, el reparto, el canto, las exhibiciones amorosas... El tercer estrato aparece en seguida en los primates y sobre todo en el hombre: la corteza cerebral que proporciona datos abstractos, la conciencia, la inteligencia.

— Lo más asombroso es este principio de selección, que se encuentra por todas partes, en el universo, en la primera química de las moléculas, en los seres vivos y, si debemos creer al neurobiólogo Jean Pierre Changeux, en el interior mismo del cerebro cuando se desarrolla en un recién nacido.

El desarrollo del sistema nervioso también obedece, en efecto, al principio darwiniano de la selección. Cuando crece un pequeño animal, sus neuronas se relacionan mediante un sistema que obedece a un plan de orden genético. Pero el empalme entre dos neuronas sólo subsiste si éstas funcionan en un circuito, si el entorno las solicita. Las neuronas visuales de un recién nacido no se conectan si a éste se le mantiene continuamente en la oscuridad. Hay, pues, de algún modo, una selección que sólo mantiene los circuitos pertinentes. Aprender es eliminar.

— Según el antropólogo Stephen J. Gould, cada suceso, por insignificante que sea, influye el curso de la historia. Como en La vie est belle, la película de Frank Capra, basta modificar una nadería para que todo cambie con toda una catarsis de consecuencias. Si no hubiera aparecido el pikaia, un gusano que está en el origen mismo de nuestro linaje, o si hubieran sobrevivido los dinosaurios, no estaríamos aquí. No habría ningún sentido, según él, en la evolución. Esta no retendría a los mejor adaptados, sino a los más afortunados. La vida quizás fuera un acontecimiento probable, pero el hombre un verdadero afortunado.

— Si los lémures no hubieran sobrevivido ni podido alimentarse de bayas en sus agujeros mientras desaparecían los dinosaurios, no estaríamos aquí. No hay una intención oculta en esta historia. Pero el resultado es que aumenta la complejidad. Si existen planetas que se hayan desarrollado en las mismas condiciones que la Tierra, no es improbable que esos seres existan y que no se diferencien de nosotros más que un avestruz de un cocodrilo: cuatro miembros, dos ojos, un cerebro, sistemas locomotrices. Y hay una fuerte posibilidad de que estén en el mismo punto evolutivo que nosotros... No se puede afirmar que exista una ley que impulse a la complejidad. Pero comprobamos que alguna cosa se organiza y conduce a una inteligencia cada vez mayor y más desmaterializada. Quizás la historia de la evolución es el artefacto de una conciencia que adquiere conciencia de sí misma.

La memoria de los orígenes

— *Sólo el cerebro humano se interroga sobre sí mismo... ¿Esto le distingue de los demás?*

— No sólo eso. Es capaz de exteriorizar funciones en el medio. La herramienta prolonga la mano. El hombre puede hacer hoy todo lo que hacen los demás animales: correr como una gacela con un automóvil, volar como un águila con un ala Delta, evolucionar bajo el agua como un delfín, avanzar bajo tierra como un topo... Una máscara, anteojos, un paracaídas, alas, ruedas... Ha ampliado también sus funciones sensoriales mediante la escritura, que permite conservar la palabra y transmitir el pensamiento en el espacio y en el tiempo. Esto caracteriza el cerebro humano. No es sólo una masa muelle de neuronas, ni una estación telefónica que agrupa los circuitos del cuerpo, ni siquiera un ordenador. Se extiende también al exterior, acoplado a otros cerebros humanos en el conjunto del planeta. Es una red fluida, en continua reorganización, que reconfigura sus neuronas en la acción y la reflexión.

— *En toda esta historia, se comprueba que la complejidad se desarrolla con la disposición de cosas simples: dos cuarks en el comienzo del universo, cuatro*

átomos simétricos para el carbono, sólo cuatro bases para los genes, dos moléculas semejantes para fundar los mundos animal y vegetal, dos individuos para el sexo... Como si en cada etapa la naturaleza encontrara el camino más sencillo para progresar.

— De algún modo... Complejidad no es complicación. Es una repetición de elementos simples que se reproducen y proliferan. Hoy sabemos simular este fenómeno en una pantalla de ordenador: partiendo de una forma elemental vemos que se constituyen dibujos elaborados a los que llamamos con el hermoso nombre de "formas fractales"; parecen alas de mariposa, colas de hipocampos, montañas, nubes. La vida es así, repetitiva. El átomo está en la molécula que está en la célula que está en el organismo que está en la sociedad...

— *Llevamos en nosotros, entonces, las huellas de estos ajustes...*

— Exacto. Nuestro cerebro, con sus tres estratos, conserva la memoria de la evolución. También nuestros genes. Y la composición química de nuestras células es un fragmento pequeño del océano primitivo. Hemos guardado en nosotros el medio del que salimos. Nuestro cuerpo relata la historia de nuestros orígenes.

Acto 3 El hombre

Escena 1. La cuna africana

Pequeños monos traviosos nacen en un mundo de flores. Para resistir la sequía, sus descendientes se yerguen y descubren un universo nuevo.

Un antepasado poco presentable

— *"Si es verdad que el hombre desciende del mono, roguemos que eso no se divulgue", exclamó una respetable dama inglesa, en 1860, cuando le informaron acerca de la teoría de la evolución de un cierto Charles Darwin. Parece, hoy, que no le hicieron caso: "eso" se ha sabido.*

Yves Coppens: No tanto. Siempre nos ha sido difícil aceptar ese parentesco. El origen animal del hombre choca con tantas convicciones filosóficas o religiosas, que sigue provocando numerosas reticencias... Mi abuela materna, bretona de antigua cepa, me dijo un día, con toda seriedad: "¡Tú quizás desciendas del mono, pero yo no!" Muchas personas siguen increíblemente confusas en este tema. ¡Cuando se afirma que descendemos del mono, algunos creen que hablamos del chimpancé!

— *El hombre no desciende del mono, sino de un mono, ¿verdad?*

— Exactamente. Proviene de una especie que fue antepasada común de dos linajes, el de los monos superiores de África por una parte, y el de los pre-humanos, por otra. El hombre sólo es, entonces, un mono, en el sentido amplio de su "posición" en la clasificación animal; su especificidad es, precisamente, haber conseguido superar esa simple condición. Joel de Rosnay lo ha recordado: no podemos ignorar nuestra filiación: la llevamos en el cuerpo.

— *Hasta a los científicos, parece, les costó reconocerlo.*

— En realidad todavía no se reponen del efecto de ese primer hallazgo. La vieja Europa cristiana del siglo pasado tuvo la idea de investigar los orígenes de la humanidad y, en Bélgica y después en Alemania, realizó los primeros descubrimientos. ¡Un verdadero impacto! Esperaban hallar un antepasado presentable. ¿Acaso el hombre no había sido creado a imagen de Dios? Y dieron con los fósiles de un individuo que, más tarde se comprendería, fue una excepción.

— *¿Y quién era?*

— El neandertal. Se descubrió un ser "feo", de cráneo bajo, de rostro hinchado y arcos ciliares protuberantes en forma de visera... Sabios eminentes se precipitaron sobre este pobre desgraciado. Unos su ponían que sólo se trataba de un individuo artrítico y peludo. Según otros, sólo podía emitir el sonido "ugh". No es necesario recordar que sólo después de muchos años se le aceptó en nuestra familia, por lo menos como un primo lejano.

La técnica de Pulgarcito

— *Cuando se "descubre" un antepasado, se trata, en realidad, de algunos huesos, fragmentos de mandíbula y hasta sólo dientes. ¿Cómo se puede reconstituir todo un esqueleto a partir de tan pocos elementos?*

— Los primeros restos que se descubrieron, a menudo sólo dientes, bastaron para que se pudiera pasar de su morfología y significado alimentario al resto del cuerpo. Sabemos, gracias a las leyes de correlación de la anatomía comparada que inventó Cuvier, que tal diente se sitúa en tal tipo de mandíbula, que tal mandíbula corresponde a tal tipo de cráneo, que tal cráneo se instala sobre un determinado tipo de columna vertebral, que tal columna vertebral se asocia a tal tipo de esqueleto apendicular, que tal esqueleto sostiene tal tipo de musculatura, etc. Por deducción pasamos del diente al animal.

— *¿Y llegáis a deducir su desarrollo y hasta su comportamiento?*

— Sí. Si se estudia, por ejemplo, el esmalte de un diente con la ayuda de un microscopio electrónico, se advierten minúsculas estrías invisibles para el ojo y que revelan el modo como se desarrolló el diente y nos dan indicios sobre el crecimiento del individuo. Si, por otra parte, le encontramos un fémur oblicuo cuando la articulación de la rodilla es inestable, estas observaciones nos señalan una locomoción de tipo bípeda y arborícola. Pero, por supuesto, mientras más elementos tengamos a nuestra disposición, mejor y más precisa será la reconstitución.

— *Desde esas primeras investigaciones del siglo pasado, que seguían esos pequeños fragmentos de hueso al modo de Pulgarcito, ¿los científicos han logrado encontrar el camino completo del hombre?*

— Curiosamente, se han encontrado los fósiles en razón inversa de su antigüedad: primero hombres modernos, después sus antepasados. Esto ha permitido reconocerlos y aceptarlos con menos dificultades. Y se debió admitir que el hombre era bastante más antiguo de lo que se creía.

Aparecido con las flores

— *¿En qué fecha se ha establecido, hoy, su origen?*

— Tal como en el caso de un "origen" de la vida, tampoco se puede determinar un "origen" del hombre. Ni, por lo demás, una definición de lo humano. Se comprueba, más bien, una larga evolución, una filiación zoológica en el curso de la cual las distintas características se van incorporando.

— *¿Se conocen, por lo menos, las grandes etapas?*

— Sí. Tenemos que retroceder hasta finales del cretáceo, hace unos setenta millones de años. Es el alba del terciario, están desapareciendo los últimos dinosaurios. El entorno padece profundas modificaciones, y sabemos que la historia de la evolución está muy vinculada a la del clima. En esa época África es una isla y también lo son América del Sur y el Asia. En el continente que agrupaba Europa, América del Norte y Groenlandia aparecen unos animales pequeños: los primeros monos, que

descienden de insectívoros. Empiezan a proliferar en medio de una flora completamente nueva: las primeras plantas con flores.

— *iNacidos con las primeras flores! Una noción muy bella...*

— También es la época, por lo tanto, de los primeros frutos. Los monos que conquistan este nuevo entorno son los primeros que los consumen. Rompen con las costumbres de sus antepasados, que se alimentaban de insectos. Esto va a provocar, en el curso de las generaciones, una serie de cambios anatómicos: el cuerpo se les equipa, por ejemplo, con una clavícula, magnífica innovación.

— *¿Por qué razón?*

— Ensancha la caja torácica del animal, aumenta entonces la amplitud de sus miembros superiores y le permite, en el momento de la recolección, aferrarse mejor al tronco de los árboles para trepar. Por la misma razón, las garras, molestas para escalar, se convierten en uñas planas. Y la pata va a poseer un dedo oponible a los demás, lo que permitirá que estos primitivos cojan, con el conjunto de sus extremidades, un fruto, una piedra o un trozo de madera.

El grupo del purgatorio

— *¿Quiénes son estos encantadores animales?*

— El más antiguo primate que se conoce fue bautizado *Purgatorius*, porque los investigadores que lo descubrieron en las montañas Rocosas, en América del Norte, trabajaban en un lugar difícil, un verdadero purgatorio... No es mayor que una rata. Vive en los árboles, se alimenta de frutos, pero no desdeña los insectos.

— *¿Y es uno de nuestros antepasados?*

— No en línea directa, por supuesto. Estos pequeños primates van a colonizar Eurasia, después la isla formada por África y Arabia, que estaba cubierta por una espesa selva tropical. Allí aparecerán, a más tardar hace treinta y cinco millones de años, los primeros verdaderos antepasados comunes del hombre y los grandes

monos, los primates superiores. Esos grandes simios están aislados en, lo que juega a favor de un único origen del linaje humano. Parece que en esos tiempos se produjo una primera sequía, lo que provocó la selección y adaptación de especies nuevas.

— *¿Cuáles?*

— En la cuenca de Fayou (la región actual de El Cairo) y en Omán, vive un mono pequeño, cuadrúpedo, a quien se bautizó aegiptopiteco, porque primero se lo descubrió en Egipto. Es del tamaño de un gato, tiene una gran cola, mucho pelo, y se diferencia de sus predecesores por un ligero desarrollo cerebral frontal: cuarenta centímetros cúbicos de capacidad craneana (contra mil cuatrocientos de nosotros, hoy), lo que es muy modesto, pero le permite, sin embargo, ejercer alguna amplitud de reacciones.

— *¿Qué significa eso?*

— Gracias al desarrollo de su sistema nervioso central, puede practicar nuevas aptitudes. La visión, especialmente, se desarrolla y supera al olfato: ve en relieve, lo que corresponde a una buena adaptación a la vida en los árboles. Al mismo tiempo, estos pequeños primates ensayan comportamientos sociales: se comunican por mímica.

— *¿Y cómo se sabe esto?*

— No podemos, por cierto, observar un pequeño Purgatorius, especie desaparecida hace mucho, pero los lémures, que hoy viven en, o los tarsianos, que viven en Asia, nos entregan preciosos indicios, comparables en algunos puntos. Tienen una vida social desarrollada. La observación de cráneos fósiles de Purgatorius, y sobre todo de endocráneos que se ha podido moldear, apunta en la misma dirección. El tamaño de algunas partes de su encéfalo permite pensar que ya eran muy sociables.

— *¿Vivían en familia?*

— Elwyn Simons, el investigador norteamericano que los descubrió, me hizo notar que dos cráneos hallados en el mismo sitio presentan un dimorfismo sexual de

importancia: son muy diferentes uno del otro. Uno sería de un macho y el otro de una hembra. Lo que sugiere que vivían en grupos. Y que entonces ya desarrollaban alguna forma de comunicación, de vivacidad espiritual. Es sencillo, ¿no?

— *Audaz, en todo caso. ¿Y qué sucedió después?*

— Su descendiente, el procónsul, vive en la selva, más al sur, y posee una capacidad craneana más desarrollada (ciento cincuenta centímetros cúbicos). Hay, en realidad, varias especies: los más grandes tienen el tamaño de un pequeño chimpancé. Los procónsules van a conocer un acontecimiento geográfico de la mayor importancia: hace unos diecisiete millones de años, la placa África-Arabia se une a la de Europa-Asia. Los monos africanos, el procónsul y sus descendientes, aprovecharán el puente y se difundirán por Europa y Asia. Algunos evolucionan y provocan un nuevo ramillete de especies: especialmente el keniapiteco, de Kenia, pero también el driopiteco ("mono de las cadenas"), en Europa, y después, un poco más tarde, en Asia, el ramapiteco. Hubo un tiempo en que se creyó que este último pertenecía a nuestra familia, pero nos habíamos equivocado.

Caído de la rama

— *Se los veía hasta no hace tanto tiempo en las ilustraciones de los manuales escolares correteando en la fila india de nuestros antepasados. ¿Se los ha desechado definitivamente?*

— Sí. Los biólogos nos cambiaron las cosas. Gracias a técnicas recientes, descubrieron que anticuerpos presentes en algunos fragmentos de dientes de ramapiteco garantizan su parentesco cercano con los orangutanes y no con los hombres. Los dientes de australopiteco mostraron, en cambio, que está muy cerca de los humanos. Los biólogos también establecieron que el hombre y el chimpancé son parientes cercanos: el 99% de nuestros genes son comunes a las dos especies.

— *¿El uno por ciento hace lo humano?*

— Sí. Y después, confirmando todo esto, se descubrió en Pakistán un rostro de ramapiteco, morfológicamente muy próximo al de los orangutanes. El asunto está claro: el ramapiteco no es nuestro antepasado; lo es de los orangutanes.

— *El ramapiteco se cayó de nuestro árbol, ¿pero continúa la búsqueda del "eslabón faltante" entre el hombre y el mono?*

— La expresión no es exacta, porque supone que hay un intermediario entre el hombre de hoy y el mono de ayer. Lo que buscamos es el antepasado común de los hombres y también de los grandes simios nos, la bifurcación que separa las dos ramas que conducen, una hacia los chimpancés y los gorilas y la otra hacia los australopitecos y después al hombre. Todo depende de la fecha de esa divergencia.

— *¿Y qué fecha se supone actualmente?*

— Los biólogos hablan de cinco millones de años; los paleontólogos pensábamos en unos quince. Hemos llegado a un compromiso: siete millones de años. Es lo que todo el mundo acepta, más o menos, hoy. Al abandonar el ramapiteco, hemos alejado la fecha de la gran ruptura y quitado al orangután de nuestra rama: como los chimpancés y los hombres están tan cerca genéticamente, la explicación lógica es que poseen un antepasado común. También abandonamos la noción de un origen asiático del hombre. Parece probado que los descendientes de los grandes simios que se quedaron en África dieron nacimiento a nuestros antepasados.

La sabana primitiva

— *¿Y cómo nos hemos vuelto hacia el África?*

— Darwin sugirió la idea de que podía constituir la cuna de la humanidad; después Teilhard de Chardin dijo lo mismo. Al cabo de toda una vida de trabajo en Europa y más tarde en Asia, este último escribió, a su regreso de África, poco antes de morir: "Allí hay que buscar, sin duda; somos unos idiotas por no haberlo visto antes". En 1959, el descubrimiento, que hizo Louis Leakey en Tanzania, de un cráneo completo confirmó la intuición; el cálculo de su edad, que se realizó midiendo la

desintegración natural de algunos isótopos inestables produjo estupor: un millón setecientos cincuenta mil años. Nadie quiso aceptarlo en un principio.

— *¿Siempre la arrogancia, que no desea un hombre tan arcaico?*

— Sí. En esa época se conocía la mayoría de los antepasados del hombre, pero se calculaba mal su edad y estatus (el primer australopiteco se descubrió en 1924, pero por mucho tiempo se lo creyó "pariente del chimpancé"). Se creía que la aparición del primer antepasado era relativamente reciente, de hacía ochocientos mil años como máximo. Pero los nuevos métodos de datación por radioisótopos y la extraordinaria cosecha de fósiles que va a ocurrir obligarán a envejecer al hombre.

— *Las miradas se vuelven al África, por lo tanto.*

— Sí. Cada año hay una expedición internacional a Kenia, Tanzania, Etiopía, a sitios que hoy son famosos: el lago Turkana, Olduvai, el valle del Orno... Hice el cálculo: en total, debemos haber recogido unos doscientos cincuenta mil fósiles, entre los cuales hay dos mil osamentas humanas y pre-humanas; y la mayor parte data de dos o tres millones de años. Una hermosa cosecha que nos ha permitido reconstruir nuestra genealogía.

— *¿Estamos seguros, entonces, de que el hombre nació en África?*

— La ciencia jamás puede estar "segura". Pero todos los descubrimientos convergen hacia esa conclusión. Basta pensar rápidamente en los distintos lugares donde hemos encontrado los fósiles reconocidos como antepasados del hombre. Fósiles de siete millones sólo se han encontrado en Kenia; también de seis y de cinco millones. Los de cuatro millones han aparecido en Kenia, Tanzania y Etiopía. Los de tres millones, en Kenia, Tanzania, Etiopía, África del Sur y en el Tchad. Los de dos millones se han hallado en las mismas regiones y además, con algunas piedras talladas, en Europa y en Asia... Los de un millón de años se extienden por toda el África, Asia y Europa. Después vienen Australia y América. Si se sitúan todos estos mapas en orden cronológico y se los encadena, se descubre la historia del poblamiento humano y se está obligado a concluir esto: el hombre salió de un

pequeño hogar no africano, se repartió lentamente en África y después en el mundo entero; y ahora último realiza una ligera excursión por el sistema solar.

El abuelo inasible

— *África, entonces, hace siete millones de años. Contamos con una unidad de lugar y de tiempo. ¿Conocemos al personaje que evoluciona en este escenario primitivo, a nuestro primer abuelo?*

— Es difícil precisarlo. Hace unos veinte años que con cada descubrimiento nuevo de un fósil que data de ese período se cree estar ante el antepasado definitivo. El sivapiteco, el keniapiteco, el uranopiteco, el gigantopiteco y otros oreopitecos u otavipitecos, — todos, distintas especies descubiertas han desempeñado sucesivamente ese papel. El antepasado común de simios y de hombres es uno de ellos.

— *Bueno, ¿pero cuál?*

— No lo sabemos. El keniapiteco (quince millones de años), que descubrió Louis Leakey, si no es el antepasado común, por lo menos es uno de sus primos. Su cráneo muestra pruebas de adaptación a la sabana: caninos reducidos, molares más grandes con esmalte más grueso y desgaste diferenciado, lo que indica que la infancia se había prolongado.

— *¡Un momento! ¿Cómo puede el esmalte de los dientes dar información sobre la infancia de un individuo?*

— El desgaste diferenciado del esmalte de los sucesivos dientes muestra que la erupción dental se ha dilatado. Si los dientes tardan en salir, la fase adulta también llega más tarde, lo que indica que el infante ha pasado más tiempo en compañía de su madre. La prueba: nuestros dientes tardan tres veces más en salir que los de un chimpancé. La duración del ejercicio inmediato de la maternidad es también la de la educación, del aprendizaje. Mientras más prolongada la infancia, más "instruida" es

la especie. Hemos podido advertir una evolución de este tipo en nuestros keniapitecos.

— *¿Y qué sabemos de este curioso animal?*

— Es un gran simio, un cuadrúpedo arborícola, dotado de miembros superiores de sólidas articulaciones, que se yergue de vez en cuando. Posee un cerebro más grande que el de sus antepasados (trescientos centímetros cúbicos), un rostro algo más reducido y hace tiempo que no tiene cola. Habita en la sabana o en el bosque. No sólo consume frutos, sino también tubérculos, rizomas, lo que se manifiesta en el grosor de su esmalte dental: los dientes se usan más cuando se comen raíces que cuando se comen frutos. Y vive, de seguro, en sociedad.

Los beneficios de la sequía

— *¿Y qué sucede después?*

— Hace siete millones de años, este antepasado vive en la espesa selva que cubre todo el territorio no cuando sobreviene un acontecimiento geológico: se desploma el valle del Rift, algunos de sus bordes se levantan y forman poco a poco un verdadero muro. Esta falla es gigantesca: recorre el África oriental hasta el mar Rojo y Jordania y termina en el Mediterráneo: en total seis mil kilómetros y más de cuatro mil metros de profundidad en el lago Tanganica. Un astronauta norteamericano me dijo que esta falla que corta la Tierra es visible desde la Luna. Impresionante, ¿no?

— *En efecto. ¿Y las consecuencias?*

— Se trastornó el clima: la lluvia continuó cayendo en el Oeste, pero cada vez menos en el Este, al abrigo de esta muralla (el Ruwenzori). A este lado, según han confirmado los botánicos, la selva retrocede, la flora se transforma. Hoy se puede apreciar, por ejemplo, un fenómeno semejante, en miniatura, en la isla Reunión: hay colinas que separan el Este del Oeste; a un costado suele llover; al otro, la región es seca. Y las culturas son muy distintas.

— *Nuestros antepasados quedaron separados, entonces, en dos poblaciones.*

— Sí. Los que quedaron al oeste de la fractura continuaron con su vida arborícola, pero los aislados del este se enfrentaron a la sabana y después a la estepa. Esta división en dos entornos pudo suscitar en el curso de las generaciones dos evoluciones diferentes: los del Oeste generaron los actuales simios, gorilas y chimpancés; los del Este, los pre-humanos y después los humanos.

— *¿Y en qué se apoya esta hipótesis?*

— ¡Los dos mil restos humanos y pre-humanos que hemos recogido en el curso de estos años han sido descubiertos, todos, al este del valle del Rift! Ni un solo hueso de pre-chimpancé o de pre-gorila se ha hallado en este lado. Es verdad que al Oeste todavía no encontramos vestigios de pre-simios, que serían homólogos de los pre-humanos del Este, lo que reforzaría la teoría. Pero esto es plausible. Así pues, esta pequeña región del África oriental, con forma de gajo de naranja, habría dado un nuevo impulso a la evolución de los primates hacia el hombre.

— *Nuestra cuna... ¿Nacimos, de algún modo, de la sequía?*

— Exactamente. Todo lo que nos caracteriza, el estar de pie, la alimentación omnívora, el desarrollo del cerebro, la invención de nuestras herramientas, todo resultaría de una adaptación a un medio más seco. Es un mecanismo clásico de selección natural: un pequeño grupo de antepasados, que posee, genéticamente, rasgos que constituyen ventajas para sobrevivir mejor en este nuevo entorno, pasa a ser poco a poco la mayoría de esa población, porque, al vivir más tiempo que los otros, tiene una descendencia que posee esos mismos rasgos y es más numerosa.

El mono de pie

— *¿Qué ventajas?*

— No las conocemos. Quizás un crecimiento distinto de la pelvis, que les permite erguirse con mayor facilidad y ver mejor la presa y los predadores, atacar y defenderse, transportar mejor el alimento o a sus hijos... ¿Estar de pie es

consecuencia o causa de esta evolución? En cualquier caso, prevalecieron los que disponían de esta ventaja genética. Había que ser muy hábil para salvar la piel en ese entorno.

— *¿Y qué les impulsa a adoptar definitivamente la posición erguida?*

— A causa de una mutación genética, algunos individuos poseen una pelvis más ancha y menos alta, que les molesta para caminar en cuatro patas. En el nuevo entorno, este "hándicap" se convierte en ventaja. Y se impone con el paso del tiempo.

— *¿Es una hipótesis?*

— Por supuesto. ¿Quién podría saberlo con seguridad? Cuando se observa a los chimpancés, se los ve ponerse de pie en tres tipos de situaciones: para ver más lejos, para defenderse o atacar —porque esto les libera las manos y les permite lanzar piedras— y, en fin, para llevar alimento a los pequeños. Podemos imaginar que en esa época nuestros antepasados perdieron pelo para facilitar la transpiración que producía la sequía y que, para llevar a los bebés, las madres debieron sostenerlos en brazos (mientras que, entre los simios, los pequeños se sujetan ellos mismos, aferrados del pelo de la madre). También podemos pensar que si uno se mantiene de pie en ese paisaje descubierto se ofrece menos superficie corporal al sol.

— *¿Sea cual sea la razón, estamos seguros de que adoptaron definitivamente esa posición?*

— Sí. La observación de las huellas internas de los cráneos fósiles nos entrega los mismos indicios: las circunvoluciones del cerebro están menos marcadas en la parte alta que a los costados, lo que es lógico, pues, si el cuerpo está erguido, la parte alta del cerebro no toca el hueso y deja por lo tanto menos huellas.

— *¿Y este ser que se pone de pie va a engendrar una nueva especie?*

— Más bien una multitud de especies nuevas, que no son hombres todavía y cuyos fósiles más antiguos provienen de hace siete millones de años: los australopitecos, o, si se prefiere, los pre-humanos.

Escena 2. Nuestros antepasados se organizan

Todavía no son hombres, más bien son monos, pero de pie en las dos patas posteriores. Nuestros primeros antepasados contemplan el mundo desde arriba. Se dicen palabras de amor y comen caracoles.

Australopitecos a la pata coja

— *Hace ocho millones de años, en África oriental, los primeros pre-humanos ya están operando. Han roto con el mundo de los grandes simios. ¿En qué se diferencian de las especies que los precedieron?*

— Caminan de pie y se mantienen erguidos. Es una verdadera revolución. La pelvis, los miembros superiores más cortos, las costillas e incluso el cráneo, situado de otro modo sobre la columna vertebral... Toda la morfología de su esqueleto manifiesta una actitud de bípedo. Además, en Tanzania, se ha descubierto la huella de sus pasos, fosilizadas en una roca volcánica: las huellas de un bípedo de hace tres millones quinientos mil años. Los investigadores ingleses que las estudiaron, advirtieron que están entrecruzadas, como si vacilara al caminar.

— *¿A qué conclusión llegaron?*

— Que quizás dos australopitecos pasaron juntos por allí. A menos que el consumo de alcohol, acotaron unos franceses maliciosos, sea mucho más antiguo de lo que se creía... ¿La roca era resbaladiza? Felizmente, más tarde hallaron, en el mismo lugar, las huellas del paso de un adulto y de un niño; y eran perfectamente regulares.

— *El honor quedó a salvo. ¿Cuántas especies de australopitecos había?*

— Durante mucho tiempo se creyó que solamente una. Su mundo es bastante más complicado en realidad: entre los años ocho millones y un millón, África experimentó una verdadera proliferación de especies. Entre ellas, algunos grupos van a evolucionar para producir los primeros hombres, pero no por ello las especies dejan de desarrollar su descendencia más clásica. Son a veces contemporáneas unas de otras, por lo tanto, y no es raro que un antepasado de una sea al mismo tiempo su primo.

— *¿Y conseguían encontrarse en medio de esa superabundancia?*

— Sí, por supuesto. Todo comienza con especies arcaicas, llamadas motopitecos, ardipitecos... No llegan más allá de los cuatro millones de años. Los australopitecos propiamente tales toman el relevo y van desde los cuatro millones al millón de años. Y no olvidemos que toda esa población vive en África oriental, gran provincia dividida en cuencas, lo que favorece la diversificación de las especies. Encontramos, por ejemplo, australopitecos bautizados anamnesis en la región del lago Turkana, más abierto, y sobre todo afarensis en la cuenca del Afar, mucho más boscosa.

— *¿Y se sigue descubriendo nuevas especies?*

— Sí, pero la cosecha es modesta, pues las cuencas de sedimentos de hace cuatro a ocho millones de años, período esencial para comprender la aparición de los homínidos son escasas y pequeñas. No disponemos de muchos fósiles, pero si bien no sabemos con demasiada precisión cómo derivan unas de otras las especies, ellos nos permiten, por lo menos, determinar las grandes filiaciones.

— *¿Qué aspecto tienen los pre-humanos?*

— Los fósiles más estudiados son, como sabes, las osamentas de Lucy, una joven de hace tres millones de años, el esqueleto más completo, o por lo menos el menos incompleto, que se ha descubierto.

La rodilla de Lucy

— *Tu Lucy, porque eres uno de sus descubridores. ¿Es verdad que la bautizaron así por los Beatles?*

— Es verdad. Cuando la encontramos, en 1974, en el Mar etíope, solíamos escuchar una casete que incluía *Lucy in the sky with diamonds*, de los Beatles. Los etíopes prefirieron bautizarla Birkinsh, que significa "persona valiosa".

— *Y lo es, no sólo por su fama, sino por lo que nos ha enseñado...*

— Sí. Se la ha estudiado fragmento por fragmento. Hay más de una tesis dedicada a su brazo, su codo, su omóplato, su rodilla...

— *¿Qué aspecto tiene?*

— No mide más de un metro de estatura. Es ligeramente caída de hombros, con los miembros superiores algo más largos que los nuestros en proporción a los inferiores, cabeza pequeña, manos capaces de coger objetos y también ramas. Es bípeda, pero también se sube a los árboles.

— *¿Camina como nosotros, por lo tanto?*

— No exactamente. Comparando distintos tipos de andar -el de los hombres, los niños y los actuales chimpancés- se ha deducido que la marcha ha evolucionado en el curso del tiempo: el paso de Lucy debió ser más corto que el nuestro, rápido, un poco al trote, algo ondulado... Incluso reconstituimos un parto, estudiando el tamaño probable del feto según las dimensiones de su pelvis. Parece que el movimiento, al nacer, de los bebés de Lucy (si los tuvo) era muy semejante al de los recién nacidos humanos de hoy, que no se parecía al de los bebés de los monos.

— *¿Qué más sabemos de Lucy?*

— A pesar de ser bípeda, subía a los árboles, como lo muestran algunas de sus articulaciones: el codo y la espalda presentan un ajuste más sólido que en nosotros, lo que le concede mayor seguridad cuando pasa de una rama a otra, las falanges están algo redondeadas; la rodilla, en cambio, posee gran amplitud de rotación: son

aptitudes típicas de un trepador capaz de ajustar sus saltos en el espacio. Vive en sociedad; como todos los primates, es vegetariana: el espesor del esmalte dental muestra que debía comer frutas y también tubérculos. El desgaste indica que debió morir hacia los veinte años, probablemente ahogada o devorada por un cocodrilo, pues se la encontró en un medio lacustre.

— *Pobre abuela...*

— No se apene. Es probable que no sea nuestra tatarabuela, sino una rama derivada. Sus características físicas son arcaicas. En la misma época, por ejemplo, los australopitecos anamensis o nus de África del Sur poseen una rodilla más humana. Es posible que las especies de pre-humanos evolucionaran simultáneamente. Y no porque dos especies tengan rasgos comparables pertenecen a una misma filiación. Comparemos los peces y los mamíferos marinos: se parecen, pero son animales completamente distintos: los antepasados de los mamíferos marinos son cuadrúpedos terrestres que terminaron por regresar al agua.

Manos libres

— *No conocemos, entonces, a nuestro verdadero antepasado australopiteco.*

— No. Me siento algo inclinado hacia el anamensis. Tiene la edad conveniente, cuatro millones de años, posee miembros inferiores y superiores de morfología prácticamente moderna, lo que le permitiría caminar casi como nosotros, al revés de Lucy, que aún conserva rasgos de arborícola. Después aparecieron otros australopitecos, los robustos.

— *¿Y qué otro rasgo poseen éstos?*

— Gracias a unos miembros inferiores mejor ensamblados, caminan mejor que sus antecesores. Su cerebro sigue siendo modesto: quinientos centímetros cúbicos, pero está mejor irrigado. Se les ha transformado la dentadura, lo que les permite masticar bien, morder incluso, pues, debido a la mengua de la cantidad de arbustos y, por consiguiente, de sus frutos, la alimentación es más coriácea, más fibrosa. La

recolección efectuada en el valle del Orno, en Etiopía, ha permitido descubrir, además, junto a restos de australopitecos de hasta tres millones de años, una gran cantidad de piedras talladas.

— *¿Ya utilizaban herramientas esos australopitecos?*

— Sí. Todavía cuesta mucho aceptar esta idea, pero parece claro que fueron los primeros que las usaron. Las huellas encontradas en pequeñas piedras muestran que esos útiles servían para limpiar raíces o tubérculos y no para cortar carne o raspar huesos. Es posible que las hayan utilizado australopitecos de la familia de Lucy. Lo que significaría que las primeras herramientas fueron fabricadas por seres que todavía no gozaban de plena libertad manual.

El cerebro, locatario

— *André Leroi-Gourhan propuso un escenario seductor: al descubrir la herramienta, el pre-humano necesitó liberar las manos y adoptó la posición erguida. Al hacer esto, el cráneo se pudo desarrollar y también el cerebro.*

— Es muy probable que así fuera. El pez no tenía problemas para sostener la cabeza, porque formaba un solo cuerpo con el resto. Desde que comenzó a desarrollar los pulmones y a arrastrarse por el suelo, el cuadrúpedo terrestre sí que tuvo problemas para sostener una cabeza más y más independiente. Y con mayor razón cuando se hizo bípedo. La posición erguida libera la cabeza y al mismo tiempo permite el crecimiento de la bóveda craneana. El cerebro, entonces, sólo tiene que ocupar el sitio disponible, como buen locatario.

— *¿Y desarrollar nuevas aptitudes desde entonces?*

— Sí. También es posible que el crecimiento del cerebro provoque, a su vez, una disminución del tiempo de embarazo: el cerebro de los fetos aumenta de tamaño y el parto debe adelantarse, lo que permite que el desarrollo cerebral continúe después del nacimiento. Parece que la posición del bebé, que ahora se presenta de cabeza, también resulta de la posición erguida. Otra consecuencia evidente: al

mantenerse erguido, el australopiteco utiliza más las manos y puede perfeccionar sus herramientas.

— *Sin embargo, los monos también usan herramientas...*

— Es verdad que esto no es específico de los humanos ni de los pre-humanos. Los monos saben, por ejemplo, quitar hojas de las ramas para alcanzar termitas o utilizar piedras para romper nueces. Pero fabricar una herramienta con otra herramienta parece una etapa superior y los monos no llegaron a eso.

— *¿Se comunicaban entre sí los australopitecos de ese período?*

— Es probable que tuvieran mucho que decirse, pero lo hacen mediante mímica, señales o sonidos modulados, porque carecen de la posibilidad mecánica de hablar de modo articulado. Miremos a los chimpancés: durante mucho tiempo se intentó que pronunciaran algunas palabras, hasta que se comprendió que la profundidad de su paladar y la posición de la laringe se lo impedían. Cuando se tuvo la idea de enseñarles el lenguaje de los sordomudos, se comprobó que no sólo podían almacenar centenares de conceptos, sino que también podían asociarlos. Lo que es seguro es que el uso del lenguaje se generalizó verdaderamente con ese otro individuo que apareció hace unos tres millones de años, más grande, más erguido, menos trepador que los pre-humanos, dotado de un encéfalo más desarrollado e irrigado: el hombre.

Un individuo oportunista

— *¿Los australopitecos cohabitaban con él?*

— ¡Durante un millón de años o dos millones! No ocupaban el mismo medio, pero se cruzaban de vez en cuando.

— *Y, por cierto, debieron ser rivales.*

— ¿Por qué? Ya sé que nos gusta vestir el pasado con imágenes dramáticas. Basta contemplar la cantidad de representaciones de la prehistoria donde a nuestros

pobres antepasados se los ve aterrados, perdidos en un paisaje poblado de volcanes y de incendios, huyendo de alguna bestia horrible o de grandes australopitecos armados de bastones; o, a la inversa, a los primeros hombres, de súbito civilizados, a resguardo y preparados para atacar a horribles monstruos peludos...

— *¿La realidad no corresponde a esos clisés?*

— No lo creo. Es verdad que gracias a su cerebro los hombres pueden elaborar estrategias y acciones concertadas contra los australopitecos para consumirlos. Es posible que se produzcan combates, pero nunca organizados y por cierto, limitados; las dos poblaciones cohabitan. Basta ver pasar hoy a los masai, en el valle de la Caldera de N'Gorongoro, en medio de leones, rinocerontes y búfalos, bestezuelas nada tiernas, para comprender que se puede vivir en paz alerta, es decir en equilibrio con el medio. Lo que no impide que alguno de ellos se haga devorar de vez en cuando... Digamos que a veces un humano caza y se come a un niño australopiteco, que no está nada de mal y es más tierno que un adulto.

— *¡Vamos! ¿Lo dices en serio?*

— Totalmente. Los pequeños humanos son omnívoros. Toda "presa" que pasa cerca es deseable. Dicho esto, no se puede explicar, sin embargo, la desaparición de los australopitecos debido a un exterminio masivo.

— *¿Por qué entonces?*

— Por los clásicos mecanismos de la selección natural. Hace un millón de años, en un medio que sigue secándose y enfriándose progresivamente, el australopiteco se adapta cada vez menos. Y es más y más vulnerable.

— *Empieza a competir con los hombres.*

— Sí, pero eso no implica violencia. Las ostras planas desaparecieron por la presión de las llamadas portuguesas. Y, que se sepa, entre ellas no hubo combates... La portuguesa, sencillamente, se adaptó muy bien al medio de la otra, y proliferó.

— *Los australopitecos, de algún modo, están demasiado cerca del hombre.*

— Sí. Y al revés de los hombres, no pueden marcharse de su "nicho" ecológico, permanecen demasiado arraigados en su medio. Sus especies se tornan entonces menos fecundas y, al cabo de algunos cientos de miles de años, terminan por desaparecer. Se impone el hombre: es más grande, se mantiene más erguido, es omnívoro, come carne, es muy oportunista y cada vez dispone de mejores herramientas.

La multitud de los Horno

— *Hace tres millones de años, hay por lo tanto, al mismo tiempo, en el paisaje, pre-humanos arcaicos que trotan, australopitecos más sólidos que marchan sobre sus patas posteriores y los primeros representantes del género humano, que comienzan a cazar. ¡Todo un mundo!*

Sí, dos universos se "reúnen": el de los pre-humanos, que se va a extinguir, y el de los humanos, que acaba de nacer. Se tenía la costumbre de clasificar a estos últimos en tres formas: habilis, erectus y sapiens. Pero no hace mucho se descubrió otras, como el Homo rudolfensis y el Horno ergaster.

— *¿Por qué tantas especies?*

— Esto se debe, sin duda, a la abundancia de especies australopitecas, que fueron sus antepasadas.

Es muy difícil establecer lazos entre todas estas poblaciones y no es seguro que se trate verdaderamente de especies. Los Horno evolucionan de un modo tan regular, que, para mí, habilis, erectus y sapiens sólo son fases de una misma especie.

— *¿Habría que hablar, sencillamente, del hombre, en singular?*

— Sí, se trata del género humano.

— *¿Qué lo caracteriza?*

— ¡Sus pies! Es una de las últimas adquisiciones de la humanidad: un pie muy particular, específico del hombre, que se impone porque es bípedo, con dedos

paralelos. Posee también miembros superiores menos sólidos que los de sus antepasados y, por el contrario, miembros inferiores más estables, pues sube con menor frecuencia a los árboles. Tiene la mandíbula más redonda, con caninos e incisivos más desarrollados, sus molares son menores comparados con los de los australopitecos, debido a que es omnívoro; y, por supuesto, posee un cerebro más grande, dotado de complejas circunvoluciones.

— *¿Es peludo?*

— Sin duda no lo es.

— *¿Negro?*

— ¿Cómo saberlo? Probablemente de color, pues vive en un país abierto, donde el sol importa mucho. Hace unos dos millones quinientos mil años (se lo sabe por estudios de fauna y flora) se produjo una crisis climática muy severa: una prolongada sequía.

— *¿Comparable a la separación del Rift, que creó a los australopitecos?*

— Sí, y va a provocar inmensos trastornos. Se modifican la flora y la fauna. Los árboles desaparecen en beneficio de las gramíneas, se extingue gran cantidad de especies animales. Los australopitecos, que poseen un cerebro pequeño pero un cuerpo grande y poderosas mandíbulas, se van a precipitar sobre los vegetales fibrosos y coriáceos, sobre tubérculos y frutos de cáscara dura. Los hombres, de cerebro más desarrollado y molares estrechos y largos, se arreglan con una alimentación omnívora, podríamos decir mixta, de vegetales y carne. Los grandes australopitecos y los hombres son, por otra parte y sin duda, producto de la selección que suscitó esta crisis climática.

La sequía del amor

— *¿Qué comían esos omnívoros?*

— ¡Ranas, frutos, granos, tubérculos y elefantes! Los huesos de las cenas que nos han dejado muestran que el menú era muy variado. Los dientes sólidos les permitían quebrar los granos y los frutos de piel dura. Y, como lo muestran los cráneos de animales que tienen huellas de golpes de piedras, ya son cazadores avezados: capturan gacelas y camaleones, hipopótamos y caracoles. Los que se molestan por los hábitos alimentarios de los franceses deberían saber que sus antepasados ya comían ranas y caracoles... El hombre es, verdaderamente, un individuo que come de todo; muy oportunista, ya lo dije.

— *Buena mentalidad...*

— Lleva la presa a determinados lugares, lo que indica que la lleva donde sus semejantes. Todo un acontecimiento. Los grandes simios se comen ellos mismos las presas o las roban. Por primera vez, hay un individuo que comparte, que por lo tanto participa en una forma de organización social. Hace unos dos millones de años ya intentaba construir abrigos primitivos, protecciones circulares o semicirculares de las cuales queda algún vestigio.

— *¿Se comunica?*

— La adaptación a la sequía significó una modificación de las vías respiratorias y un descenso de la laringe. El hombre es el único vertebrado que posee una laringe en posición baja. Esto permite, con el establecimiento de las cuerdas vocales, la instalación de una suerte de caja de resonancia entre éstas y la boca, combinada con el ahondamiento y reducción del hueso mandibular posterior a los incisivos, que de este modo concede mayor movilidad a la lengua. El lenguaje, si aún no es articulado como el nuestro, ya es mucho más elaborado. Algunos estudios de cráneos ponen de manifiesto, además, la presencia en los primeros hombres de una región cerebral frontal que hoy (corresponde al área de Broca, la principal del lenguaje. La evolución del vocabulario, la gramática, la sintaxis, ha debido seguir muy pronto.

— *¿Y todo eso a causa del clima?*

La evolución, en efecto, es asunto de acontecimientos, y éstos suelen ser medioambientales. ¡En cualquier caso resulta difícil imaginar que la laringe haya descendido para que el hombre pudiera hablar!

De hecho, según lo que afirmas, no sólo el cuerpo del hombre, sino también su lenguaje e incluso su cultura resultarían de la sequía...

En cualquier caso, es una buena explicación.

— *¿Y el amor?*

— Vas a decir que exagero, pero también creo que el amor es un resultado de la sequía. Esta, naturalmente, acercó a los individuos. Indujo un embarazo más breve en un medio mucho más expuesto, y obligó a que la madre y el niño permanecieran juntos mucho más tiempo. Lo cual, contando con la aparición de la conciencia, hizo nacer la emoción. Y quizás en la misma época, el hombre, el padre, se acercó más a la pareja madre-hijo, por lo menos durante la estación sexual. Los sentimientos entre hombre y mujer probablemente nacieron entonces. Edgar Morin me dijo un día: "Freud quiso que desapareciera el padre, y ustedes, los prehistoriadores, lo hacen reaparecer para explicar la expansión de la humanidad". Hay algo de verdad en esto.

Escena 3. La conquista humana

*Muere el viejo mundo, nace uno nuevo
al que domina un bípedo oportunista
que conquista el planeta. Inventa el
arte, el amor, la guerra y se interroga
sobre sus orígenes.*

El espíritu de la colina

— *Los primeros representantes del género humano ya hablan y se aman. Muy pronto emprenderán la colonización del mundo. ¿Porque son curiosos por naturaleza?*

— ¿Por qué iban a esperar, sin moverse, cientos de miles de años en el sitio donde nacieron? Cuando se sube a una colina para ver qué hay al otro lado y se descubre, en el horizonte, otra colina, se siente, es obvio, ganas de subir allá... Y además nuestro hombre está dotado de alguna inteligencia; debe cazar para alimentarse, lo que le impulsa a viajar. Tiene con qué imponerse: debe ser bastante impresionante cuando empieza a lanzar piedras.

— *¿Estos primeros hombres viven en familia?*

— En grupos pequeños, de veinte a treinta personas, sin duda. Se ha observado movimientos semejantes entre los inuit de Groenlandia. Cuando aumenta la población, acaba llegando a un umbral más allá del cual es demasiado importante, y entonces, para dispersarse, por razones de supervivencia, se separa un grupo pequeño y se marcha en busca de alimento en otra parte; termina instalándose a unas decenas de kilómetros de distancia. En tiempos de los primeros hombres, la demografía va a aumentar velozmente.

— *¿Y cómo lo hemos sabido?*

— En un medio determinado, hay una relación entre la cantidad de herbívoros, carnívoros y omnívoros. Calculando la proporción de fósiles de hombres que se encuentra en un yacimiento de un mismo período, cuando las cifras tienen importancia bastante para que la estadística resulte significativa, se puede estimar la población: esto da alrededor de un hombre por diez kilómetros cuadrados, lo que corresponde, por ejemplo, a la densidad de aborígenes en algunas regiones de Australia.

— *Los hombres comienzan, por lo tanto, a colonizar el planeta mediante pequeñas dispersiones.*

— Sí. Basta, por ejemplo, un desplazamiento de cincuenta kilómetros por generación, lo que no es enorme, para llegar desde la región original del oriente no

hasta Europa en apenas quince mil años, es decir, casi instantáneamente en el contexto de nuestra historia: quince mil años ni siquiera es el margen de error de nuestras dataciones. Y a partir de la cuna africana van a progresar hasta el extremo de occidente y de oriente, donde hay piedras talladas o fósiles de más de dos millones de años.

Sílex trabajado

— *¿Y siempre son los mismos hombres?*

— Se trata, primero, de uno de los iniciales, el Homo habilis o el Horno rudolfensis, y después de uno de los siguientes, el Horno ergaster o el Horno erectus. Pero como disponemos de fósiles intermediarios, parece que después de una explosión de formas esteafricanas el conquistador del mundo sólo fue una sola y la misma especie, a la cual damos nombres de etapas evolutivas (grados) sucesivas: habilis, erectus, sapiens...

— *¿Qué caracteriza al Horno erectus?*

— Posee un cerebro más grande (900 centímetros cúbicos) que el de su predecesor; se comporta, ocupa terrenos y fabrica herramientas de un modo más refinado. Pasa de la talla simple —piedra contra piedra— a la percusión suave: protege su piedra con un trozo de madera o de hueso y esto le permite controlar mejor la rotura de la otra piedra y hacer utensilios más finos.

— *¡Un millón de años golpeando sílex! ¡Tanto tiempo para encontrar la arista adecuada!*

— Sí. El progreso humano es lento. Según Leroi-Gourhan, la prehistoria podía leerse en el estudio de las aristas que mencionas. Al comparar iguales cantidades de sílex tallado en cada gran época, advirtió que el largo de la arista cortante aumentaba lentamente: diez centímetros de parte cortante por kilo de material en las primeras astas (tres millones de años), cuarenta centímetros en las primeras de dos filos, y, más tarde, piedras talladas de dos metros, en el caso de herramientas de

neandertal (cincuenta mil años) y de veinte metros en el caso de los cromañón (veinte mil años). Mientras más avanza el tiempo, más se perfecciona la talla.

— *¿De qué modo?*

— Un tipo de talla, bautizada "técnica Levallois", exige aplicar, por ejemplo, una docena de golpes precisos antes de conseguir el quiebre que se busca, lo que ya supone la elaboración de una estrategia y una buena capacidad de abstracción. Un prehistoriador comparaba esta técnica con la realización de pajaritas de papel: se dobla la hoja de papel una vez, dos veces, catorce veces y entonces se puede tirar de una parte de la pajarita. Pero esto exige un verdadero *savoir-faire*.

Desorden en el hogar

— *Se puede decir, a pesar de todo, que las aptitudes han sido lentas, no obstante el desarrollo del cerebro.*

— Sí. El pobre Homo erectus arrastró su piedra durante cientos de miles de años. Los utensilios por quiebre, en láminas, los de metal y los nucleares se inventarán a la velocidad del relámpago comparados con todo eso... Al estudiar los yacimientos del África oriental, se detecta un giro hacia los cien mil años. A partir de ese momento, parece que los cambios culturales van más rápido que las transformaciones anatómicas. La evolución encuentra nuevas respuestas a las solicitudes del medio. Lo que triunfa es lo adquirido.

— *¿Y a esto acompaña un cambio en la organización social de los humanos?*

— Cuando se contemplan las huellas de un lugar ocupado por el Homo habilis, se descubre un verdadero desorden: todo está mezclado, restos de alimentos y de tallas, de cortes de carne. Todo debía hacerse en el mismo lugar. A medida que se avanza en el tiempo, se advierte en los erectus una especialización de las áreas del campamento: hay un lugar donde se duerme, otro donde se come y un sitio donde se talla. Lo cual indica que en efecto hay una forma de organización de las tareas.

Más tarde esos lugares estarán completamente separados, a veces por varios cientos de metros. Y encontraremos un hogar.

— *¿El erectus inventó el fuego?*

— Sí. Hace unos quinientos mil años. Pudieron haberlo dominado mucho antes. Pero la sociedad no estaba preparada. No es casual que el dominio del fuego ocurra al mismo tiempo que la percusión suave y el sistema de talla de Levallois. Quizás hubo algunos genios que hallaron modos más astutos de tallar la piedra, pero todas las sociedades desdeñan a sus inventores si no están preparadas para comprenderlos: hay que esperar que el conjunto de la colectividad alcance la madurez suficiente para que una idea se pueda poner en práctica y generalizar.

El hombre de la visera

— *Y en ese mismo momento desaparece el Homo erectus para dejar espacio al Homo sapiens, el hombre moderno.*

— Sí. Uno proviene del otro, suavemente, durante un largo proceso evolutivo. La transformación es gradual y se produce en todas partes de manera homogénea, en Asia, en África. Con una excepción, por lo menos: nuestro famoso neandertal, en Europa.

— *El que enfurecía a los primeros investigadores. ¿De dónde vino?*

— Parece descender del Homo habilis que pobló Europa muy pronto, hace unos dos millones quinientos mil años. Debido a las sucesivas glaciaciones, este continente se convirtió en una especie de isla encerrada por los Alpes y por las regiones del norte cubiertas de hielo. Los primeros habilis se hallaban aislados, en el sentido propio de la palabra, y no evolucionaron como sus semejantes en los demás continentes.

— *¿Por qué?*

— Se sabe que, en una isla, la fauna y la flora se apartan con el tiempo de las del continente vecino: experimentan una deriva genética. Mientras más antigua una

isla, más se distingue y diferencia su flora y fauna de las continentales. Si encerráramos a un grupo de hombres y mujeres en otro planeta, la población, con el tiempo, se diferenciaría poco a poco de nosotros. Neandertal nació de una deriva genética similar. Posee una visera en las órbitas, casi nada de frente, ningún mentón, un rostro hinchado.

— *Esto no le va a resultar...*

— Sin embargo vivió en Europa desde hace dos millones quinientos mil años, o casi, hasta hace sólo treinta y cinco mil, y llegó a cohabitar con otro sapiens, el cromañón, bautizado de este modo porque sus restos se encontraron en Cro-Magnon, Francia. Este último evolucionó por su lado, en Asia y África, antes de llegar tardíamente a Europa hace unos cuarenta mil años.

La primera cohabitación

— *¿Cómo pasan a la cohabitación? No imagino que las dos poblaciones hayan batallado.*

— Durante mucho tiempo se opuso a estos dos tipos de hombre: el primero era bárbaro y el segundo civilizado. De hecho, son muy cercanos. Ocupan los mismos lugares uno después del otro. Poseen herramientas y un modo de vida comparables. Neandertal es diestro, creativo; posee un lenguaje elaborado; entierra a sus muertos; recoge objetos por placer: se ha encontrado colecciones de fósiles y de minerales en habitaciones neandertalienses de ochenta mil años. Acoge muy bien el viraje tecnológico del paleolítico superior: las industrias laminares de Charente-Maritime o de Yonne, en Francia, que se atribuía al cromañón, en realidad son de neandertal.

— *¿Se mezclaron entonces las dos poblaciones?*

— No se sabe. No se ha encontrado fósiles que posean a un tiempo rasgos de estas dos formas. Por esta razón todavía hay investigadores que creen que se trata de dos especies diferentes...

— *Pero el neandertal terminó por desaparecer. ¿Por qué? Uno no puede dejar de preguntarse si los cromañón los exterminaron.*

— Hay una gruta al sudoeste de Francia en la cual se advierte un nivel neandertal, después uno cromañón, luego otro neandertal y otro cromañón más, como si hubiera habido ocupaciones sucesivas, temporales o agresivas. ¿Hubo combates? Creo, más bien, que el neandertal desapareció suavemente. El cromañón estaba mejor equipado cultural y biológicamente. Si hubo competencia, ¿fue violenta? En cualquier caso terminó con el predominio de uno de los dos.

El arte y el modo

— *¿Tú eres cromañón? ¿Lo soy yo?*

— Sí. Es el hombre moderno. Posee un esqueleto grácil y un cerebro desarrollado que le permite desarrollar aún más su pensamiento simbólico. Terminará por colonizar el planeta: empuja en todas partes, invade América atravesando el estrecho de Bering, que no estaba sumergido, cien mil años antes de Colón. Y se las arregla para llegar a Australia, en embarcaciones, por lo menos hace sesenta mil años.

— *Y se instala en Europa.*

— Esta población particular de cromañones va a hacer en Europa lo que no hizo en Asia ni en: a partir de hace cuarenta mil años proyecta su imaginario y dibuja en objetos y en paredes.

— *Las cavernas dibujadas más antiguas que se conocen tienen unos cuarenta mil años. ¿Se puede ver allí los comienzos del arte?*

— No, el nacimiento del arte es un asunto progresivo. Existe, en realidad, una verdadera continuidad de la cultura, de neandertal a cromañón, aunque haya discontinuidad anatómica. Los hombres de neandertal manifestaban gran curiosidad. Recolectaban minerales, perforaban conchas y dientes para hacer collares, inventaban instrumentos de música, silbatos y pequeñas flautas utilizando

huesos. El uso del color ocre es mucho más antiguo, se usaba hace cientos de miles de años.

— *Enterrar a sus semejantes, pintar, realizar actos gratuitos, entregarse a rituales, ¿es descubrir la noción del tiempo, es insertarse en un universo?*

— Sí. La conciencia y su consecuencia, el pensamiento simbólico, se elaboraron con lentitud en el curso de las generaciones. Pero lo nuevo de hace cien mil años es la capacidad del hombre para imaginar otro mundo, al punto de preparar el viaje hacia allí; son los ritos, y, a partir de hace cuarenta mil años, el arte que los acompaña. Y sólo algunos individuos tienen derecho a esa sepultura, lo que indica que ya hay selección social.

El relevo de la cultura

— *Y después vienen el bronce, el hierro, la escritura, la historia tal como la conocemos hoy. Y la guerra... ¿La inventó el hombre moderno?*

— Sí, pero es reciente. Las primeras carnicerías que se han descubierto datan de la edad de los metales, de hace cuatro mil años. Como si el descubrimiento de la agricultura y de la crianza de animales, y después del cobre, del estaño y del hierro acarrearán el deseo de propiedad y por lo tanto la necesidad de defender el patrimonio. La fabricación de metales implicaba la posesión de yacimientos y esto dio una riqueza inesperada a algunas poblaciones que la aprovecharon.

— *Al expandirse la cultura, el hombre domina la naturaleza. ¿Y el cuerpo va a evolucionar desde los cromañón hasta nosotros?*

— Muy ligeramente. El esqueleto se torna más grácil y también la musculatura; se reducen los dientes y también su cantidad. Disminuye el tiempo de gestación. La madre y el niño se aproximan, aumenta el tiempo de aprendizaje. Y aumenta rápidamente la población: ciento cincuenta mil humanos hace tres millones de años en un pequeño rincón de África, varios millones en el planeta hace dos millones de

años, entre diez y veinte millones hace diez mil años... Y después mil millones hacen doscientos años y seis mil millones en la actualidad.

— *La especie humana se diversifica en seguida. ¿Tiene sentido el concepto de raza?*

— No. En la terminología botánica o zoológica, una raza es una subespecie. Esto es abusivo en el caso del hombre: todos somos *sapiens sapiens*. Es verdad que hay poblaciones en el seno de las cuales los individuos están más próximos unos de otros que todos ellos de otras poblaciones, pero no hay razas humanas. La mezcla es tal que en el nivel de los tejidos, de la célula, de la molécula, estas distinciones no tienen sentido alguno.

Eva y la manzana

— *¿Qué misterio queda en este escenario de los orígenes del hombre que acabamos de recorrer?*

— El gran misterio es el modo como procede la evolución. En un medio cambiante, los animales y los hombres se pueden transformar para adaptarse a nuevas condiciones climáticas, como si en cada oportunidad hubiera el escalón adecuado de mutaciones para que se pudiera efectuar la opción correcta. La evolución procede, sin duda, por selección natural. ¿Pero basta para explicar la maravillosa adaptación de los seres vivos a los cambios de su entorno? ¿Acaso éste induce cambios genéticos de un modo más directo? Quizás lo comprenderemos en un tiempo más...

— *¿Dirías que nuestra historia tiene un sentido, una lógica?*

— Sólo puedo comprobarlo: los seres vivos de hoy son más complejos que los que vivían hace mil millones de años. Y no creo en la contingencia ni en el azar: sólo parecen manifestarse cuando se estudia un período muy breve.

— *¿Quieres decir que habría que conciliar la concepción científica de nuestros orígenes con la concepción religiosa, por ejemplo?*

— No son incompatibles. La ciencia, en última instancia, sólo observa. No puede ser dogmática. Sabe muy bien que la realidad es siempre más compleja.

— *¿Dónde situarías a Adán y Eva en esta historia?*

— Serían Homo habilis que vivían en la bella sabana perfumada del África oriental hace tres millones de años, cerca de aquella falla. Esa región debió ser una especie de paraíso terrestre cuando el hombre empezó a cazar y a hablar.

— *¿Con serpientes y manzanas?*

— Manzanas de doum, que son frutos de palmeras. Y no faltarían serpientes... Pero no intentemos apegar la Biblia a la ciencia; no tiene sentido.

La muerte en el alma

— *¿Qué crees que funda la especificidad humana?*

— Es más un asunto de grado que de naturaleza. Cuando uno observa los chimpancés, sorprende su semejanza con nosotros, sobre todo en algunos componentes: los machos, por ejemplo, danzan ante las hembras cuando cae la primera lluvia. Levi-Strauss construyó su visión de las sociedades humanas sobre el tabú del incesto entre la madre y el niño. Esta misma prohibición se observa en los chimpancés...

— *¿Cómo definir entonces al ser humano? ¿Por la conciencia? ¿Por el amor?*

— Por la emoción, de seguro. Pero sobre todo por la conciencia de la muerte, que se sitúa en un grado superior de reflexión. Lo esencial, para mí, de la definición de la conciencia reflexiva sería advertir que cada uno es único y no puede ser reemplazado, que la desaparición de un ser es un drama sin retorno. Esto abarca, por cierto, la conciencia de uno mismo, de los otros, del medio y del tiempo.

— *¿Y cuál sería, entonces, la lección de esta larga historia?*

— Este último acto nos enseña en primer lugar que poseemos un solo origen: somos todos de origen no, nacidos hace unos tres millones de años, y esto nos debería impulsar a la fraternidad. También hay que recordar que el hombre surgió lentamente del mundo animal, después de una prolongada lucha contra la naturaleza, imponiendo la cultura contra un innato determinismo. Actualmente somos maravillosamente libres, jugamos con nuestros genes, hacemos bebés en probetas, pero también somos muy vulnerables. Si uno de nuestros pequeños creciera al margen de la sociedad, quedaría inane, ni siquiera conseguiría caminar sobre sus patas posteriores, no aprendería nada. Fue necesaria toda la evolución del universo, de la vida y del hombre para que pudiéramos adquirir esta frágil libertad que hoy nos concede la dignidad y la responsabilidad que tenemos. Y, para comprenderlas mejor, hoy nos preguntamos acerca de nuestros orígenes cósmicos, animales y humanos.

Epílogo

Apilados en su pequeña Tierra, amenazados por su propio poder, los seres conscientes y curiosos alzan los ojos al cielo y se preguntan, ansiosos: ¿cómo continuará esta bella historia del mundo?

El porvenir de la vida

Dominique Simonnet: *Aquí estamos, después de quince mil millones de años de evolución, después de sólo algunos milenios de civilización. ¿Continúa hoy la evolución que se ha desplegado desde el Big Bang sin dejar de inventar estructuras cada vez más complejas de las que somos el resultado más bello?*

Joël de Rosnay: Partículas, átomos, moléculas, macromoléculas, células, primeros organismos hechos de varias células, poblaciones compuestas de varios organismos, ecosistemas hechos de poblaciones, y el hombre, que hoy exterioriza su biología... La evolución continúa, por supuesto. Pero ahora es sobre todo técnica y social. La cultura ha cogido el relevo.

— *Estaríamos entonces en un momento de inflexión de la historia, en medio de una ruptura comparable a la aparición de la vida.*

— Sí. Después de las fases cósmica, química y biológica, estamos inaugurando el cuarto acto, el que ejecutará la humanidad en el próximo milenio. Accedemos a una conciencia colectiva de nosotros mismos.

— *¿Cómo caracterizas este cuarto acto?*

— Se podría decir que estamos inventando una nueva forma de vida: un macro organismo planetario que engloba el mundo viviente y los productos humanos, que también evoluciona y cuyas células seríamos nosotros. Posee un sistema nervioso

propio, del cual Internet sería un embrión, y un metabolismo que recicla los materiales. Este cerebro global, hecho de sistemas interdependientes, vincula a los hombres a la velocidad del electrón y trastorna nuestros intercambios.

— *Si mantenemos la metáfora, ¿podemos hablar de una selección, ahora no natural sino cultural?*

— Así lo creo. Nuestros inventos son los equivalentes de las mutaciones. Esta evolución técnica y social avanza mucho más rápido que la evolución biológica darwiniana. El hombre crea nuevas "especies": el teléfono, el televisor, el vehículo, el ordenador, los satélites...

— *Y él mismo hace la selección.*

— Sí. ¿Qué es el mercado si no es un sistema darwiniano que selecciona, elimina o amplía determinadas especies de invenciones? La gran diferencia con la evolución biológica es que el hombre puede inventar en abstracto tantas especies como desee: esta nueva evolución se desmaterializa. Inserta, entre el mundo real y el mundo imaginario, un mundo nuevo, el mundo virtual, lo que no sólo le permite explorar universos artificiales, sino también poner a prueba y fabricar objetos o máquinas que aún no existían. De algún modo, esta evolución cultural y técnica sigue la misma "lógica" de la evolución natural.

— *¿Se puede decir entonces que la complejidad continúa operando?*

— Sí. Pero se libera poco a poco del pesado manto de la materia. En cierto sentido, volvemos al Big Bang. La explosión de energía, hace doce mil millones de años, parece la otra cara de la moneda del "punto omega" de Teilhard de Chardin, que sería una implosión del espíritu liberado de la materia. Si se hace abstracción del tiempo, ambos hechos se podrían confundir.

— *No es fácil, sin embargo, olvidar el tiempo y la tan breve duración a que nosotros, los seres humanos, estamos obligados. ¿Tiene algún porvenir todavía el individuo si debe integrarse, como una célula, en un conjunto planetario que lo supera?*

— Por supuesto. Y es más, creo que se puede perfeccionar. Las células, en sociedad, acceden a una individualidad mayor que si están aisladas. La etapa de macro organización incluye riesgo de homogeneización planetaria, pero también gérmenes de diversidad. Mientras más se globaliza el planeta, más se diferencia.

— *Describes la sociedad actual como biólogo, y hablas de evolución, cerebro, mutaciones... ¿No estás confundiendo metáfora y realidad?*

— A partir de la biología no se puede deducir una visión de la sociedad. Lo contrario conduce a ideologismos inaceptables. La biología, en cambio, puede irrigar nuestra reflexión. Las metáforas mecánicas, los engranajes y relojes, dominaron el principio de este siglo. Ahora resultan más pedagógicas las metáforas del organismo, a condición de que no se las considere al pie de la letra. El organismo planetario que creamos está exteriorizando nuestras funciones y sentidos: la vista mediante la televisión, la memoria mediante los ordenadores, las piernas mediante los sistemas de transporte... Pero permanece la gran pregunta: ¿vamos a vivir en simbiosis con él o nos convertiremos en parásitos que destruirán al anfitrión que nos sostiene, lo que nos conduciría a graves crisis económicas, ecológicas y sociales?

— *¿Y cual es tu predicción?*

— Estamos extrayendo actualmente, en beneficio propio, recursos energéticos, informaciones, materiales; y tiramos los desechos al entorno. Empobrecemos de manera creciente el sistema que nos sostiene. Somos parásitos unos de otros, pues hay algunas sociedades industriales que frenan el desarrollo de otras. Si continuamos por esta vía, vamos a terminar como parásitos de la Tierra.

— *¿Qué hacer para evitarlo? ¿Conservar el planeta?*

— No se trata, como quizás lo desean algunos ecologistas nostálgicos, de clausurar la variedad de lo viviente en recintos cerrados, en reservas; se trata, más bien, de buscar la armonía entre la Tierra y la tecnología, entre ecología y economía. Para evitar las crisis, deberíamos aprender las lecciones de los conocimientos acerca de la evolución que acabamos de relatar. Comprender nuestra historia puede dar la perspectiva necesaria, una dirección, un "sentido" a lo que hacemos y, sin duda,

nos puede dar mayor sabiduría. Por mi parte, creo en el crecimiento de la inteligencia colectiva, en un humanismo tecnológico. Y tengo la esperanza de que, si queremos, vamos a poder encarar con serenidad la próxima etapa de la humanidad.

El porvenir del hombre

— Nuestra historia del mundo enfrenta ahora un cuarto acto, el de la evolución cultural, nos dice Joël de Rosnay. ¿Piensas lo mismo?

Yves Coppens: Le dije un día a Jean-Louis Étienne, explorador que regresaba del polo norte: "Debiste pasar frío por allí". Me respondió, sencillamente: "No, iba abrigado". Esto es bastante típico de nuestra evolución cultural. Mejoramos cada día nuestro dominio del cuerpo y del entorno y hemos entregado el relevo a la cultura. Y es ésta, no la naturaleza, la que más rápido responde a las solicitudes del entorno.

— *¿Ya no se modifica, entonces, nuestro cuerpo de Homo sapiens?*

— Sí, pero con suma lentitud. Para verificarlo debemos mirar hacia un porvenir más distante, más allá del próximo milenio. Dentro de diez millones de años es posible que tengamos una cabeza diferente de la actual. El esqueleto se nos hará aún más grácil y el cerebro sin duda se nos va a seguir desarrollando.

— *Lo que permitirá aptitudes nuevas.*

— Sí. No es imposible que el aumento del tamaño del cerebro, y por lo tanto de la talla del feto, imponga un tiempo de gestación aún más breve. Si la madre del supe humano de mañana debe dar a luz a los seis meses, la infancia se prolongará y también el tiempo de aprendizaje. No se comprende muy bien lo que fue la gestación en el pasado, pero podemos pensar que nuestra evolución se hizo en ese sentido y que proseguirá así.

— *Nuestra evolución biológica no ha terminado entonces.*

— Va más lento, pero continúa. Porque seguimos sometidos a las leyes de la biología y a adaptaciones. Los virus, que también evolucionan, nos pueden causar problemas. Tampoco estamos al abrigo de un cataclismo cósmico que altere la atmósfera. Pero, en cambio, ya no se puede decir que el hombre esté sometido a una verdadera selección natural.

— *¿Y tampoco a grandes mutaciones de nuestros genes, que podrían cambiar la especie?*

— A mutaciones, sí, por cierto. Pero otra cosa es que puedan aparecer homocigotas. El ensamblaje genético de la población humana actual es permanente. Ya no hay grupos aislados que puedan hacer que surjan, por deriva genética, rasgos recesivos. A menos que colonicemos el espacio. Es probable, por lo demás, que el hombre lo consiga; al adquirir un mejor conocimiento de los planetas, emprenderá un nuevo tipo de expansión, como la que emprendió hace tres millones de años para invadir la Tierra.

— *¿Qué sucedería en tal caso?*

— Las pequeñas poblaciones instaladas en otra Tierra, si quedan aisladas mucho tiempo, derivarán, divergirán: su biología y su cultura van a evolucionar de otro modo. Imagina cuántas culturas nuevas podrían nacer en otros planetas... Y quizás nuevas especies, también.

— *Si vamos al espacio, el cuerpo va a cambiar de manera considerable, ¿verdad? Las estadías en órbita han mostrado que los huesos se atrofian rápidamente, que el organismo ya no funciona de la misma manera. Corremos el riesgo de convertirnos en babosas sabias...*

— Todavía sabemos muy poco acerca de las condiciones y consecuencias de la vida en el espacio.

Con la ausencia de gravedad, son importantes las modificaciones del cuerpo: los elementos minerales de los huesos emigran y es difícil hacerlos volver a sus lugares de origen. Al cabo de algunos millones de años de exilio en el espacio, nuestros

primos serían sin duda muy distintos a nosotros. Quizás entonces nos topáramos con una suerte de diversidad de poblaciones, con verdaderas razas nuevas.

— *Cosa que hoy estamos a punto de perder: la cultura humana es cada vez más homogénea, el mundo más global y el planeta empequeñece.*

— Es verdad. La gente viaja mucho, se mezcla biológica y culturalmente. También las culturas. Pero cuando vemos, por ejemplo, a los bosquimanos o a los indios de América, relegados en lo que crudamente se califica de "reservas", cabe la pregunta: ¿querer que esas poblaciones continúen con sus tradiciones, sus cantos, sus lenguas, no es acaso prohibirles el acceso al mundo contemporáneo? ¿Acaso esas reservas no son pequeñas islas de origen que mantenemos por placer y no por placer de sus habitantes? Creo que esas poblaciones no tienen otra solución que mezclarse genética y culturalmente con nosotros —lo que también vale recíprocamente— o desaparecer. La nostalgia no es necesaria.

— *¿Crees que va a proseguir la complejidad que opera desde el Big Bang?*

— Sí. El hombre acumula un conocimiento creciente. Progresará hacia un saber mayor, una mayor libertad, hacia una cultura y quizás una naturaleza más y más complejas. Seguimos el mismo camino de la materia y de la vida.

— *¿Eres, más bien, de la especie optimista?*

— Decididamente. Me parece que las sociedades humanas se organizan bastante bien. Poco a poco somos más conscientes de nuestro entorno. Consideremos la Sociedad de las Naciones, las Naciones Unidas: estos organismos han experimentado múltiples dificultades. Pero cuando las cosas se miran con perspectiva, se aprecia que el hombre ha adquirido conciencia de su condición mundial en apenas setenta años. ¿Y qué es eso en relación con nuestra historia?

— *Poca cosa. Pero mucho para un individuo...*

— No hay que olvidar que la duración de nuestra modernidad es desdeñable si se la compara con los tres millones de años de vida de nuestra especie. La humanidad actual, aunque haya llegado a algún nivel de reflexión, me parece todavía muy

joven. Gran cantidad de dificultades de nuestro siglo provienen que hay mucha población que sólo posee una información muy reducida acerca del mundo.

El porvenir del universo

— *La vida de un hombre es un acontecimiento irrisorio, puesta en la perspectiva de nuestra historia, comprobamos con Yves Coppens. ¿Estaremos todavía en la prehistoria de la humanidad o en la del universo? ¿Cuánto tiempo más va a durar el universo?*

Hubert Reeves: Las observaciones más recientes parecen favorecer el escenario de una expansión continua. Las dimensiones del universo serían entonces infinitas y su vida se prolongaría indefinidamente. Se enfría y tiende con lentitud a una temperatura de cero absoluto. Por lo cual no se puede ser categórico: nuestras predicciones se apoyan en teorías que a su vez se fundan en la existencia de cuatro fuerzas, en solamente cuatro. Y nada nos permite asegurar, hoy, que no descubriremos otras. Estos descubrimientos podrían modificar nuestras previsiones.

— *¿Si se expande de manera infinita, significa que se va a vaciar más y más, que los cuerpos celestes van a seguir alejándose y que el cielo, visto desde aquí, será negro?*

— Las estrellas que nos aclaran el cielo nocturno no participan en la expansión. Globalmente, no se alejan de nosotros. La expansión acontece entre las galaxias y no en el interior de cada una. Con el tiempo, estas galaxias se verán más y más débiles en nuestros telescopios. Pero este debilitamiento no será perceptible antes de varios miles de millones de años.

— *Todo esto es hipotético, pues ya no habrá hombres para hacer esas observaciones: algunas estrellas van a morir, y también la nuestra, el Sol, ¿verdad?*

— Sí. En la actualidad, como ya lo dijimos, el Sol ha quemado la mitad de su hidrógeno. Está en la mitad de su vida. Dentro de cinco mil millones de años lo habrá consumido todo y se convertirá en gigante roja. Su núcleo central se

contraerá más y más y su atmósfera, en cambio, se extenderá hasta mil millones de kilómetros. Al mismo tiempo, su color pasará del amarillo al rojo.

— *Y en ese instante los planetas se asarán a la parrilla.*

— Sí. El Sol será mil veces más luminoso que hoy. Visto desde la Tierra, ocupará gran parte del cielo. La temperatura de nuestro planeta saltará a varios miles de grados. Desaparecerá la vida, la Tierra se volatilizará. Esto ocupará algunos cientos de millones de años. Nuestra estrella va a desintegrar también a Mercurio, a Venus y quizás a Marte. Los planetas lejanos, como Saturno y Júpiter, perderán su atmósfera de hidrógeno y helio y sólo conservarán sus enormes núcleos rocosos, desnudos. Más tarde, el Sol, privado de su fuente de energía nuclear, adquirirá el aspecto de una enana blanca del tamaño de la Luna. Se enfriará lentamente, durante varios miles de millones de años y se convertirá en enana negra, en cadáver estelar sin luz.

— *¿Y qué sucederá con la materia que componía la Tierra?*

— Volverá al espacio interestelar. Más tarde podrá servir para constituir estrellas o para contribuir a la formación de planetas.

— *¿Y para formar vidas nuevas?*

— ¿Por qué no? Los átomos de nuestro cuerpo quizás sirvan un día para componer organismos vivos en algunas biosferas distantes...

— *La única certeza es que el hombre no podrá permanecer en la Tierra más de cuatro mil millones de años.*

— Sí, pero se puede pensar, como Yves Coppens, que mucho antes de esa fecha fatídica estaremos en condiciones de realizar largos viajes interestelares. Pensemos en los progresos logrados en dos o tres generaciones: nuestras abuelas viajaban a cincuenta kilómetros por hora, mientras que nosotros disponemos de naves que alcanzan cincuenta mil kilómetros por hora. No es imposible que las sondas lleguen un día a velocidades cercanas a la de la luz. Nuestros descendientes podrán, entonces, ir a buscar la luz en estrellas lejanas...

— *Es la bella fórmula de Konstantin Tsiolkovski, el padre del espacio soviético-ruso: "La Tierra es nuestra cuna, pero uno no se queda eternamente en la cuna..." Dicho esto, es claro que la evolución de la complejidad puede proseguir con el hombre o sin el hombre. Después de todo, no es evidente que seamos los héroes de esta historia.*

— Es verdad. Se puede imaginar que la vida humana se extinga sin que por ello desaparezca totalmente la vida. Los insectos, por ejemplo, son mucho más resistentes que nosotros. Los escorpiones pueden vivir con una tasa de radioactividad muy superior a la que a nosotros nos mataría. Podrían sobrevivir a una guerra nuclear, desarrollar inteligencia y redescubrir la tecnología. Correrían el riesgo, en algunos millones de años, de volver a toparse con problemas de contaminación análogos a los nuestros.

— *En el curso de estos diálogos nos hemos negado a hallar un sentido a nuestra historia o, por lo menos, a adoptar una visión determinista. Pero debemos reconocer que la complejidad no cesa de progresar. Se podría decir que va a continuar...*

— Me impresionan los dos rostros de la realidad. El primero muestra esta bella historia que acabamos de relatar. Y ella permite pensar que todo tiene un sentido. El segundo, más sombrío, revela que el hombre de hoy parece incapaz de vivir armoniosamente con los suyos y con la biosfera. Guerras y deterioros son habituales. Como si algo se hubiera estropeado en algún momento de la evolución.

— *¿Y cómo lo interpretas?*

— ¿Por qué esto marcha tan bien en el mundo físico y tan mal en el mundo humano? ¿Habría llegado la naturaleza a su "nivel de incompetencia" por aventurarse tan lejos en la complejidad? Esa sería, me imagino, una interpretación fundada solamente en los efectos de la selección natural según la óptica darwiniana. Pero si, por otra parte, uno de los productos necesarios de la evolución era la aparición de un ser libre, ¿estaremos pagando el precio de esa libertad? El drama cósmico se podría

resumir en tres frases: la naturaleza engendra complejidad; la complejidad engendra eficacia; la eficacia puede destruir la complejidad.

— *¿Y eso quiere decir?*

— Los seres humanos inventaron, en el siglo veinte, dos modos de autodestruirse: el armamento nuclear y el deterioro del medio ambiente. ¿Es viable la complejidad? ¿Ha sido una buena idea de la naturaleza ésta de alcanzar un nivel de complejidad que la lleva a amenazarse a sí misma? ¿La inteligencia es acaso un don envenenado?

— *¿Y qué respondes?*

— Hoy nos encontramos ante los límites de nuestro planeta. ¿Es posible conseguir que coexistan diez mil millones de personas sin que se lo deteriore? Los seres humanos son geniales, y lo han demostrado en numerosas ocasiones quebrando átomos y explorando el sistema solar, pero esta tarea va a ser la más ardua de todas las que han efectuado hasta ahora. Impone, sobre todo, el abandono de la idea de crecimiento económico y la necesidad de instalarse en el "desarrollo sustentable". Es difícil que nuestros dirigentes comprendan esto.

— *Manejar el organismo planetario del que nos hablaba Joël de Rosnay...*

— En los organismos hay sistemas de alarma y de cura. El cuerpo entero se moviliza ante una herida. Necesitamos inventar un sistema análogo para el planeta. Las Naciones Unidas y las asociaciones humanitarias son un esbozo. Habría que ir más lejos.

— *¿Nos habremos equivocado por un efecto óptico? ¿No tendremos la vista demasiado apegada a nuestro siglo? Si analizamos las cosas desde el punto de vista de un cordero, por ejemplo, se podría tener pronósticos muy pesimistas. ¿Pero desde el punto de vista humano? ¿Acaso no estamos todavía en la prehistoria, como sugiere Yves Coppens? ¿Nos faltará aún mucho tiempo para alcanzar una fase superior de moral y de civilización?*

— ¿Ha progresado verdaderamente la humanidad en el plano de la conducta y la moral? No estoy seguro. Podríamos discutirlo mucho. Hay, por cierto, la abolición de la esclavitud y el reconocimiento de los derechos del hombre. Pero los indios de América habían conseguido un grado admirable de comportamiento humano. Habían establecido reglas de conducta social que influyeron decisivamente en la Constitución norteamericana. Claude Levi-Strauss mostró que la esclavitud apareció con las grandes civilizaciones. El progreso de la moral no es algo evidente.

— *Es posible que esta pregunta también se plantee en otras partes...*

— Es muy probable que nuestra civilización de la Tierra sólo sea un caso entre muchos otros. En la hipótesis de que la evolución cósmica condujera a la formación de otros planetas, otras formas de vida y otras inteligencias, se puede suponer que esas civilizaciones extraterrestres han enfrentado las amenazas que hoy nos asedian en la Tierra. Una visita a esos mundos nos presentaría dos figuras diferentes: planetas áridos, cubiertos de desechos radioactivos en el caso de quienes no se supieron adaptar; y superficies verdes y acogedoras en los otros casos.

— *La simbiosis o la muerte, decía Joël de Rosnay. ¿También se puede decir "sabiduría o revancha de la materia?"*

— En este momento se nos plantea esta pregunta crucial: ¿estamos en condiciones de coexistir con nuestro propio poder? Si la respuesta es no, la evolución continuará sin nosotros. Como Sísifo, habremos llevado la roca a la cima de la montaña para dejarla escapar finalmente. Es un poco idiota, ¿no? No hay que cerrar los ojos ante la gravedad de la situación presente. Importa seguir siendo optimistas, sin embargo. Debemos emplear todos nuestros recursos para salvar nuestro planeta antes de que sea demasiado tarde. Somos sus responsables, sus herederos. De nosotros depende que continúe esta bella historia del mundo.

FIN